

Bakterien und ihre Lebensweise verstehen lernen

Lehr-Lernforschung zur Verständnisenwicklung durch Laborarbeit, Modelleinsatz und Gespräch

Von der Philosophischen Fakultät
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Philosophie (Dr. Phil.)
genehmigte Dissertation
von Dr. rer. nat. Horst Schneeweiß
geboren am 26. 10. 1960, in Eitorf

2008

Referent: Prof. Dr. Harald Gropengießer
Korreferent: Prof. Dr. Ulrich Kattmann
Tag der Disputation: 21. 05. 2008

Abstract

Understanding the bacterial way of life. Teaching and learning strategies in terms of laboratory practical work, application of models and discussion

Today bacteria are considered not only an important topic in science but they are also relevant to everyday life. However, bacteria still play only a subordinate role in German curricula. Empirical studies indicate that students develop conceptions of bacteria which differ from the current microbiological point of view.

The theory of experiential realism is used to interpret empirically determined students' conceptions of bacteria and bacterial processes and to understand the development of conceptions based on experiences and imagination. The study was conducted within the Model of Educational Reconstruction. Both empirically investigated students' conceptions as well as microbiological perspectives were considered and systematically related to one another. Principles for a better understanding of the subject and guidelines for instruction were developed. Based on these results teaching units are being developed and subsequently tested by means of teaching experiments.

Key words: Bacteria, Conceptions, Experiential realism

Zusammenfassung

Bakterien und ihre Lebensweise verstehen lernen. Lehr-Lernforschung zur Verständniserwicklung durch Laborarbeit, Modelleinsatz und Gespräch

Bakterien sind nicht nur in den Naturwissenschaften sondern auch im alltäglichen Leben von großer Bedeutung. Jedoch spielen sie in deutschen Lehrplänen eine eher untergeordnete Rolle. Empirische Untersuchungen belegen, dass Schüler Vorstellungen von Bakterien entwickeln, die sich von den Perspektiven der Mikrobiologen unterscheiden.

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird herangezogen, um empirisch erfasste Lernervorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen zu interpretieren und die in Erfahrung und Imagination gründenden Vorstellungsentwicklungen nachvollziehen zu können. Die Studie wird innerhalb des Rahmens des Modells der Didaktischen Rekonstruktion durchgeführt. Empirisch erfasste und ausgewertete Lernervorstellung sowie die Perspektiven von Mikrobiologen werden berücksichtigt und systematisch aufeinander bezogen. Denkfiguren zum besseren Verständnis des Unterrichtsgegenstandes und Leitlinien für die Vermittlung werden entwickelt. Auf Basis dieser Ergebnisse werden Lehr-Lernarrangements rekonstruiert und in Vermittlungsexperimenten auf ihre Lernförderlichkeit hin untersucht.

Schlagwörter: Bakterien, Lernervorstellungen, Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Inhalt

1	Einleitung	8
2	Theoretischer Rahmen der Untersuchung	11
2.1	Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens	11
2.2	Conceptual Change, Konstruktivistische Sichtweise des Lernens	13
3	Struktur der Studie	17
3.1	Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion	17
3.2	Allgemeine Fragestellungen der Studie	20
4	Wissenschaftliche Vorstellungen von Bakterien: Fachliche Klärung	22
4.1	Fachliche Klärung als fachdidaktisches Anliegen	22
4.2	Fragestellung	22
4.3	Vorgehensweise	23
4.4	Wissenschaftliche Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen im Lehrbuch Brock Mikrobiologie	24
4.5	Zusammenfassung	25
4.5.1	Abgrenzung des Gegenstandsbereichs der Mikrobiologie	25
4.5.2	Bakteriengröße	26
4.5.3	Bakterienstruktur	28
4.5.4	Bakterienernährung	30
4.5.5	Bakterienwachstum	31
4.5.6	Bakterienbeweglichkeit	31
4.5.7	Antibiotika	32
4.5.8	Bakterienkolonien	33
4.6	Explikation	35
4.7	Strukturierung nach Konzepten und Denkfiguren	46
5	Erfassen der Lernerperspektiven: Reanalyse empirischer Befunde von Lernervorstellungen zu Bakterien	50
5.1	Fragestellung	50
5.2	Vorgehensweise	50
5.3	Die analysierten Veröffentlichungen	51
5.4	Publizierte Befunde zu empirisch erhobenen Lernervorstellungen	58
5.4.1	Zur Größe der Bakterien	58
5.4.2	Zur Struktur der Bakterien	58
5.4.3	Zur Ernährung der Bakterien	60
5.4.4	Zur Beweglichkeit der Bakterien	61
5.4.5	Zum Wachstum der Bakterien	62
5.4.6	Zu Antibiotika	62
5.4.7	Zu Bakterienkolonien	64
5.5	Zusammenfassung der Literaturbefunde	64
5.6	Reinterpretation der Befunde zu Lernervorstellungen von Bakterien	68
5.7	Zusammenfassung der Reinterpretationen	76

6	Didaktische Strukturierung	78
6.1	Wechselseitiger Vergleich der Lernervorstellungen zu Bakterien mit wissenschaftlichen Vorstellungen	78
6.1.1	Größe	79
6.1.2	Struktur	79
6.1.3	Wachstum	80
6.1.4	Beweglichkeit	82
6.1.5	Ernährung	83
6.1.6	Kolonien	83
6.1.7	Antibiotika	84
6.2	Leitlinien der didaktischen Strukturierung	84
7	Erfassen der Lernerperspektiven: Analyse von Interviewphasen in Vermittlungsexperimenten	88
7.1	Fragestellung	88
7.2	Methode	88
7.2.1	Wahl der Methode	88
7.2.2	Das Vermittlungsexperiment	89
7.2.3	Maßnahmen zur Sicherung der Qualität der Ergebnisse	89
7.3	Vorgehensweise bei der Erhebung der Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen	91
7.4	Erfassen der Lernerperspektiven: Analyse von Interviewphasen	99
7.4.1	Lernervorstellungen von der Größe der Bakterien	99
7.4.2	Lernervorstellungen von der Struktur der Bakterien	102
7.4.3	Lernervorstellungen von der Ernährung der Bakterien	109
7.4.4	Lernervorstellungen von der Beweglichkeit der Bakterien	117
7.4.5	Lernervorstellungen vom Wachstum der Bakterien	120
7.4.6	Lernervorstellungen vom Antibiotikum Penicillin	129
7.4.7	Lernervorstellungen von Bakterienkolonien	139
7.5	Zusammenfassung der Befunde	158
8	Zusammenführung und Verallgemeinerung der erfassten Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen	161
8.1	Methode	161
8.2	Verständnis, das in lebensweltlichen Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen gründet	162
8.3	Metaphorisches Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen	162
8.4	Direktes mikrobiologisches Verständnis	171
8.5	Zusammenfassung	172
9	Lernprozessbeobachtungen	173
9.1	Fragestellung	173
9.2	Methode	174
9.3	Vorstellungsentwicklungen zur Größe der Bakterien	175
9.4	Vorstellungsentwicklungen zur Ernährung der Bakterien	182
9.5	Vorstellungsentwicklungen zum Wachstum der Bakterien	190
9.6	Vorstellungsentwicklungen zum Antibiotikum Penicillin	196
9.7	Vorstellungsentwicklungen zu Bakterienkolonien	204
9.8	Zusammenfassung	218

10	Diskussion	221
10.1	Reflexion des theoretischen Rahmens	221
10.2	Reflexion des methodischen Vorgehens	224
10.3	Bedeutung der Untersuchung für die biologiedidaktische Lehr-Lernforschung	226
10.4	Bedeutung der Untersuchung für den Biologieunterricht	226
10.5	Die erreichten Ziele	228
11	Literatur	230
12	Danksagungen	239

Philosophie-Geschichte

Die Innen- und die Außenwelt,
die warn mal eine Einheit.
Das sah ein Philosoph, der drang
erregt auf Klar- und Reinheit.

Die Innenwelt,
dadurch erschreckt,
versteckte sich in dem Subjekt.

Als dies die Außenwelt entdeckte,
verkroch sie sich in dem Objekte.

Der Philosoph sah dies erfreut:
Indem er diesen Zwiespalt schuf,
erwarb er sich für alle Zeit
den Daseinszweck und den Beruf.

Robert Gernhard, Gedichte 1954-1997

1 Einleitung

Nach mehrjähriger Routine im Hamburger Schuldienst stellten sich bei mir die ersten Zweifel bezüglich der Lernwirksamkeit meines Biologieunterrichtes ein. Ein vordringliches Anliegen war mir stets der experimentelle Unterricht gewesen; mit großem Aufwand hatte ich eine Reihe von Versuchen zur Zellbiologie entwickelt (s. Schneeweiß 1996 a, b, c; 1997 a, b; 1998 a, b, c, d, e; 1999) und auch keinen Aufwand gescheut, die Experimente in meinen Biologieunterricht einzubringen. Das Experiment, darüber bestand eigentlich immer Einigkeit, darf als die wohl wichtigste naturwissenschaftliche Methode der Erkenntnisgewinnung angesehen werden. Geschickt in den Unterrichtsgang eingeflochten, durfte mit Recht erwartet werden, dass der Funke der Erleuchtung auch den Schülern¹ zuteil werden würde. Den Vorhersagen der Theorie gehorchend, stellte das Experimentieren für die allermeisten meiner Schüler auch immer eine willkommene Abwechslung dar: Beste motivationale Bedingungen also, sich den Lernstoff anzueignen, Theorie und Praxis aufeinander zu beziehen, um nachhaltige Lernfortschritte machen zu können. Allerdings machte ich in Gesprächen mit meinen Schülern und beim Durchsehen der Versuchsprotokolle die Erfahrung, dass das Experimentieren den Verstand eben nicht wie von selbst beflügelte: Die allermeisten meiner Schüler hatten Verständnisschwierigkeiten im Bereich der Zelltheorie, die trotz meiner Bemühungen, die zellbiologischen Experimente zu optimieren, bestehen blieben. Notgedrungen musste ich meine Hypothese, dass das Schülerexperiment der entscheidende, die Geschwindigkeit des Lernfortschritts bestimmende Faktor sei, aufgeben. Bei meiner Suche nach möglichen Gründen für das aus Sicht der Fachwissenschaft beklagenswerte Scheitern meiner Lehr-Lern-Arrangements hinsichtlich der kognitiven Entwicklungen meiner Schüler fiel mir die Arbeit von Harald Gropengießer (1997) zur „Didaktischen Rekonstruktion des Sehens“ in die Hände. Anhand einer in dieser Arbeit befindlichen Grafik, die die drei Eckpfeiler des Modells der Didaktischen Rekonstruktion zeigt, wurde mir klar, dass ich bei meinen unterrichtlichen Bemühungen in der Hauptsache stets die fachlichen Perspektiven berücksichtigt hatte, unter sträflicher Vernachlässigung der Perspektiven meiner Schüler.

In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, Lehr-Lern-Arrangements im Bereich der Mikrobiologie unter Berücksichtigung sowohl der Perspektiven von Fachwissenschaftlern als auch der Perspektiven der Lerner zu rekonstruieren, um ihre Lernwirksamkeit im zweiten Schritt prozessorientiert zu erfassen.

¹ Nur aus Gründen einer besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit in verallgemeinernder Rede immer die männliche Form des grammatikalischen Geschlechts verwendet. Dabei ist stets auch die weibliche Form mitgemeint.

„Es gibt ein Kernbakterium, das teilt sich immer in alle Richtungen, damit es sicherer ist, damit der Kern, die Steuerzentrale im Inneren und sicherer ist... Man fühlt sich ja auch viel sicherer, wenn man in einer Gruppe ist und nicht fünf Meter auseinander steht“ (Benno, 10. Klasse eines Gymnasiums).

„Aber, wenn die Bakterien dann alle merken, zwei Bakterien schließen sich zusammen und dann größer sind, gehen sie da hin und haben da Unterkunft, sie bilden dann eine Kolonie, die wir erst mit dem bloßen Auge sehen können...“ (Margot, 10. Klasse eines Gymnasiums).

Diese Zitate aus den Befragungen zeigen, dass die Gymnasiasten Benno (15 Jahre) und Margot (16 Jahre) über Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen, die aus fachwissenschaftlicher Perspektive nicht überzeugen können. Den bisher vorliegenden empirischen Untersuchungen zu Lernervorstellungen von Bakterien kann entnommen werden, dass die Vorstellungen von Benno und Margot keine Einzelfälle darstellen (s. z. B. Hilge 1999). Dies überrascht nicht, da die Mikrobiologie in den Lehrplänen der Schulen eine eher untergeordnete Rolle spielt und Lerner im Rahmen ihrer schulischen Ausbildung wenig Gelegenheit haben, Erfahrungen mit Bakterien zu sammeln und ein darin gründendes wissenschaftsorientiertes Verständnis zu entwickeln. Bakterien und bakterielle Prozesse kommen aber bei verschiedenen Themen in das Blickfeld der Lerner, beispielsweise bei der Immunbiologie, bei der Ökologie oder als nützliche Werkzeuge bei der Biotechnologie. Dabei handelt es sich um obligatorische Lehrplanthemen, deren Vermittlung kaum gelingen kann, wenn ein Verständnis der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, fehlt. In einer Vielzahl von Veröffentlichungen finden sich daher Unterrichtskonzepte und Versuchsanleitungen (z.B. Bayrhuber u. Lucius 1992, 1997) zum Thema „Bakterien“. Die Frage aber, welches Verständnis Lerner mithilfe dieser Lehr-Lern-Arrangements entwickeln können, bleibt weitgehend unbeantwortet, da eine evidenzgeleitete Auswertung der Lernangebote meist nicht vorgenommen wird.

Im Rahmen meines Forschungsvorhabens, dessen Ergebnisse in dieser Arbeit vorgestellt werden, bekommen Lerner die Möglichkeit, wissenschaftsorientierte Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen aus erster Hand zu sammeln. In Gruppen führen sie mikrobiologische Experimente durch. Dabei können Lerner praktische Erfahrungen mit dem naturwissenschaftlichen Arbeiten im mikrobiologischen Laboratorium machen und lernen mikrobiologische Phänomene kennen. Metaphorisch ausgedrückt werden Erfahrungsräume zugänglich gemacht, die von den Lernern begangen und erkundet werden können. Die Zusammenarbeit der Lerner stellt den Ausgangspunkt für die Ermittlung der auf Bakterien bezogenen Vorstellungen im Rahmen der Befragungen dar. Für die Lerner liefert der Zusammenhang zwischen Urheberschaft der durchgeführten Versuche, den gesammelten Erfahrungen, den darin gründenden Vorstellungen und deren Resonanz im Gespräch den roten Faden. Nach der Ermittlung der Lernervorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen geht es in dieser Arbeit in einem zweiten Schritt um die Vermittlung mikrobiologischer Vorstellungen im Rahmen von Vermittlungsexperimenten.

Die Frage, wie die mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien und bakterielle Prozesse stehen, unterrichtlich gewinnbringend vermittelt werden können, lässt sich nur beantworten, wenn neben den fachwissenschaftlichen Aussagen auch die Vorstellungen der Lerner erfasst, berücksichtigt und in den Unterrichtsprozess eingebunden werden. Diese Annahme legen die zahlreichen Veröffentlichungen zu den Ergebnissen der konstruktivistischen Lernforschung nahe (s. Duit 1995). Die fachwissenschaftlichen Erkenntnisse und die Vorstellungen der Lerner bei der Entwicklung von Unterrichtskonzepten gleichberechtigt miteinzubeziehen, bedeutet aber auch, eine bestimmte didaktische Sichtweise einzunehmen. Das

Modell der Didaktischen Rekonstruktion bietet für dieses Vorhaben einen geeigneten Forschungsrahmen. In diesem bereits mehrfach erprobten Modell werden die Vorstellungen von Lernern und Wissenschaftlern als gleichberechtigt angesehen und mit dem Ziel in Beziehung gesetzt, das Lernen fachlicher Inhalte zu verbessern (Kattmann u.a. 1997; Gropengießer 2005).

Die Eckpunkte des Modells der Didaktischen Rekonstruktion bilden die Untersuchungsaufgaben „Fachliche Klärung“ und „Erfassung der Lernerperspektiven“, deren Ergebnisse in die „Didaktische Strukturierung“ münden. Die fachlichen Sichtweisen in Bezug auf Bakterien und bakterielle Prozesse werden in dieser Arbeit anhand des Lehrbuches „Mikrobiologie“ (Madigan et al. 2001) erfasst. Die Lernerperspektiven werden einerseits anhand von Veröffentlichungen und andererseits aufgrund eigener Befragungen ermittelt. Aus dem wechselseitigen kriteriengeleiteten Vergleich der erhobenen Vorstellungen mit den fachlichen Vorstellungen werden Leitlinien für die Vermittlung formuliert und darauf basierend Lernangebote zu Bakterien und bakteriellen Prozessen rekonstruiert. Damit soll es in der vorliegenden Arbeit aber keineswegs sein Bewenden haben. Vielmehr werden die Lernangebote in Vermittlungsexperimenten eingesetzt und evidenzbasiert dahingehend geprüft, ob sie ein Lernen der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, unterstützen und welche Hürden Lernern dabei im Wege stehen. Um zu erfassen, wie die didaktisch rekonstruierten Lernmöglichkeiten von Lernern genutzt werden können, wird der Prozess der Vorstellungsentwicklung erfasst und qualitativ analysiert.

Den theoretischen Rahmen zur Untersuchung und zum Verständnis von Lernervorstellungen bildet die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff et Johnson 1987). In mehreren Untersuchungen, die im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion vorgenommen wurden (s. Gropengießer 2003; Riemeier 2005), hat sich die besondere Eignung dieser Theorie für das Verständnis der Genese von Lernervorstellungen und für die Planung von Lernangeboten bewährt.

2 Theoretischer Rahmen der Untersuchung

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, die konstruktivistische Sichtweise des Lernens und der conceptual-change-Ansatz bilden den theoretischen Rahmen der vorliegenden Untersuchung. Allen drei Ansätzen ist gemein, dass in ihrem Mittelpunkt individuelle Vorstellungen stehen.

2.1 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

George Lakoff und Mark Johnson (1980) haben die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens begründet. In dieser Theorie wird das Verhältnis von Erfahrung, Sprache und Denken erfasst, bei dessen Verständnis Metaphern eine zentrale Rolle spielen. Gropengießer (2003) hat die Theorie für die Biologiedidaktik nutzbar gemacht. Vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens werden in dieser Arbeit Lernervorstellungen und ihre Veränderlichkeit untersucht. Dabei geht es darum zu verstehen, über welche Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen Lerner verfügen, um ein Verständnis der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, zu entwickeln. Zum Verhältnis von Erfahrung, Sprache und Denken sind in der Theorie mehrere Aussagen aufzufinden.

Verständnis basiert auf verkörperten Vorstellungen

Aus den physischen Erfahrungen, die wir machen, erwachsen unsere konzeptuellen Strukturen. Lakoff (1987, S. 206) spricht von Verkörperung (embodiment). Von klein auf machen wir Erfahrungen mit unserer Wahrnehmung und den Bewegungen unseres Körpers in einer sozialen Umwelt; die darin gründenden Vorstellungen werden als verkörperte Vorstellungen bezeichnet (Gropengießer 2003, S. 38). Die Theorie unterscheidet mit den Basisbegriffen und den kinästhetischen Schemata zwei Arten der Konzeptualisierung (Lakoff 1987, S. 267). Begriffe werden ausgedrückt mit Wörtern wie Bett, Auto, Pferd, Gras, Mutter oder Vater, die aufgrund von Erfahrungen direkt, d. h. nicht imaginativ verstanden werden können. Bei den kinästhetischen Schemata handelt es sich um Kognitionen, die aus unseren physischen Erfahrungen erwachsen. Unterschieden werden z.B. Schemata² wie *oben-unten*, *vorne-hinten*, *Peripherie-Zentrum*, *Start-Weg-Ziel*, *Teil-Ganzes*. Gropengießer (2003, S. 39) verdeutlicht am Beispiel des Schemas *Behälter* wie aus Erfahrungen mit dem eigenen Körper Bedeutung entstehen kann und ein Konzept erwächst. Danach machen wir mit unserem Körper Erfahrungen in sehr unterschiedlichen aber grundlegenden Bereichen, z.B. bei der Nahrungsaufnahme, Ausscheidung und dem Ein- und Ausatmen. Der Körper wird als *Behälter* verstanden, „in den bestimmte Dinge hineinkommen...und aus dem bestimmte Dinge wieder herauskommen“. In diesen Tätigkeiten erleben wir uns als Person mit Grenzen gegenüber unserer Umwelt. Schlüpfen wir in unsere Kleidung oder befördern Kinder Gegenstände in Behältnisse, gibt es nach Johnson (1992, S. 21) aufgrund der präkonzeptuellen Strukturierung eine wiederholbare räumliche und zeitliche Organisation der Situation, die direkt verstanden wird. Das Schema

² Bei den verkörperten Vorstellungen handelt es nicht um das, „was in der Kognitionspsychologie ebenfalls Schema genannt wird...Denn diese sind entkörperert und werden als abstrakte, nach den Regeln der Logik funktionierende Bedeutungseinheiten verstanden“ (Gropengießer 2007, S. 112). „Vorstellungen oder Ideen können nur von lebendigen Gehirnen in der Interaktion des Körpers mit der Umwelt hervorgebracht werden und haben nur dort ihren Ort“ (ebenda).

Behälter wird durch die Elemente „Innen“, „Grenze“ und „Außen“ strukturiert, wobei eine Unterscheidung nach innen und außen nur möglich ist, wenn eine Grenze besteht.

Verständnis basiert auf Metaphern

Die Basis-Begriffe und kinästhetischen Schemata haben als Strukturen unseres kognitiven Systems zwei Funktionen: Zum einen ermöglichen sie ein direktes Verständnis, zum anderen können sie metaphorisch benutzt werden, um ein Verständnis durch Imagination zu erreichen. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens fasst die Bereiche, in denen wir primäre Erfahrungen machen und in denen unsere verkörperten Vorstellungen gründen, als den Ursprungsbereich auf. Dessen gedankliche Struktur kann durch Imagination auf einen Zielbereich übertragen werden, um dort ein metaphorisches Verständnis zu erreichen (s. Abb. 2.1).

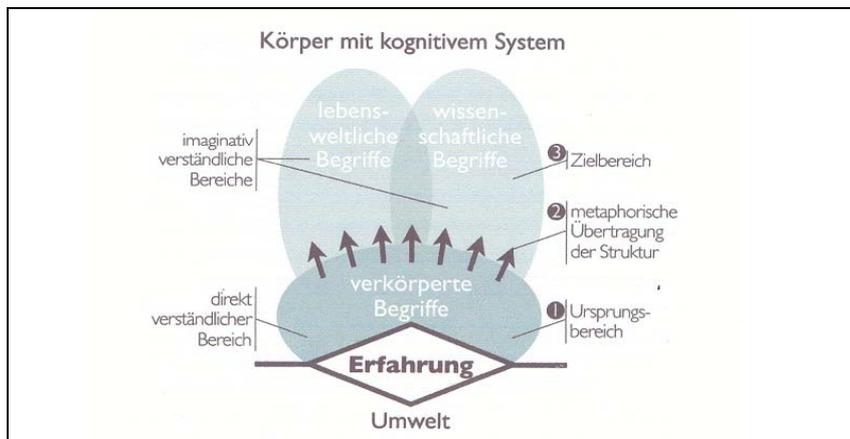


Abb. 2.1: Verstehen basiert auf Erfahrung. Verkörperte Vorstellungen gründen nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Erfahrungen. Durch Imagination wird Verständnis in lebensweltliche und wissenschaftliche Bereiche getragen (Abb. aus Gropengießer 2007).

Durch Imagination kann Verständnis in lebensweltliche oder wissenschaftliche Zielbereiche getragen werden (Gropengießer 2007). Lebensweltlich nutzen wir z.B. das Schema *Behälter* (Johnson 1992, S. 21) imaginativ, wenn von einem Sprachraum oder Freiraum die Rede ist, fachwissenschaftlich beispielsweise, wenn wir einen intrazellulären Raum von einem Raum der extrazellulären Flüssigkeit unterscheiden. Die Theorie fasst Metaphern nicht nur als einen Aspekt von Sprache auf, vielmehr wird metaphorisches Verständnis als Charakterzug der Kognition verstanden (Gropengießer, 2003, S. 36). Unser kognitives System ist weitgehend metaphorisch strukturiert und somit auch unser Denken und unsere Wahrnehmung (s. Lakoff et Johnson 1980). Neben den Metaphern unterscheidet Lakoff (1987, S. 511 f) Analogien und Metonymien, die ebenfalls zur Übertragung genutzt werden. Gropengießer (2003, S. 43) macht darauf aufmerksam, dass zwar „unsere kognitiven Strukturen nicht allein durch Erfahrung und darin gründende verkörperte Vorstellungen bestimmt“ sind, unsere kognitiven Strukturen „durch diese Erfahrungen“ aber „erst Sinn machen“.

Verständnis hat Gestalteigenschaft

Unsere verkörperten Vorstellungen existieren nicht unabhängig voneinander, vielmehr organisieren wir unser Wissen durch Strukturen, die Lakoff (1987, S. 68 f) „Idealisierte Kognitive Modelle“ (ICMs) nennt. Am Fallbeispiel „Mutter“ (Lakoff 1987, S. 74-76) kann verdeutlicht

werden, was der Autor damit meint. *Mutter* wird aufgrund verkörperter Vorstellungen, die in Erfahrungen mit der eigenen Mutter gründen, direkt von jedermann verstanden. Es scheint daher auf den ersten Blick auch eindeutig zu sein, was *Mutter* ist. *Mutter* integriert aber eine Reihe verschiedener Fälle: Die Person, die gebiert, die Frau, die das genetische Material beisteuert, die Person, die das Kind pflegt und groß zieht, die Frau des Vaters oder der nächste weibliche Vorfahr. Einzelne Bedingungen werden aufgrund der menschlichen Erfahrungen typischer für *Mutter* sein als andere, es ist einerseits mit prototypischen Effekten zu rechnen. Andererseits werden Sätze wie „*Die Mutter des Gedankens*“, „*Die Mutter teilt sich in zwei Bakterien, die größer werden und selber wieder Mutter sein können*“, oder „*Er wünschte sich, dass seine Freundin ihn bemuttern würde*“ imaginativ und ohne Schwierigkeit verstanden, obwohl in den ersten beiden Fällen die Frau, die gebiert, und im letzten Fall die Frau, die pflegt, gemeint ist. Ein ICM wird aus diesem Grund von Lakoff (1987, S. 489 f) als ein gestalthaftes Ganzes vorgestellt. Die Annahme, je komplexer eine Beschreibung ist, desto komplexer sei auch das Konzept, gilt aufgrund der Gestalteigenschaften der ICMs nicht.

2.2 Conceptual Change, Konstruktivistische Sichtweise des Lernens

Aus konstruktivistischer Sichtweise wird Lernen als aktive Konstruktion auf Grundlage vorhandener Vorstellungen aufgefasst (s. Duit 1995), Lernen stellt keinen einfachen Übernahmeprozess dar. In metaphorischer Redeweise werden beim Lernen „*Lernwege*“ von bestimmten vorhandenen Vorstellungen zu fachlichen Vorstellungen „*gegangen*“. Piaget (1988) unterscheidet – in Analogie zur Adaptation von Lebewesen an ihre Umwelt – nach den Prozessen der Assimilation und Akkomodation. Passen neue zu bestehenden Vorstellungen eines Individuums, können diese in die bestehende kognitive Struktur eingegliedert werden, um die mentale Balance wiederherzustellen. Piaget spricht von Equilibration, womit das Bestreben des Menschen, einen von Widersprüchen freien kognitiven Gleichgewichtszustand herzustellen, gemeint ist (s. Schnotz 1996). Passen die neuen Vorstellungen nicht in die bestehende kognitive Struktur, wird die Equilibration durch eine grundlegende Restrukturierung der kognitiven Struktur erreicht. Aus konstruktivistischer Perspektive entspricht die Einordnung von Neuem in eine vorhandene kognitive Struktur dem kontinuierlichen Lernweg, eine grundlegende Veränderung der vorhandenen kognitiven Struktur dem diskontinuierlichen Lernweg (s. Duit 1995).

Die Bedingungen einer grundlegenden Veränderung der vorhandenen kognitiven Struktur beschreibt der conceptual-change (Konzeptwechsel-)Ansatz (Strike et Posner 1992). Für den Bereich der Didaktik der Naturwissenschaften listen die Autoren Bedingungen auf, die Lernern den Übergang von einer Vorstellung zu einer anderen ermöglichen können:

1. Unzufriedenheit mit den bisherigen Vorstellungen
2. Verständlichkeit der neuen Vorstellungen
3. Plausibilität der neuen Vorstellungen (sie müssen den Lernern einleuchten)
4. Fruchtbarkeit der neuen Vorstellungen (sie müssen sich in neuen Situationen tauglicher als die alten erweisen)

Conceptual-change als grundlegende Veränderung der kognitiven Struktur vorzustellen, bedeutet, das Verhältnis von lebensweltlichen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen als konträr gegenüberstehend zu denken. Lehrstrategien, in denen auf die Methode des kognitiven Konfliktes zurückgegriffen wird, setzen an dieser Stelle an (Kitchener 1992; Duit et Treagust 1998). Es werden vier Situationen beschrieben, in denen ein kognitiver Konflikt aufgelöst werden kann:

1. Die Voraussagen der Schüler und die beobachtbaren Ergebnisse eines Experimentes unterscheiden sich.
2. Die Vorstellungen der Schüler und die fachwissenschaftlichen Vorstellungen unterscheiden sich.
3. Die Vorstellungen verschiedener Schüler unterscheiden sich.
4. Die Vorstellungen eines Schülers unterscheiden sich.

Allerdings funktioniert die Methode des kognitiven Konfliktes in der pädagogischen Praxis oft nicht (Schnotz 1996). Die Gründe dafür werden zum einen darin gesehen, dass Schüler den Konflikt nicht wahrnehmen, weil sie keinen Widerspruch erkennen können. Zum anderen können Schüler Widerstände entwickeln, wenn die angebotenen fachwissenschaftlichen Vorstellungen den eigenen Lebenserfahrungen nicht entsprechen (Duit et Treagust 1998). Auch wenn die lebensweltlichen Vorstellungen aus fachwissenschaftlicher Perspektive falsch sein mögen, haben sie sich in bestimmten Kontexten bewährt, sie sind funktional und besitzen aus Sicht des conceptual-change-Ansatzes eine änderungsresistente Stabilität.

Der Begriff „*conceptual-change*“ legt nahe anzunehmen, lebensweltliche Vorstellungen könnten durch fachwissenschaftliche Vorstellungen ausgewechselt werden. Während es im Rahmen der conceptual-change-Forschung die Vorstellung gegeben hat, die lebensweltlichen Vorstellungen von Lernern gegen fachliche Vorstellungen ersetzen zu können (conceptual exchange; s. Hewson et Hewson 1992), hat sich herausgestellt, dass die lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner auch nach der Unterrichtung noch existieren (Duit 1995). Häufig konstruieren Lerner dann hybride Vorstellungen, bei denen bestimmte Aspekte der neuen wissenschaftlichen Sichtweise mit lebensweltlichen Vorstellungen gedanklich verknüpft werden. Aus diesem Grund weisen Duit et Treagust (1998) auch darauf hin, dass reale Lernprozesse durch ein Wechselspiel von Assimilation und Akkomodation gekennzeichnet sind.

Werden die lebensweltlichen Vorstellungen, die Schüler mit in den Unterricht bringen, nicht beachtet, können sie zu Lernhindernissen werden. Setzt man eine Dichotomie von richtigen und falschen Vorstellungen voraus, besteht die Gefahr, die lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner in Abgrenzung zu den fachwissenschaftlichen Vorstellungen als Fehlvorstellungen (misconceptions) zu interpretieren (s. Strike et Posner 1992) und damit abzutun. Schnotz (1996) zeigt demgegenüber am Fallbeispiel der Vorstellungen von der Form der Erde auf, dass die Inkonsistenzen des Wissens von Kindern, die aus einer gedanklichen Verknüpfung von fachwissenschaftlichen und lebensweltlichen Vorstellungen resultieren, bei oberflächlicher Betrachtung zwar auf der Ebene der Propositionen erfassbar sind. Nach genauerer Analyse des empirischen Materials zieht der Autor hingegen den Schluss, dass Kinder die Fähigkeit besitzen, lebensweltliche und fachwissenschaftliche Perspektiven zu Vorstellungen zu verarbeiten, die konsistent und widerspruchsfrei sind. Die von Schnotz (1996) beschriebenen Vorstellungen von der Form der Erde repräsentieren das erfolgreiche Bemühen der Lerner, fachwissenschaftliche und lebensweltliche Vorstellungen in Übereinstimmung zu bringen. Der Autor zeigt, dass die Lerner dabei sowohl die fachwissenschaftlichen Vorstellungen verstanden haben, als auch, dass sie sich der Differenz zwischen den eigenen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen durchaus bewusst sind.

Die zahlreichen empirischen Befunde darüber, dass sich die lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner nicht einfach „ausmerzen“ (Duit 1995) oder „ausrotten“ (Jung 1986) lassen, haben zu einem Wandel der Konzepte von conceptual-change beigetragen. Dies kann nicht zuletzt daran erkannt werden, dass lebensweltliche Vorstellungen nicht mehr als Fehlvorstellungen, sondern beispielsweise als subjektive Theorien (Groeben u.a. 1988) oder Alltagsvorstellungen

(Duit 1995) bezeichnet werden. Unter der neuen Perspektive wird als Ziel von Unterricht u.a. angegeben, Schüler davon zu überzeugen, dass fachwissenschaftliche Vorstellungen in bestimmten Kontexten fruchtbarer sind, als ihre lebensweltlichen Vorstellungen (Jung 1986). Hewson et Hewson (1992) stellen *conceptual-change* als Statuswechsel vor, Ziel eines Lernprozesses soll sein, Schüler davon zu überzeugen, den wissenschaftlichen Vorstellungen in einer größer werdenden Zahl an Kontexten einen höheren Status als den eigenen alltagsweltlichen Vorstellungen zuzubilligen. Bei dieser Bedeutungszuweisung wird dem Kontext, in dem Vorstellungen gewinnbringend verfügbar gemacht werden können, eine besondere Bedeutung zudedacht (*situated cognition*, vgl. Brown et al 1989; zum Verhältnis situierten und nicht situierten Wissens in Lernprozessen, s. Duit et von Rhöneck 1996). Die diesbezügliche empirische Forschung erfasst in einem ersten Schritt Aussagen, die ein Konzept repräsentieren. In einem zweiten Schritt werden Lernercommentare beispielsweise zur Plausibilität des Konzeptes erhoben. Hewson et Hewson (1992) bezeichnen letztere Lerneraussagen als „*metaconceptual*“.

In der vorliegenden Untersuchung werden die lebensweltlichen Vorstellungen, über die Lerner zu Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen können, in Abgrenzung zu fachwissenschaftlichen Vorstellungen nicht als „*falsch*“ interpretiert. Vielmehr werden die lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner aufgegriffen und beachtet. Sie bilden in Korrespondenz zu den fachwissenschaftlichen Vorstellungen den Ausgangspunkt von individuellen Lernprozessen. Unter dieser Perspektive stellen lebensweltliche Vorstellungen keine Lernhindernisse dar, sondern können zu effektiven Werkzeugen der Vorstellungsentwicklung werden (Gropengießer 2003, S. 14; Kattman, 2003). Ihre lernförderlichen Wirkungen können sie entfalten, wenn sie schon bei der Planung von Lehr-Lern-Arrangements berücksichtigt werden. Dass von Bereiter (1985) formulierte Paradoxon, dass neue Vorstellungen nur verständlich werden können, wenn dazu bereits Wissen verfügbar ist, wird vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens dahingehend aufgelöst, dass an die lebensweltlichen Vorstellungen, über die Lerner zu Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen, angeknüpft wird. Die individuellen Vorstellungsentwicklungen werden prozessorientiert erfasst und nicht – wie bei vielen empirischen Erhebungen im Rahmen des *conceptual-change*-Ansatzes – vor und nach einer Instruktion. Bei der Interpretation der Vorstellungsentwicklungen werden die Bedingungen der *conceptual-change*-Forschung dann miteinbezogen, wenn dies gewinnbringend erscheint.

Wie die Ausführungen oben gezeigt haben, werden zur Bezeichnung der vorunterrichtlichen kognitiven Strukturen, über die Lerner verfügen können, unterschiedliche Begriffe verwendet. In der vorliegenden Arbeit wird unter einer Vorstellung (engl. *conception*) in Anlehnung an Gropengießer (2003, S. 13) ein subjektiver gedanklicher Prozess verstanden, der von einem mentalen Erleben begleitet wird, das mit einem bestimmten neuronalen Aktivitätsmuster korreliert (vgl. Rahmann 1996). Andere mentale Erlebnismöglichkeiten, wie z.B. psychomotorische, emotionale oder motivationale (s. Krapp 1996), stehen nicht im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchungen. Ist in metaphorischer Ausdrucksweise die Rede davon, dass Lerner über Vorstellungen „*verfügen*“, ist dies nicht im Sinne einer Lagerhaltung zu verstehen, bei der vorhandene Vorstellungen abgerufen werden. Vielmehr werden Vorstellungen in Abhängigkeit vom Kontext situativ konstruiert (Roth 1996).

Mit den Begriffen (engl. *concepts*), Konzepten (engl. *notions*), Denkfiguren und Theorien werden verschiedene Komplexitätsebenen gedanklicher Prozesse unterschieden (Gropengießer 2003, S. 13). Die Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen werden auf einer mittleren Komplexitätsebene als Konzepte und Denkfiguren erfasst. Beispielsweise verstehen Lerner Bakterien als Pilze, wenn sie den Begriff „*Schimmelpilzbakterien*“ (Bayrhuber

u. Stolte 1997) verwenden. Es handelt sich um ein Konzept. In einer Denkfigur werden mehrere Konzepte miteinander vereinigt. Die Denkfigur *Pilze weisen Wurzeln, einen Stiel und einen Hut auf* vereinigt verschiedene Konzepte. Es handelt sich um eine gedankliche Verknüpfung von höherer Komplexität, gleichwohl ist das Verständnis von Konzepten und Denkfiguren wechselseitig voneinander abhängig.

Vom gedanklichen Bereich, also den Vorstellungen, wird der sprachliche Bereich und der Referent unterschieden. Vorstellungen können z.B. mithilfe der Sprache oder anderer Zeichen mitgeteilt werden. Bei den Referenten handelt es sich um eine Sache, einen Gegenstand, ein Objekt, einen Prozess oder ein Ereignis, für die ein Zeichen steht oder auf die sich Vorstellungen beziehen (s. Gropengießer 2003, S. 13). Da sich aber die kognitiven Strukturen einer direkten Beobachtung entziehen, wird von Zeichen (sprachlichen Äußerungen, zeichnerischen Darstellungen) auf die Vorstellungen, über die Lerner zu Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen können, geschlossen.

3 Struktur der Studie

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Lernangebote im Bereich der Mikrobiologie zu optimieren. Dabei spielen sowohl die Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen, über die Lerner verfügen können, als auch fachwissenschaftliche Vorstellungen eine Rolle. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann u.a. 1997) bietet für das Vorhaben, auf Basis von empirisch erfassten Lernervorstellungen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen Lernangebote zu entwickeln und evidenzgeleitet auf ihre Lernwirksamkeit hin zu untersuchen, einen geeigneten Forschungsrahmen. Das methodische Vorgehen, das die vorliegenden Untersuchungen angeleitet hat, leitet sich vom Modell der Didaktischen Rekonstruktion ab, daher werden dessen Grundzüge an dieser Stelle vorgestellt.

3.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Die nicht neue Forderung an schulischen Unterricht, Schüler dort abzuholen, wo sie stehen (Häußler u.a.1998), wird im Modell der Didaktischen Rekonstruktion präzisiert. Der theoretische Rahmen des Modells zur Planung, Durchführung und Auswertung fachdidaktischer Forschungsvorhaben setzt die Erfassung der Perspektiven von Lernern und Wissenschaftlern und die didaktische Strukturierung miteinander in Beziehung (s. Abb. 3.1). Gemäß der konstruktivistischen Sichtweise des Lernens schließt das Modell die Aussage mit ein, dass in Vermittlungssituationen von den Vorstellungen der Lerner auszugehen ist. Die erhobenen Vorstellungen stellen die gemeinsame und verbindende Ebene der drei Teile des Modells der Didaktischen Rekonstruktion dar. Die kritische Untersuchung wissenschaftlicher Quellen im Rahmen der Teilaufgabe „Fachliche Klärung“ trägt zur theoretischen Klärung, zur Systematisierung und Reduktion bei, vor allem aber können Korrespondenzen mit den Vorstellungen der Lerner ermittelt werden. Die Perspektiven der Lerner und der Wissenschaftler werden dabei als gleichrangig angesehen. In der Teilaufgabe „Didaktische Strukturierung“ wird nach Wegen gesucht, die Lernervorstellungen und die fachlich geklärten Vorstellungen von Wissenschaftlern auf eine Art und Weise zusammenzubringen, dass ein sinnvolles Lernen möglich wird (Gropengießer 2003 S. 12).

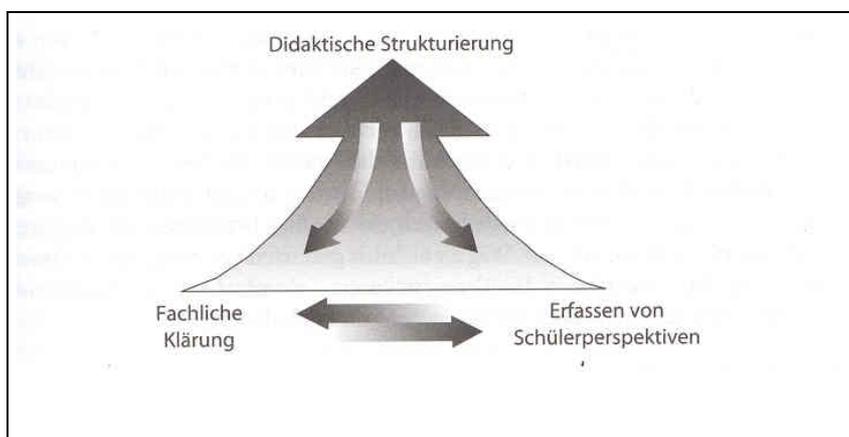


Abb. 3.1: Fachdidaktisches Triplet. Beziehungsgefüge der drei Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (aus: Gropengießer 2003)

Die Ergebnisse der drei Teilaufgaben „Erfassen der Lernerperspektiven“, „Fachliche Klärung“ und „Didaktische Strukturierung“ beeinflussen sich im Triplet des Modells gegenseitig, der Forschungsprozess ist rekursiv. Weder können die drei Teilaufgaben gleichzeitig bearbeitet werden, noch lassen sie sich in eine lineare Abfolge bringen. Vielmehr ist eine Vorgehensweise notwendig, bei der auf Basis vorläufiger Ergebnisse in den drei Teilaufgaben wiederholt die Perspektive gewechselt wird. So werden zwischen den fachwissenschaftlichen Vorstellungen und den Lernervorstellungen Sinnbezüge aufgezeigt. Die Analyse der einen Perspektive ermöglicht auf diese Weise ein Verständnis der jeweils anderen. Die Ergebnisse der Teilaufgabe „Didaktische Strukturierung“, bei der es darum geht, Unterrichtsgegenstände auf eine Weise zu rekonstruieren, die ein effektives Lehren und Lernen fachlicher Inhalte ermöglicht, beeinflusst die beiden anderen Teilaufgaben, weil unter Vermittlungsabsicht einerseits eine Auswahl fachlicher Inhalte vorgenommen und andererseits aber auch der Bereich der zu erfassenden Lernervorstellungen eingegrenzt wird (vgl. Gropengießer 1997, S. 15). Die Durchführung der drei Teilaufgaben des Modells der Didaktischen Rekonstruktion im Rahmen dieser Arbeit wird im Folgenden kurz skizziert, um einen Überblick zu ermöglichen. Ausführlichere Darstellungen des methodischen Vorgehens und der anleitenden Forschungsfragen sind in den jeweiligen Kapiteln „*Fachliche Klärung*“, „*Erfassen der Lernerperspektiven: Reanalyse empirischer Befunde*“ und „*Erfassen der Lernerperspektiven: Analyse von Interviewphasen*“ aufzufinden.

Teilaufgabe „Fachliche Klärung“

Im Rahmen der Teilaufgabe „Fachliche Klärung“ des Modells der Didaktischen Rekonstruktion werden die Aussagen von Wissenschaftlern aus fachdidaktischer Perspektive einer kritischen und systematischen Analyse unterzogen. Das methodische Vorgehen lehnt sich an die qualitative Inhaltsanalyse an (s. Mayring 2005), die von Gropengießer (2005) für den Bereich der Fachdidaktik angepasst wurde. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Vorstellungen von Wissenschaftlern zu den mikrobiologischen Zusammenhängen, in denen Bakterien stehen, anhand des Lehrbuches „*Mikrobiologie*“ (Madigan et al. 2001) untersucht. Die fachwissenschaftlichen Vorstellungen werden interpretativ erschlossen und auf der Ebene der Konzepte und Denkfiguren erfasst und strukturiert. Bei den Vorstellungen von Wissenschaftlern handelt es sich wie bei den Lernervorstellungen um individuelle Konstrukte, deren Sachverhalte von der Gemeinschaft der jeweiligen Fachwissenschaftler zeitweilig vertreten werden. Allerdings sind die Theorien der Wissenschaftler das Ergebnis eines mehr oder weniger langen Formalisierungsprozesses und sie sind explizit. Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden fachwissenschaftliche Aussagen nicht als unumstößliche, normsetzende Tatsachen aufgefasst, vielmehr werden sie unter Vermittlungsabsicht einer kritischen Analyse unterzogen. Dies erst erlaubt einen wechselseitigen Vergleich mit den Ergebnissen der Teilaufgabe „*Erfassen der Lernerperspektive: Reanalyse empirischer Befunde*“, wie er im Kapitel „*Didaktische Strukturierung, Wechselseitiger Vergleich der Lernervorstellungen zu Bakterien mit wissenschaftlichen Vorstellungen*“ vorgenommen wird, „weil die Verknüpfungen nicht nur einseitig normativ vergleichend hergestellt werden“ (Gropengießer 1997, S. 141).

Teilaufgabe „Erfassen der Lernerperspektiven“

Bei der Erfassung der Lernerperspektiven geht es um die empirische Untersuchung von Lernbedingungen und Lernvoraussetzungen, die Zuschreibungen von mentalen Strukturen erlauben (Gropengießer u. Kattmann 1998). Bei der interpretativen Erschließung von Lernervorstellungen wird im Forschungsrahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion angenommen, dass die Vorstellungen der Lerner innerhalb des individuellen Bezugsrahmens in sich schlüssig und sinnvoll sind. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Lernervorstel-

lungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen. Die individualen kognitiven Strukturen von Lernern werden auf der Ebene der Konzepte und Denkfiguren qualitativ erfasst, analysiert und miteinander verglichen. Es wird nach lebensweltlichen und wissenschaftsorientierten Vorstellungen unterschieden. Quantitative Fragestellungen beispielsweise danach, wie oft bestimmte Vorstellungen in der Gruppe der befragten Lernern vorkommen können, werden gemäß des gewählten Untersuchungsschwerpunktes nicht an das empirische Material herangetragen. Neben den Kognitionen stehen dem Menschen emotionale, motivationale und psychomotorische mentale Erlebnisformen offen, letztere sind aber nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen. Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen werden mithilfe zweier methodischer Vorgehensweisen erfasst, der Reanalyse empirischer Befunde, von denen in der Literatur berichtet wird und der Analyse von Lernervorstellungen, die in Interviewphasen erfasst werden. Die Kombination der beiden Methoden ermöglicht zum einen das Erfassen einer möglichst großen Bandbreite an Lernervorstellungen, zum anderen können die Ergebnisse der beiden Analysemethoden aufeinander bezogen und validiert werden (zur methodischen Triangulation, s. Bohnsack u.a. 2006, S. 161).

1. Reanalyse empirischer Befunde

Empirisch erhobene Befunde zu Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen, von denen in der Literatur berichtet wird, werden analysiert, d.h. zusammenfassend dargestellt und auf der Ebene der Konzepte erfasst und strukturiert. Dabei werden auch einzelne Befunde berücksichtigt, die sich auf nichtmikrobiologische Inhalte beziehen, wenn dies den forschungsanleitenden Fragen dienlich ist. Lernervorstellungen von eukaryotischen Zellen, Ernährung und Wachstum können die diesbezüglichen auf Bakterien bezogenen Vorstellungen erhellen und verständlicher machen. Die Lernervorstellungen werden abschließend aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens reinterpretiert.

2. Analyse von Interviewphasen in Vermittlungsexperimenten

Die Befragungen der Lerner werden videographiert, transkribiert und expliziert. Die Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen werden auf der Ebene der Konzepte und Denkfiguren strukturiert. Dies ermöglicht im theoretischen Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion einen Vergleich mit den Ergebnissen der Reanalyse empirischer Befunde zu Lernervorstellungen, von denen in der Literatur berichtet wird (s. Kapitel „Zusammenführung und Verallgemeinerung der erfassten Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen“).

Teilaufgabe „Didaktische Strukturierung“

Die Vorstellungswelten von Mikrobiologen, die in der Teilaufgabe „*Fachliche Klärung*“ erschlossen werden, und die empirisch erfassten Lernervorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen werden im Rahmen der „*Didaktischen Strukturierung*“ wechselseitig aufeinander bezogen. Das Ziel dieser Teilaufgabe innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion ist es, Lehr-Lern-Arrangements zu entwickeln, welche die Vermittlung bestimmter Inhaltsbereiche optimieren. Nach Kattmann u. Gropengießer (1998) handelt es sich bei der Teilaufgabe „Didaktische Strukturierung“ um einen themenspezifischen und lernorientierten Planungsprozess, der zu grundsätzlichen und verallgemeinerbaren Entscheidungen auf der Ziel-, Inhalts- und Methodenebene führt.

In der vorliegenden Arbeit wird die didaktische Strukturierung dreischrittig vorgenommen:

1. Formulierung von Leitlinien für die Vermittlung der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen.
2. Entwicklung didaktisch rekonstruierter Lernangebote für Vermittlungssituationen.
3. Einsatz der Lernangebote (Interventionen) in Vermittlungsexperimenten und evidenzbasierte Überprüfung ihrer Wirksamkeit auf die individuellen Vorstellungsentwicklungen von Lernern im Sinne eines Lernens fachwissenschaftlicher Inhalte.

In Abb. 3.2 werden die Struktur der vorliegenden Studien im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion und die einzelnen, aufeinander bezogenen methodischen Schritte zusammenfassend veranschaulicht.

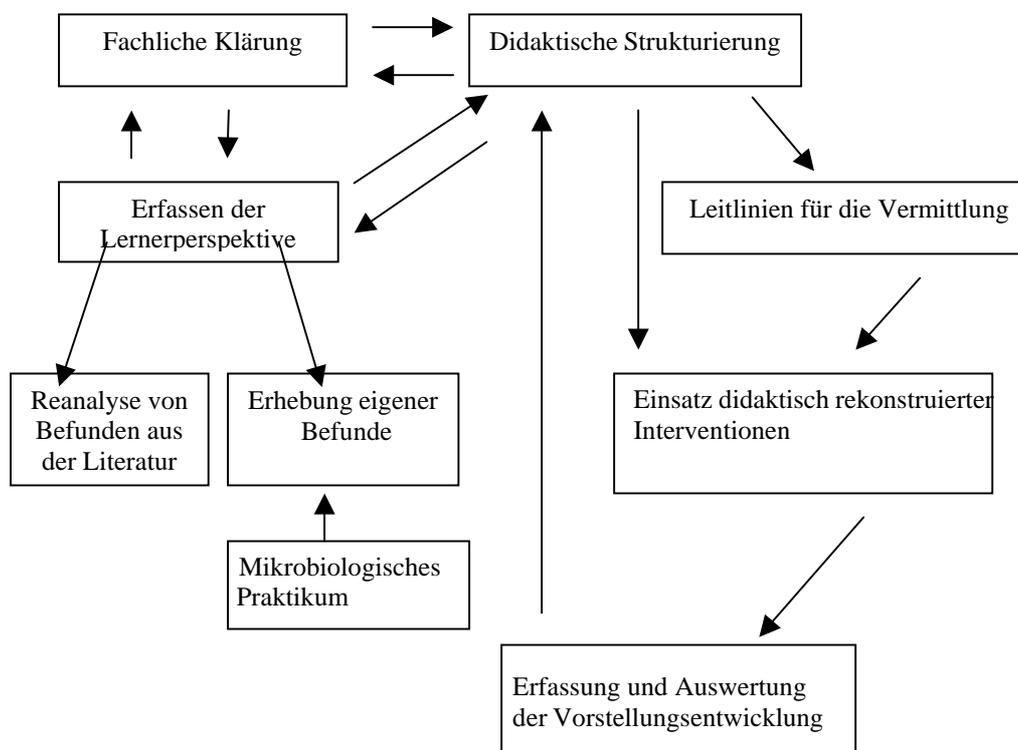


Abb. 3.2: Struktur der vorliegenden Studie. Abfolge der einzelnen Forschungsschritte

3.2 Allgemeine Fragestellungen der Studie

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu klären, über welche Vorstellungen Lerner des 10. Jahrganges zu Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen. Im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion werden zu diesem Zweck fachwissenschaftliche Vorstellungen zum Thema analysiert und mit empirisch erhobenen Lernervorstellungen verglichen, um lernförderliche Korrespondenzen erfassen zu können. Damit soll es aber nicht sein Bewenden haben, vielmehr wird die Frage nach der Veränderlichkeit der auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Lernervorstellungen gestellt. Die Wirkung didaktisch rekonstruierter Lernmöglichkeiten auf die individuelle Vorstellungsentwicklung wird prozessorientiert erfasst und analysiert. Den aus konstruktivistischer Perspektive als „Lernschritte“ und „Lernwege“ gedachten Vorstellungsentwicklungen, die Lernern aufgrund der eingesetzten Lernangebote

möglich sind, wird vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nachgespürt. Dabei werden die Lernangebote auf ihre Tauglichkeit hin untersucht, das Lernen mikrobiologischer Inhalte zu fördern. Die Fragen, die an das Verständnis der Lerner herangetragen werden, beziehen sich auf die Größe, die Struktur und die Ernährung der Bakterien, auf bakterielles Wachstum und bakterielle Kolonien sowie auf die Wirkung von Antibiotika.

4 Wissenschaftliche Vorstellungen von Bakterien: Fachliche Klärung

4.1 Fachliche Klärung als fachdidaktisches Anliegen

Ziel der fachlichen Klärung ist die kritische Untersuchung fachwissenschaftlichen Wissens (Theorien, Methoden, Termini) unter Vermittlungsabsicht (Gropengießer 1997, S. 29). Gegenstand einer fachlichen Klärung können sowohl der gegenwärtige Wissensstand als auch überholte, historische Theorien sein. Von der Fragestellung ausgehend, welche aktuellen wissenschaftlichen Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen erfasst werden können, wird mit dem Lehrbuch „Mikrobiologie“ (Madigan et al. 2001) ein international weit verbreitetes Werk zur Einführung in die Mikrobiologie in deutscher Übersetzung untersucht. Im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion (s. Gropengießer 2005) kommt der fachlichen Klärung weniger die Aufgabe zu, Probleme der Theoriebildung oder gar Forschungsprobleme innerhalb der Fachwissenschaft zu analysieren. Vielmehr wird der Quellentext aus Sicht der Fachdidaktik dahingehend untersucht, welchen Beitrag er zum Verständnis von auf Bakterien bezogene Lernervorstellungen leisten kann. Mithilfe der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kap. 4.3) werden aus dem fachwissenschaftlichen Material die Konzepte und Denkfiguren herausgearbeitet. Dabei wird das Material kritisch aufgearbeitet und dessen wesentliche Bestandteile mit Blick auf die Lerner rekonstruiert. Einerseits ist das Wissen um die fachwissenschaftliche Basis eines Themas bei der Entwicklung von Unterrichtskonzepten unverzichtbar, andererseits kann es dabei aber nicht darum gehen, wissenschaftliche Vorstellungen unkritisch in den Unterricht zu übernehmen. Beispielsweise kennen Wissenschaftler den Kontext, in dem ihre fachlichen Aussagen bedeutsam sind, sie wissen um die Grenzen des Gegenstandsbereiches, in dem ihre Aussagen gültig sind. Fachwissenschaftler verfügen über einen theoretischen Rahmen und methodische Erfahrungen, die Vorstellungen von Naturwissenschaftlern sind evidenzbasiert. Das didaktische Problem besteht einerseits darin, dass diese theoretischen und methodischen Rahmenbedingungen in Lehrbüchern meist nicht expliziert werden, andererseits können auch fachwissenschaftliche Aussagen widersprüchlich sein und natürlich fließen auch in die Aussagen von Wissenschaftlern lebensweltliche Vorstellungen ein. Wie Didaktiker und Lehrer betten auch Mikrobiologen fachwissenschaftliche Sachverhalte in individuelle, gesellschaftliche und umweltliche Zusammenhänge ein (vgl. Gropengießer 2005). Diese gilt es bei der fachlichen Klärung zu erfassen und reflektiert in Vermittlungssituationen nutzbar zu machen.

4.2 Fragestellung

Die Untersuchungsaufgabe „*Fachliche Klärung*“ wird von der Frage geleitet, welche Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen im Lehrbuch „Mikrobiologie“ (Madigan et al. 2001) vorzufinden sind. Gegenstand der Analysen sind chemoorganotrophe Bakterien, alle anderen und auch die Archaea sind nicht ihr Gegenstand. In Anlehnung an Gropengießer (1997, S. 31) werden im Rahmen der fachlichen Klärung folgende Fragen beantwortet:

1. Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zum Thema Bakterien vor, wo zeigen sich deren Grenzen?

2. Welche Funktion und Bedeutung haben mikrobiologische Begriffe, in welchem Kontext stehen sie?
3. Welche mikrobiologischen Fachwörter werden verwendet, welche Termini legen durch ihren Wortsinn lernförderliche bzw. lernhinderliche Vorstellungen nahe?

4.3 Vorgehensweise

Die Untersuchungsaufgabe „Fachliche Klärung“ wird nach Gropengießer (1997, S. 32) im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion nach der Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse (s. Mayring 2003) durchgeführt. Der fachwissenschaftliche Quellentext wird dabei in den drei aufeinander folgenden interpretativen Schritten „Zusammenfassung“, „Explikation“ und „Strukturierung“ analysiert. Die Grundlage der drei Interpretationsformen bildet der hermeneutische Zirkel, bei der Textanalyse wird nach Begriffen und Theorien gesucht, in den Theorien gewinnen die Begriffe aber erst ihre Bedeutung (s. Gropengießer 1997, S. 32). Es handelt sich nach Bohnsack u. a. (2006, S. 84) um eine Konstellation, wonach das Ganze aus den einzelnen Bestandteilen heraus verstanden werden soll, ein Verständnis des Einzelnen zugleich aber schon das des Ganzen voraussetzt.

Auswahl des Quellentextes

Die Untersuchungsaufgabe „*Fachliche Klärung*“ bezieht sich auf die aktuelle Darstellung der Mikrobiologie. Zur Analyse wurde das Hochschullehrbuch „Mikrobiologie“ (Madigan et al. 2001) herangezogen. Es handelt sich dabei um die deutsche Übersetzung des in englischer Sprache verfassten Originals „Brock biology of microorganisms“ (Madigan et al. 2000). Das englischsprachige Original in neunter Auflage kann als das international wohl bedeutendste Lehrwerk zur Einführung in die Mikrobiologie angesehen werden. Ein Vergleich mit anderen mikrobiologischen Lehrwerken, z.B. Schlegel (1981), Fuchs (2006), die im deutschsprachigen Raum Verwendung finden, hat ergeben, dass die fachwissenschaftlichen Inhalte des Werkes „Mikrobiologie“ am besten mit den in Vermittlungsabsicht in Aussicht genommen übergreifenden Fragestellungen dieser Arbeit übereinstimmen.

Zusammenfassung

Die mehr oder weniger umfangreichen Quellentexte werden zunächst aufgrund von Leitfragen (s. u.) gesichtet, inhaltstragende Textstellen ausgewählt. Zentrale Sätze werden zitiert, der verbleibende Text wird paraphrasiert und durch Abstraktion soweit reduziert, so dass aus der Zusammenfassung eine überschaubare Darstellung wesentlicher Inhalte resultiert. Auch Unklarheiten und Widersprüchlichkeiten werden hier erfasst.

Explikation

Die zusammengefassten Aussagen werden zur Sicherung ihrer Validität auf interne Konsistenz hin überprüft, indem z.B. die Leitfragen an die Aussagen herangetragen werden, um die Grenzen der Theorie auszuleuchten. Auch können externe Quellen hinzugezogen werden, um Aussagen vergleichen zu können. Widersprüchliche Aussagen oder fachwissenschaftlich nicht gelöste Probleme müssen bei der fachlichen Klärung nicht gelöst, sondern lediglich dargestellt werden (s. Gropengießer 1997, S. 32). Sprachliche Aspekte des Quellentextes sind ebenfalls Gegenstand einer Explikation, z.B. werden Analogien und Metaphern dahingehend untersucht, ob sie in Vermittlungsabsicht förderlich oder hinderlich sein können.

Strukturierung

Auf Basis der Zusammenfassung und Explikation werden Konzepte und Denkfiguren formuliert und mit einem treffenden Namen versehen. Es wird also eine mittlere Ebene aus dem Kontinuum gedanklicher Verknüpfungen ausgewählt (Gropengießer 1997, S. 32), um die Vorstellungen von Wissenschaftlern zu erfassen. Aufgrund der Kategorisierung nach Konzepten und Denkfiguren ist eine Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Vorstellungen mit den Vorstellungen von Lernern möglich, so dass die beiden Untersuchungen im Rahmen der didaktischen Strukturierung zusammengeführt werden können. Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion stellt die Vermittlung biologischen Wissens die Zielebene dar. Aufgrund der didaktischen Strukturierung, in der fachwissenschaftliche Vorstellungen und Lernervorstellungen zusammengeführt und abgeglichen werden, können Lehr-Lern-Arrangements geplant, durchgeführt und evidenzbasiert ausgewertet werden.

Zitierung

Zitate aus dem Quellentext werden in Anführungszeichen „gesetzt“, Hervorhebungen werden aus dem Originaltext übernommen, die Namen der Konzepte und Denkfiguren werden in der Kursivschreibweise kenntlich gemacht, Hervorhebungen des Autors im fortlaufenden Text werden in Anführungszeichen und kursiv „gesetzt“.

4.4 Wissenschaftliche Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen im Lehrbuch Brock Mikrobiologie

Bibliographische Angaben zur Quelle: „Mikrobiologie“. Madigan M.T., Martinko, J.M., Parker, J. (2001). Deutsche Übersetzung der 9. englischen Auflage, 2. korrigierter Nachdruck 2003. Deutsche Übersetzung herausgegeben von Werner Goebel. Berlin, Spektrum, Akademischer Verlag, ISBN 3-8274-0566-1

Amerikanische Originalausgabe: „Brock biology of microorganisms“, Madigan M.T., Martinko, J.M., Parker, J. (2000). 9. Auflage, Prentice-Hall, New Jersey 2000

Um die im Rahmen der fachlichen Klärung im Lehrbuch Brock Mikrobiologie aufgefundenen Vorstellungen übersichtlich darstellen zu können, werden die entsprechenden Konzepte und Denkfiguren nach folgenden Gliederungspunkten, die unter Vermittlungsabsicht ausgewählt wurden, geordnet:

1. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zum Gegenstandsbereich der Mikrobiologie
2. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zur Bakteriengröße
3. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zur Bakterienstruktur
4. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zur Bakterienernährung
5. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zur Bakterienbeweglichkeit
6. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zum Bakterienwachstum
7. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zu Antibiotika
8. Fachwissenschaftliche Vorstellungen zu Bakterienkolonien

Einführung in das Lehrbuch

Bei der vorliegenden Quelle handelt es sich um ein Lehrbuch, das Studenten in die allgemeine Mikrobiologie einführen soll. Dem Vorwort zur englischsprachigen Ausgabe, das in deutschsprachiger Übersetzung vorzufinden ist, kann entnommen werden, dass die Autoren dem Ka-

pitel „Mikrobielle Evolution und Systematik“ eine besondere Bedeutung beimessen, da es den darauffolgenden Kapiteln „Mikrobielle Diversität“, „Stoffwechselfalt“ und „Ökologie“ in dem Sinne den „Boden bereiten“ soll, dass Mikroorganismen und ihre Aktivitäten in der Natur in einem sinnvollen phylogenetischen Kontext betrachtet werden können. Die Medizinische Mikrobiologie wird als besonders wichtiges Gebiet angesehen, das Kapitel „Mikrobiologische Wachstumskontrolle“ wird als Einführung in den medizinisch-mikrobiologischen Kapitelblock gedacht. Die Autoren sehen die Wissenschaft der Mikrobiologie im „Aufbruch“, „rapide Fortschritte“, insbesondere das „explosionsartige Vordringen“ molekularer Methoden, „katapultieren“ die Mikrobiologie an die „vorderste Front“. Mikrobiologen können demnach heute Fragen stellen und Experimente durchführen, von denen sie vor ein paar Jahren „nur träumen konnten“. Die Autoren befinden sich in einem Spagat, nämlich zwischen den „grundlegenden Prinzipien“, in denen die Disziplin über Jahre hinweg „verwurzelt geblieben ist“ und den erwähnten rasanten Entwicklungen. Das Ziel der Autoren ist es aber, ein „Gleichgewicht“ zwischen Konzepten und Details zu finden, so dass der „Anfänger nicht erschlagen“ wird. Der Herausgeber der deutschen Ausgabe stellt die Mikrobiologie als die gesamte Biologie der Kleinstlebewesen (Mikroorganismen) vor. Er stellt deren Diversität, ökologische, biotechnologische und medizinische Bedeutung heraus. Der Herausgeber sieht auch ein Spannungsverhältnis zwischen den „weitgehend abgeschlossenen Wissensgebieten“ und den von den Autoren der englischen Ausgabe erwähnten neueren Entwicklungen der Disziplin, schätzt die Anwendungsmöglichkeiten der modernen Gentechnologie aber als ambivalent ein. Abschließend erwähnt der Herausgeber die „Tücken“ des Übersetzungsprozesses und die „Kürze der für die deutsche Auflage zur Verfügung stehenden Zeit“, die er als Ursache für etwaige Ungenauigkeiten sieht, die dem Leser auffallen könnten.

Das aus rund 1200 Seiten bestehende und in 24 Kapitel gegliederte Lehrbuch zeichnet sich durch eine inhaltliche Vernetzung aus, durch die an zahlreichen Stellen ein Bezug zu evolutiven, ökologischen sowie medizinischen und biotechnologischen Aspekten der Mikrobiologie hergestellt werden kann. Die grundlegenden Konzepte der Mikrobiologie werden herausgestellt. Am Ende jedes Kapitels werden dazu Aufgaben gestellt, die einerseits zur rekapitulierenden Zusammenfassung der Konzepte anhalten, andererseits Möglichkeiten zu ihrer Anwendung bieten. Für die Zusammenfassung werden in der vorliegenden Arbeit Abschnitte ausgewählt, die für die übergreifenden Fragestellungen in Vermittlungsabsicht als vielversprechend in dem Sinne angesehen werden, wissenschaftliche Konzepte und Denkfiguren zu Bakterien besser verstehen zu können. Ein Anspruch auf Vollständigkeit kann aufgrund dessen nicht erhoben werden.

4.5 Zusammenfassung

4.5.1 Abgrenzung des Gegenstandsbereichs der Mikrobiologie

Dem Sammelglossar am Ende des Lehrbuches kann die im Buch vertretene Vorstellung von Mikroorganismen entnommen werden: „**Mikroorganismen** Mikroskopisch kleine Organismen – einschließlich der Viren –, die aus einer einzelnen Zelle oder Zellgruppe bestehen“. Die Problematik, dass Viren unter der Kategorie „*Mikro-Organismen*“ subsumiert werden, wird im einleitenden Kapitel 1 („Mikroorganismen und Mikrobiologie“) nach der sinngemäßen Wiederholung der oben angeführten Definition aufgenommen, einschränkend wird erläutert, dass Viren wie die erwähnten Mikroorganismen klein, aber im Gegensatz zu ihnen, „keine Zellen sind“ (S. 2); „Viren sind keine Zellen und besitzen kaum Zellmerkmale...“ (S. 9). „Mikrobielle Zellen“ unterscheiden sich von „Tier- und Pflanzenzellen“ dadurch, dass letztere „in der Natur nicht alleine, sondern nur als Bestandteil vielzelliger Organismen exis-

tieren können“ (Kap. 1 „Mikroorganismen und Mikrobiologie“, S. 2). Andererseits wird auf Seite 11 des gleichen Kapitels das Konzept *Drei Domänen des Lebens* eingeführt, die Lebewelt wird in Archaea, Bacteria und Eukarya klassifiziert (s. Abb. 1.8). Archaea und Bakteria sind der Abbildung zufolge „allesamt prokaryotische Mikroorganismen“, innerhalb der Eukarya wird nach **Mikroorganismen** (Algen, Pilze, Protozoen) und **Makroorganismen** (Pflanzen, Tiere) unterschieden. Folgerichtig werden eukaryotische Mikroorganismen in Kapitel 17 („Eukaryotische Mikroorganismen“) auch ausführlich bebildert vorgestellt. Dabei werden sowohl Pilze als auch Algen der Mikrobiologie zugeschlagen, gleich ob es sich um im ersten Fall um Schimmelpilze, Ständerpilze, Hefen, azelluläre Schleimpilze oder zelluläre Schleimpilze und im zweiten Fall um mikroskopische oder makroskopische Arten handelt.

In Kapitel 12.8 („Charakteristika der primären Domänen“) wird zu den Merkmale, die die drei Domänen des Lebens „definieren“, ausgeführt: Genannt werden molekulare Charakteristika („*phänotypische* Eigenschaften“, S. 493) der Zellwände, Lipide, RNA-Polymerasen und der Proteinbiosynthese auf der einen Seite und genetische Merkmale (DNA, r-RNA) auf der anderen Seite. Eine Begründung dafür, dass im Lehrbuch das Konzept *Drei Domänen des Lebens* vertreten wird, findet sich in Kapitel 17.2 („Phylogenetischer Überblick über die Eukarya“, S. 807). „Vor der Ära der molekularen Phyllogenie“ wurden die Eukarya in „vier Organismenreiche“ eingeteilt [„Pflanzen, Tiere, Pilze und die restlichen mikrobiellen Eukarya, die sogenannten Protisten (oder Protoctisten)]“, diese „vier Gruppen“ bildeten „gemeinsam mit allen Prokaryoten (die einfach in einer phylogenetischen Einheit zusammengefasst wurden) die so genannten *fünf Reiche der Lebewesen*“; allerdings habe die „molekulare Sequenzanalyse gezeigt“, „dass das Fünf-Reiche-System die evolutionäre Bedeutung der Metazoa (der vielzellige Pflanzen und Tiere)“ stark aufblähten. Das „evolutionäre Bild der *drei Domänen des zellulären Lebens*, das sich aus dem Vergleich von r-RNA-Sequenzen ergeben hat“, zeige, „dass der Großteil der evolutionären Vielfalt innerhalb der mikrobiellen Welt“ läge, dasselbe gelte für die Eukarya.

4.5.2 Bakteriengröße

Im einführenden Kapitel 1 („Mikroorganismen und Mikrobiologie“) werden Mikroorganismen und somit auch Bakterien als zu klein vorgestellt, „um mit dem bloßen Auge beobachtet zu werden“, daher „beruht unser ganzes Wissen über Mikroorganismen auf mikroskopischen Untersuchungen“. Im Kapitel 3 („Zellbiologie“) werden die verschiedenen mikroskopischen Verfahren zur Sichtbarmachung von Mikroorganismen vorgestellt. Allen mikroskopischen Aufnahmen von Mikroorganismen ist kein Größenmaßstab zugeordnet. Die Größe der dargestellten Mikroorganismen kann den Abbildungstexten entnommen werden. Angaben dazu, wie die Einheiten Millimeter, Mikrometer und Nanometer des metrischen Systems ineinander umgerechnet werden können, sind nicht systematisiert, aber über das Buch verstreut aufzufinden: In Kapitel 1 („Mikroorganismen und Mikrobiologie“) kann einer Grafik folgende Information entnommen werden: „1000 nm (1 μ m)“, darüber befindet sich ein Größenmaßstab, der zu einer eukaryotischen Zelle im Schema abgetragen wurde. Die Auflösung der Abkürzung (nm) kann dem Abbildungstext (Abb. 1.7, S. 10) oder auch der Seite 57 entnommen werden. Die Auflösung der Abkürzung (μ m) kann textlich Seite 7 bzw. S. 57 entnommen werden.

Bakterien werden nicht isoliert besprochen, sondern auf dem Hintergrund ihrer biotischen und abiotischen Umgebung vorgestellt, die, entsprechend der Größe von Mikroorganismen, ebenfalls kleinräumig gedacht wird. Um die Größenordnungen zu veranschaulichen, werden die

Abmessungen der mikroskopischen Größenebene auf makrokosmische Verhältnisse³ übertragen und anhand zweier Beispiele veranschaulicht:

1. „Mikroorganismen sind im Allgemeinen sehr klein. Ein typischer stäbchenförmiger Procaryot ist etwa ein bis fünf Mikrometer (μm) lang und ein Mikrometer breit und somit für das bloße Auge völlig unsichtbar. Zur Verdeutlichung: 500 Bakterien mit einer Länge von $1 \mu\text{m}$ entsprechen mit ihren Enden aneinandergelegt dem Durchmesser des Punktes am Ende dieses Satzes“ (Kap. 1 „Mikroorganismen und Mikrobiologie“ S. 7).
2. „Weil Mikroorganismen so klein sind, sind auch ihre Lebensräume klein. Ein Mikrobiologe muss daher lernen, in kleinen Einheiten zu denken, wenn er einen Mikroorganismus in seiner Umwelt betrachtet. Beispielsweise bedeutet für ein typisches, drei Mikrometer (μm) langes stäbchenförmiges Bakterium eine Entfernung von drei Millimetern (mm) in seinem Habitat dasselbe wie zwei Kilometer (km) für einen Menschen“ (Kap. 16 „Mikrobielle Ökologie“ S. 718).

Zwei Abbildungen kommt im Lehrbuch eine zentrale Bedeutung für das Lernen der Größenordnungen von Bakterien zu: In Kapitel 1 („Mikroorganismen und Mikrobiologie“) findet sich eine Grafik, in deren Text die schematisch gezeichnete Zelle als „typische eukaryotische Zelle“ ausgewiesen wird. In dieser Zelle ist eine viel kleinere „prokaryotische Zelle“ und ein noch kleineres „Virus“ zu finden (Abb. 1.7, S. 10). Unter der Grafik befindet sich ein Größenmaßstab mit der Angabe „1000 nm ($1 \mu\text{m}$)“. In Kapitel 3 („Zellbiologie“) findet sich eine weitere Grafik mit dem Abbildungstext: „Größenvergleich einer Reihe von Prokaryoten. Die meisten bekannten Prokaryoten haben einen Durchmesser von $0,5 - 2 \mu\text{m}$ “ (Abb. 3.14, S. 67), dargestellt sind die Längen- und Breitenmaße verschieden groß dargestellter Prokaryoten.

In Kapitel 18 („Kontrolle des mikrobiellen Wachstums“; 18. 3 „Filtersterilisation“) werden verschiedene Verfahren des Filtrierens von Bakterien vorgestellt, deren gemeinsames Prinzip darauf basiert, dass Bakterien aufgrund der geringen Abmessungen der Filterporen zurückgehalten werden, Flüssigkeit und darin befindliche Partikel (z. B. Viren), die kleiner als die Poren sind, hingegen passieren können. Anhand mehrerer rasterelektronenmikroskopischer Abbildungen werden die Poren von Bakterienfiltern gezeigt (Abb. 18.7, S. 834), auf den Porendurchmesser wird textlich hingewiesen. Die Abbildung 18.8 zeigt eine Filtermembran mit auffälligen Poren, auf der sich morphologisch unterschiedliche mikroskopische Gegenstände mit sehr unterschiedlicher Größe befinden, die im Abbildungstext als „aquatische Bakterien und Algen“ ausgewiesen werden, der Durchmesser der Membranporen wird dort angegeben („ $5 \mu\text{m}$ “).

Die physiologischen und ökologischen Konsequenzen der geringen Größe von Mikroorganismen werden an mehreren Stellen des Lehrbuches vorgestellt. In Kapitel 3 („Zellbiologie“) werden am Beispiel zweier verschieden großer Kugeln die geometrischen Zusammenhänge

³ In der Biologie werden mit der makroskopischen, mikroskopischen und submikroskopischen Größenebene drei Organisationsebenen unterschieden (zum Drei-Ebenen-Modell, s. Kapteijn 1990). Die makroskopische Ebene umfasst alle Phänomene, die mit bloßem Auge wahrgenommen werden können. Zellen sind Gegenstände des Mikrokosmos, sie können in der Regel nur mithilfe eines Mikroskopes wahrgenommen werden. Von der Ebene der Zellen, also der kleinsten lebensfähigen Einheiten wird die submikroskopische Ebene der Moleküle unterschieden. Vollmer (2002) verwendet den Begriff Mesokosmos zur Bezeichnung der Welt der mittleren Dimensionen, für die die menschlichen Anschauungs- und Denkformen brauchbar sind. Der Mesokosmos reicht nach Vollmer von Millimetern bis zu einigen Kilometern, von der Geschwindigkeit Null bis zu einigen Metern pro Sekunde und von Sekunden bis zu einigen Jahren.

zwischen Volumen und Oberfläche veranschaulicht (Abb. 3.15, S. 67), die sich beim Vergleich der beiden Kugeln umgekehrt proportional zueinander verhalten. Kleine Zellen besitzen analog dazu volumenbezogen mehr Membranoberfläche als größere und können sich aufgrund dessen effektiver mit ihrer Umwelt „austauschen“, sie wachsen schneller. In Kapitel 16 („Mikrobielle Ökologie“) wird eine Grafik präsentiert, in der Zonen unterschiedlicher Sauerstoffkonzentration als „Momentaufnahme“ eines Bodenpartikels gezeigt werden (Abb. 16.2, S. 719), unterschiedliche „Nischen“ können innerhalb sehr kleiner räumlicher Dimensionen „existieren“.

Moleküle werden an zahlreichen Stellen des Buches schematisch in verschiedenen grafischen Aufmachungen gezeigt, dies entspricht der im Vorwort zum Lehrbuch betonten Wichtigkeit der molekularen Mikrobiologie. In Kapitel 3 („Zellbiologie“) wird demgemäß die molekulare Struktur von Membranen und Zellwänden prokaryotischer Zellen im Schema präsentiert. Zwei Grafiken in Kapitel 3 kommt für das Lernen der Größenordnung mikroskopischer und submikroskopischer biologischer Gegenstände eine zentrale Bedeutung im Lehrbuch zu: Zum einen handelt es sich um die transmissionselektronenmikroskopische Abbildung einer Cytoplasmamembran, dem Abbildungstext kann entnommen werden, dass eine „Doppelschicht etwa 8 nm dick“ ist (Abb. 3.17, S. 68). Neben der Abbildung befindet sich die Ausschnittsvergrößerung einer „Doppelschicht“, welche die molekulare Struktur der Membran im Schema wiedergibt. Eine Zuordnung der Größenordnungen ist möglich, da zwei Größenmaßstäbe die Größe des originalen Abschnitts und seiner Vergrößerung im Schema repräsentieren. Zum anderen wird die schematische Darstellung einer „gramnegativen Zellwand“ im Anschnitt gezeigt, der ein Größenmaßstab („8 nm“) hinzugefügt wurde (Abb. 3.37, S. 83). Eine Möglichkeit, die Größenverhältnisse mikroskopischer und submikroskopischer Gegenstände im Zusammenhang zu lernen, könnte auch die Abbildung 3.48 (S. 90) bieten: Dort ist ein begeißeltes Bakterium in schematischer Darstellung aufzufinden, das mit einem Maßstab zu seiner Länge bestückt wurde („3 μ m“). Der Bereich, in dem die Geißel in der Zellwand verankert ist, wird im Ausschnitt schematisch und stark vergrößert gezeigt, die Moleküle der Zellwand, Zellmembran und auch der Geißelbasis sind zu erkennen. Durch die Wiedergabe der molekularen Details wird der Eindruck einer enormen Komplexität auf submikroskopischer Ebene vermittelt, während das Bakterium bzw. der Bereich, in dem die bakterielle Geißel inseriert, in mikroskopischer Darstellung demgegenüber eher schlicht erscheint. Da es aber kaum möglich ist, den Maßstab zum Bakterium exakt auf die Moleküle zu beziehen, bleiben die Moleküle unklar klein. In Kapitel 20 („Grundlagen der Immunologie“) werden Immunzellen und verschiedene Moleküle grafisch gezeigt, die dargestellten Moleküllängen entsprechen etwa dem Radius der Zellen (s. Abb. 20.9, S. 906).

4.5.3 Bakterienstruktur

Eine „typische Prokaryotenzelle“ besitzt „im Allgemeinen“ folgende Strukturen: Cytoplasmamembran, Zellwand (Ausnahme Mycoplasmen, S. 570), Ribosomen, Einschlüsse, Nucleoid (Kap. 3 „Zellbiologie“, S. 64). Als auffälligstes gemeinsames mikroskopisches Merkmal der Prokaryoten – „unabhängig davon, ob es sich um ein Bakterium oder einen Vertreter der Archaea handelt“ – wird deren „Kern-Region“ vorgestellt: Bakterien weisen keinen „echten Zellkern“ wie eukaryotische Zellen auf, dessen Funktionen werden „von einem einzigen DNA-Molekül übernommen“ (S. 65). Da das prokaryotische DNA-Molekül in elektronenmikroskopischen Aufnahmen oft „in einem kondensierten Zustand, als so genanntes Nucleoid“ zu erkennen ist, „erhält das DNA-Molekül der Prokaryoten die Bezeichnung Chromosom“, „analog zu den Eukaryoten“ (Kap. 3 „Zellbiologie“ S. 65). Im Zusammenhang mit der bakteriellen Zellteilung ist in Kapitel 5 („Mikrobiologisches Wachstum“) die Rede davon, dass „beide Tochterzellen“ „ein vollständiges Chromosom erhalten“ oder, dass „Chromosomenkopien“ „in jede Tochterzelle“ gelangen (S. 153).

Ihre Vorstellungen zur molekularen Struktur von Zellen verdeutlichen die Autoren in Kapitel 3 („Zellbiologie“): Zellen werden metaphorisch als „Häuser“ verstanden, sie „bestehen“ aus „einfachen Bausteinen“, die auf „verschiedene Weisen zu komplexen Strukturen verbunden sind“ (S. 56). Zellen werden auch als „gut definierte Ansammlungen von Makromolekülen“ gedacht (S. 56). Zellen als mit unterschiedlichen Makromolekülen ausgestattet zu denken erlaubt es einerseits, innerhalb der Prokaryoten nach Bacteria und Archaea zu unterscheiden: Die Zellwände der Bacteria weisen eine Peptidoglykanschicht auf, Archaea hingegen nicht. Innerhalb der Bacteria kann mithilfe der Färbung nach Gram zwischen Arten, die Gram-positiv oder Gram-negativ sind, unterscheiden werden. Die unterschiedliche Anfärbbarkeit wird auf die Eigenschaft strukturell verschiedener Zellwände zurückgeführt (s. z.B. Sammelglossar, Stichworte „**Gramnegativ**“, „**Grampositiv**“). Andererseits kann die gesamte Gruppe der Prokaryoten (Bacteria, Archaea) aufgrund ihrer Zusammensetzung aus Makromolekülen von den Eukarya abgegrenzt werden (s. Kap. 12 „Mikrobielle Evolution und Systematik“, S. 493). In Kapitel 6 („Prinzipien der Molekularbiologie von Mikroorganismen“, S. 186, 187) wird auf strukturelle und funktionelle Unterschiede prokaryotischer und eukaryotischer DNA-Moleküle aufmerksam gemacht: Die Gene eukaryotischer Zellen weisen im Unterschied zu denen prokaryotischer Zellen Introns und Exons auf, die Introns werden bei der Reifung von m-RNA-Molekülen im Zellkern „ausgeschnitten“ und erst die intronfreien m-RNA-Moleküle werden aus dem Zellkern in das Cytoplasma transportiert.

Die bakterielle Cytoplasmamembran wird als „Permeabilitätsbarriere einer Zelle“ vorgestellt, die „für Substanzen, die in die Zelle eindringen oder sie verlassen“ „die Rolle eines Pförtners“ spielen (Kap. 3 „Zellbiologie“, S. 55). Es werden verschiedene Mechanismen vorgestellt, die einen selektiven Transport von Molekülen über die Zellmembran ermöglichen (z.B. Lactose mithilfe einer Permease). Es handelt sich stets um kleine, niedermolekulare Moleküle, die über die Zellmembran transportiert werden können. Gram-negative Bakterien weisen zusätzlich zur Cytoplasmamembran und Zellwand eine äußere Membran auf. Der Raum zwischen äußerer Membran und Cytoplasma („Periplasma“) wird von der Zellwand untergliedert (s. Kap. 3.8 „Die äußere Membran gramnegativer Bakterien“, S. 82). Die äußere Membran ist „für kleine Moleküle relativ durchlässig“, weil sie Proteine aufweist, „die Porine genannt werden und als Kanäle für den Ein- und Austritt von hydrophilen Substanzen mit geringem Molekulargewicht dienen“ (S. 83). Innerhalb des „Periplasmas“, das von der äußeren Membran und der Cytoplasmamembran Gram-negativer Bakterien umgrenzt wird, befinden sich Enzyme, die von der äußeren Membran daran gehindert werden, „von der Zelle weg zu diffundieren“ (S. 84). Die bakterielle Zellwand wird im Kapitel 3.7 („Die Zellwand der Prokaryoten: Peptidoglykan und verwandte Moleküle“) als „starre Schicht, die für die Stärke der Zellwand hauptverantwortlich ist“ vorgestellt (S. 76) und mit einem „strapazierfähigen Stoff, etwa einer Gummiplane“ analogisiert (S. 85). Der „Turgordruck“ wird „in einem Bakterium wie *Escherichia coli* auf 2 Atmosphären (Atm) geschätzt; dies entspricht ungefähr dem Druck in einem Autoreifen. Um diesem Druck zu widerstehen, besitzen Bakterien Zellwände, die der Zelle auch Form und Starrheit verleihen“ (S. 76).

Bakterielle Zellen können sich in ihrer Form deutlich unterscheiden, die Autoren schreiben, dass es „viele verschiedene Bakterienformen“ gibt, die „unterschiedlich benannt werden (Kap. 3 „Zellbiologie“, Abb. 3.11, S. 65). Unterschieden wird nach Kokken, Stäbchen, Spirillen, Spirochäten, knospenden Bakterien und fadenförmigen Bakterien. „In vielen Prokaryoten bleiben die Zellen nach der Teilung zusammen“, einerseits kann man anhand der „ungewöhnlichen Form“ „mehrere Bakteriengruppen“ unter dem Mikroskop direkt erkennen, ande-

rerseits machen die Autoren auf den Sachverhalt aufmerksam, dass die in Abb. 3.11 gezeigten „Formen („Morphologien“) „nur repräsentativen Charakter haben“, es gebe viele „Varianten“ dieser „grundlegenden morphologischen Typen“ (S. 66). In den umfangreichen Kapiteln 13 („Prokaryotische Vielfalt: Bakteria“) und 14 („Prokaryotische Vielfalt: Archaea“) wird diese außerordentliche strukturelle Vielfalt der Prokaryoten vorgeführt. Das Anliegen der Autoren, die strukturelle Heterogenität prokaryotischer Mikroorganismen als einen die Mikrobiologie strukturierenden Sachverhalt vorzustellen, fällt in den beiden genannten Kapiteln ins Auge.

4.5.4 Bakteriernahrung

Die grundlegenden „chemischen Bausteine“ einer bakteriellen Zelle „stammen aus ihrer Umgebung“, wenn eine Zelle wächst, „nimmt die Menge all dieser chemischen Bestandteile zu“ (s. Kap. „Ernährung und Stoffwechsel“, s. 116). Als Baustoff werden „chemische Substanzen“ bezeichnet, mit denen Mikroorganismen versorgt werden und die sie „zur Herstellung von Monomeren benötigen“ (s. Kap. 4.2 „Mikrobielle Ernährung“, S. 117). Zellen bestehen „vor allem aus Makromolekülen“, zu deren Herstellung die Monomere als kleinere „Einheiten“ benötigt werden. Während bei „anabolen Reaktionen Nährstoffe aus der Umgebung...in Zellbestandteile umgewandelt werden“, werden „bei katabolen Reaktionen aus Energiequellen der Umgebung Abfallprodukte“ (Kap. 4.1 „Ein Überblick über den Stoffwechsel“, S. 117). „Substanzen“ die als Energiestoffe („Energiequellen“) dienen, werden in „einfachere Bestandteile gespalten“, dabei wird „Energie freigesetzt“, die von der Zelle „konserviert“ werden kann (S. 116). Zellen „benötigen Energie“ zur „biochemischen Synthese neuer Zellmaterialien (Biosynthese genannt)“ sowie für „andere Funktionen wie Transportvorgänge und Bewegung“. Innerhalb der Zelltheorie werden Bakterien metaphorisch als „chemische Maschinen“ vorgestellt (S. 6), die innerhalb der „Grenzen ihrer Zellstruktur chemische Umwandlungen“ vornehmen. Bezogen auf den bakteriellen Energiestoffwechsel wird auch von „Maschinenfunktionen“ gesprochen, die „jene Energie erzeugen und bereitstellen, die verfügbar sein muss, um neue Zellen herzustellen“ (S. 115).

Mikroorganismen werden anhand der „Energiequellen, die sie verwenden“ „Stoffwechselklassen“ zugeordnet (s. „Energieklassen von Mikroorganismen“ im Kap. 4.1). Mikroorganismen, die „Licht als Energiequelle nutzen“ werden als „**phototroph**“ bezeichnet, solche, die „chemische Verbindungen als Energiequelle verwenden, als **chemotroph**“. „Organismen, die in der Lage sind, *anorganische* Substanzen als Energiequelle zu nutzen, nennt man **chemolithotroph**“. Mikroorganismen werden zwar grundsätzlich anhand der genutzten Energiestoffe klassifiziert (Kap. 15.1 „Energiespeicherung und Kohlenstoffmetabolismus“, S. 641), bei der Systematisierung der mikrobiologischen Stoffwechselklassen werden aber auch die genutzten Baustoffe („Kohlenstoffquellen“, s. Abb. 15.1, S. 641) miteinbezogen. Chemolithoautotrophe beispielsweise nutzen Kohlenstoffdioxid, Photoheterotrophe organische Substanz als Kohlenstoffquelle. Nach Aussagen der Autoren „nutzen“ „die meisten Organismen, mit denen Mikrobiologen „zu tun haben“ „organische Verbindungen als Energiequellen und werden daher als **chemoorganotroph** bezeichnet“ (S. 117). Dass gemeint sein dürfte, chemoorganotrophe nutzen organische Substanz sowohl als Energiequelle als auch als Kohlenstoffquelle, geht aus S. 641 hervor.

Die außerordentliche Vielfalt an Stoffwechselprodukten, die verschiedene Bakterienarten erzeugen können, wird z.B. in Kap. 15.22 („Gärungsvielfalt“) vorgestellt und in den Tabellen 15.6 („Beispiele häufiger bakterieller Gärungen und einige der sie ausführenden Mikroorga-

nismen“ S. 693) und 15. 7 („Einige ungewöhnliche bakterielle Gärungen“) systematisiert. In Tabelle 15.6 wird unter dem Typ „alkoholische Gärung“ allerdings auch „Hefe“ aufgelistet.

4.5.5 Bakterienwachstum

Dem Sammelglossar kann das im Lehrbuch vertretene Konzept zum bakteriellen Wachstum entnommen werden: „**Wachstum** Zunahme der Zellzahl“. Ein Bakterium wird metaphorisch als „Synthesemaschine, die in der Lage ist, sich selbst zu verdoppeln“ verstanden (s. Kap. 5 „Mikrobielles Wachstum“). Bakterielle Wachstumsgeschwindigkeit wird als „Änderung der Zellzahl oder Zellmasse pro Zeiteinheit“ definiert (S. 153). Die außerordentliche bakterielle Wachstumsgeschwindigkeit wird anhand mehrerer Grafiken, die die Entwicklung der Bakterienzahl im Labor gehaltener Bakterien wiedergeben, veranschaulicht (z.B. Abb. 5.2, S. 154, Abb. 5.4, S. 156). Es wird zu mehreren mikrobiologischen Methoden, bakterielles Wachstum zu messen, ausgeführt, die vorgetragene Definition bakteriellen Wachstums ist an den Methoden mikrobiologischer Wachstumsmessung orientiert. Dass Bakterien aber auch größer werden, kann Kapitel 3 („Zellbiologie“ Text zu Abb. 3.39) und einer Grafik (Abb. 5.1, S. 153) im Kapitel 5 („Mikrobielles Wachstum“) entnommen werden, in der es um den „Vorgang der Zellteilung“ geht. Am Beispiel der stäbchenförmigen Bakterienart *Escherichia coli* wird der Mechanismus der bakteriellen Zellteilung veranschaulicht: Erst verlängern sich die Zellen, „bis sie ungefähr doppelt so lang sind wie eine durchschnittliche Zelle, dann wird eine Trennwand eingezogen, welche die Zelle nach und nach in zwei Tochterzellen teilt“ (S. 153). Bei der Teilung erhält jede „Tochterzelle ein vollständiges Chromosom sowie eine ausreichende Anzahl aller anderen Makromoleküle, Monomere und anorganischen Ionen, um als unabhängige Zelle existieren zu können“. Unter „besten Nahrungsbedingungen“ kann das Bakterium *Escherichia coli* „den Zyklus in ca. 20 Minuten durchlaufen“.

Die ökologische Bedeutung der bakteriellen Wachstumsgeschwindigkeit wird an mehreren Stellen hervorgehoben, aufgrund dieser Geschwindigkeit kann man bei der Analyse natürlicher Materialien wie Boden oder Wasser „immer“ auf sie „stoßen“ (S. 13). Eine einzelne winzige Zelle kann „belanglos erscheinen“, durch die rasche Vermehrung einzelner Zellen kann sich die große Anzahl an produzierten Nachkommen jedoch „stark auf das Biotop auswirken“. Die Bedeutung der hohen bakteriellen Wachstumsgeschwindigkeit für Mikrobiologen, die experimentell im Labor arbeiten, aber auch für Mediziner wird im Kapitel 18 („Kontrolle des mikrobiellen Wachstums“) noch unterstrichen. Der Leser lernt die verschiedenen Methoden, bakteriellem Wachstum Einhalt zu gebieten, kennen.

4.5.6 Bakterienbeweglichkeit

In Kapitel 3.11 („Geißel und Beweglichkeit“) werden Prokaryoten als eigenbewegliche Lebewesen vorgestellt, „viele Prokaryoten sind beweglich.“ (S. 88). Bakterien können schwimmen („Durch Rotation der Geißeln bewegt sich die Zelle durch Flüssigkeiten“ S. 65) oder gleiten („Bestimmte Bakterienzellen“ können „über feste Oberflächen *gleiten*“, S. 88). Während zum Mechanismus der Fortbewegungsweise gleitender Myxobakterien (s. Kap. 13.16) nicht ausgeführt wird, wird die bakterielle Fortbewegungsweise mithilfe einer Geißel ausführlich vorgestellt („Um sich frei bewegen zu können, benötigen sie normalerweise eine besondere Struktur, die Geißel“, S. 88). Bakterielle Geißeln bestehen aus dem Protein „Flagellin“, sind in der bakteriellen Zellwand und Cytoplasmamembran gelagert und rotieren. Die

Struktur und Funktionsweise einer bakteriellen Geißel werden anhand einer aufwändigen Grafik (Abb. 3.48, S. 90) veranschaulicht. Die Grafik mutet wie die Konstruktionszeichnung einer komplexen Maschine an. Im Text wird die rotierende Bakteriengeißel auch als „(Geißel)-Motor“ bezeichnet. Während eine Bakteriengeißel in mikroskopischer Darstellungsweise strukturell einfach erscheint, weist sie eine strukturelle Komplexität in submikroskopischer Darstellungsweise auf.

Bakterien bewegen sich „auf zufällige Art und Weise“, also nicht zielgerichtet, indem sie sich ein Stück geradeaus bewegen, es ist von „Laufen“ die Rede, von „Anhalten“ und „Taumeln“. Die nicht zielgerichtete und nicht zielführende bakterielle Fortbewegungsweise resultiert aus einer Aneinanderreihung von Phasen des Laufens und Taumelns, wobei die Fortbewegungsrichtung nach der Taumelphase nicht vorhergesagt werden kann. Die Autoren bezeichnen das zufällige Einschlagen einer Bewegungsrichtung nach Taumelphasen als „Wählen“ der Richtung. Im Text zur Abbildung (Abb. 3.49), in der das nicht zielgerichtete bakterielle Bewegungsmuster grafisch veranschaulicht wird, ist auch die Rede davon, dass ein Bakterium „zufällig“ in „Läufen schwimmt“, die „Raumrichtung“ „ändert sich“ „während des Taumelns unsystematisch“. Geraten Bakterien bei ihren zufälligen Fortbewegungen in Bereiche ihrer Mikroumgebung, in denen Gradienten von Lockstoffen registriert werden (die Rede ist von „wahrnehmen“), nimmt die Frequenz der Taumelphasen ab, die der Laufphasen hingegen zu. Bakterien bewegen sich dann entlang des Konzentrationsgradienten in Richtung höherer Lockstoffkonzentrationen. Bakterien gelangen durch Chemotaxis an ihr Ziel. Bei den Lockstoffen kann es sich z.B. um Aspartat und Maltose handeln (Kapitel 7 „Regulation der Genexpression“ S. 258). Wie das Ziel der zielgerichteten bakteriellen Fortbewegung, also die Quelle, an der die Lockstoffe freigesetzt werden, beschaffen ist, wird nicht gesagt.

Zur Veranschaulichung der bakteriellen Fortbewegungsgeschwindigkeit findet sich eine absolute Angabe („etwa 0,00017 Stundenkilometer“ S. 91) und eine relative Angabe, in der die absolute Fortbewegungsgeschwindigkeit („km/h“) im ersten Schritt auf die Länge von Bakterien bezogen („zurückgelegte Körperlängen pro Sekunde“) und dann mit einem biologischen Gegenstand des Makrokosmos („Gepard“) verglichen wird: Ein Gepard kann demnach bei Höchstgeschwindigkeit („110 km/h“) ca. 25 Körperlängen pro Sekunde bewältigen, Bakterien in der gleichen Zeit hingegen 50 bis 60. Die Bedeutung der aktiven bakteriellen Beweglichkeit wird darin gesehen, „verschiedene Gebiete“ des „Lebensraumes zu erreichen“, „im Kampf ums Überleben“ kann die Bewegung an einen anderen Ort „über Leben und Tod entscheiden“ (S. 88). An anderer Stelle wird das Erreichen physikalisch und chemisch zuträglicher Zonen, die die Mikroumgebung aufzuweisen hat, als Selektionsvorteil vorgestellt (S. 92).

4.5.7 Antibiotika

Der Begriff Antibiotikum wird im Sammelglossar definiert: „**Antibiotikum** Von einem Mikroorganismus produzierte Substanz, die andere Mikroorganismen abtöten oder ihr Wachstum hemmen“. Von den Antibiotika, die als „Naturprodukte (Produkte mikrobieller Aktivität)“ (S. 844) bezeichnet werden, werden die „synthetischen antibakteriellen chemotherapeutischen Wirkstoffe“ unterschieden (Kap. „Kontrolle des mikrobiellen Wachstums“, S. 840), die – im Gegensatz zu den Desinfektionsmitteln, den Antiseptika und den Sterilisationsmitteln, die „zu giftig“ sind, „um sie im Körperinneren anzuwenden“ – „für die Kontrolle von Infektionskrankheiten“ „intern“ angewendet werden können (S. 840). Nach ihrer Struktur und Wirkungsweise werden verschiedene Antibiotika unterschieden, die β -Lactamantibiotika werden

allen voran als in medizinischer Hinsicht wichtigste Gruppe der Antibiotika bezeichnet. Folgerichtig wird ihre Wirkung als Inhibitoren des bakteriellen Zellwandwachstums am Beispiel des Antibiotikums Penicillin in Kapitel 18 („Kontrolle des mikrobiellen Wachstums“) ausführlich beschrieben. Schon in Kapitel 3.9 („Zellwandsynthese und Zellteilung“) wurde die Peptidoglykanschicht als Alleinstellungsmerkmal der Bacteria herausgestellt. Die Bedeutung dieser Schicht für die mechanischen Eigenschaften bakterieller Zellwände wird dort beschrieben, ihre molekulare Struktur und die molekularen Mechanismen ihres Wachstums anhand von aufwändigen Grafiken (z.B. Abb. 3.33, 3.37) veranschaulicht. Insbesondere die mechanische Bedeutung der Quervernetzung der filamentösen Makromoleküle (Glukananteil) durch Transpeptidierung wird betont. Da Penicillin diese Quervernetzung verhindert, wird die bakterielle Zellwand „immer schwächer“ (S. 847), aufgrund des osmotischen Innendrucks kommt es zur Lyse der Bakterien. „Weil die Peptidoglykansynthese stattfinden muss, damit das Penicillin wirken kann, kann das Penicillin nur wachsende Zellen lysieren“ (S. 86). In Kapitel 9 („Mikrobielle Genetik“ S. 326) und in Kapitel 18 („Kontrolle des mikrobiellen Wachstums“) wird im Zusammenhang mit der Penicillinwirkung ebenfalls von „wachsenden Zellen“ bzw. „Zellwandsynthese“ gesprochen, die gehemmt werden.

4.5.8 Bakterienkolonien

Mikrobielle Zellen „kommen“ „in ihrem Lebensraum“ „nicht alleine vor“, vielmehr „leben sie in der Natur zusammen mit anderen Zellen, in Ansammlungen“, die „**Populationen**“ genannt werden (s. Kap. 1 „Mikroorganismen und Mikrobiologie“, S. 12). Bakterielle Kolonien werden als Populationen von Individuen einer Art vorgestellt. Kolonien, die mit bloßem Auge wahrgenommen werden können, kommen nur in vitro vor, ihre Individuenzahl kann dann eine Milliarde übersteigen (Kap. 1, Text zu Abb. 1.11, S. 14). Außerhalb von Petrischalen bilden Bakterien „Mikrokolonien“, die nur mithilfe eines Mikroskopes sichtbar gemacht werden können (s. Kap. 16.2 „Mikroorganismen in der Natur“, S. 719). Die Begründung einer Mikrokolonie durch ein einzelnes Bakterium und die durch seine Vermehrung verursachte Vergrößerung einer Mikrokolonie werden anhand einer mikroskopischen Reihenaufnahme in Kapitel 13 („Prokaryotische Vielfalt: Bacteria“ Abb. 13.68, S. 573) gezeigt: Die zelluläre Struktur der Mikrokolonie ist deutlich zu erkennen, allerdings wird auf die Größenunterschiede der koloniebildenden Bakterien nicht hingewiesen, vielmehr werden die Bakterien im Text zur Abbildung als gleich groß vorgestellt. Beim Wachstum werden bakterielle Kolonien durch Vermehrung der Bakterien größer, an keiner Stelle des Buches wird aber bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* in Zusammenhang mit dem *Größer-Werden* von Kolonien gebracht (s. z.B. Kap. 17 „Mikrobielle Ökologie“, Abb. 16.1, S. 717), was insofern konsequent ist, als dieses Konzept der im Lehrbuch vertretenen Definition bakteriellen Wachstums als Zunahme der Zellzahl entspricht.

Über den Zusammenhalt von Bakterien in Kolonien, die sich in Petrischalen befinden, wird keine Auskunft gegeben, an einer Stelle des Lehrbuches (Kap. 16 „Mikrobielle Ökologie“ S. 726) findet sich die Aussage, dass Kolonien in Agar „eingebettet“ sein können. Bezogen auf den natürlichen Standort von bakteriellen Kolonien, die dort immer als „Mikrokolonien“ bezeichnet werden, können hingegen verschiedene Mechanismen des Haftens erfasst werden. Auf der glatten Oberfläche von Zähnen bildet eine Schicht saurer Glykoproteine aus dem Speichel eine „stabile Grundlage für die Besiedlung durch bakterielle Mikrokolonien und deren Wachstum“ (Kap. 19.3 „Normale Mundflora“, S. 868), die erstbesiedelnden Bakterien der Gattung Streptococcus produzieren eine Matrix, in die Bakterien anderer Art, die auch in der Mundhöhle vorkommen, eingebettet werden können. Zur Rolle bakteriellen Schleimes

finden sich Aussagen an verschiedenen Stellen des Lehrbuches. Im Sammelglossar beispielsweise ist unter dem Stichwort **Schleimhülle** folgendes zu lesen: „Schleimhülle Eine undeutlich abgegrenzte Matrix von Polymerfasern, die Zellen umgeben, aber offensichtlich nicht an den einzelnen Zellen befestigt sind“. Mikrobielle Populationen können auch direkt an der Oberfläche von Nährstoffpartikeln z.B. „totes Pflanzenmaterial“ (Kap. 16.2 „Mikroorganismen in der Natur“, S. 719) haften, wobei über den Mechanismus der Haftung nichts gesagt wird. Biofilme hingegen werden im Sammelglossar als „Kolonien von schleimhüllten mikrobiellen Zellen, die an einer Oberfläche haften“ definiert. Der Leser erfährt, dass Bakterien aufgrund ausgeschiedener klebriger Substanzen sowohl untereinander als auch an Oberflächen ihrer Mikroumgebung haften können („Dies [gemeint sind Biofilme] sind umhüllte Mikrokolonien von Bakterienzellen, die mit Hilfe von klebrigen Polysacchariden, die von Zellen ausgeschieden werden, an einer Oberfläche haften“).

Im Text des Kapitels 1 („Mikroorganismen und Mikrobiologie“) werden verschiedene Arbeitstechniken vorgestellt, die es ermöglichen, „Reinkulturen“ zu gewinnen, die „nur aus einer Mikroorganismenart“ bestehen (S. 15). Man erfährt, dass man unter dem Mikroskop zwar „eine Vorstellung“ vom „Aussehen von Mikroorganismen erhalten“ kann, ihre Biochemie, Physiologie, Genetik sowie „andere Eigenschaften“ aber nur in Reinkultur untersuchen kann. Dazu muss „der Mikroorganismus“ im Labor „gezogen werden“, wobei das Problem darin besteht, dass die Kultur nicht verunreinigt wird, und zwar von „unerwünschten Mikroorganismen, Kontaminanten genannt“, die „allgegenwärtig sind“. Im Abschnitt mit der Überschrift „Keimfreie Arbeitstechniken“ wird deutlich, dass immer dann von „Kultur“ die Rede ist, wenn es darum geht, mithilfe einer mikrobiologischen Technik Bakterien zu vereinzeln und dann zum Wachstum zu bringen, um Bakterienkolonien zu gewinnen, die aus Individuen nur einer Bakterienart bestehen. Kultiviert ein Mikrobiologe Bakterien einer Art, ist aufgrund der Allgegenwärtigkeit von Mikroorganismen stets die Gefahr einer Kontamination gegeben, im Zusammenhang mit Techniken zur Verhinderung von Kontaminationen wird mehrfach das Adjektiv „keimfrei“ verwendet. In der Kultur nicht erwünschte Mikroorganismen werden als „Keime“ vorgestellt, die als eine Art Unkraut die Reinkultur verderben. Keime geraten in der Hauptsache über die Luft in die Reinkultur, weil letztere „immer Staubpartikel enthält, die im Allgemeinen immer mit Mikroorganismen verunreinigt sind“.

Mehrere großformatige und farbige Fotografien im einleitenden Kapitel 1 („Mikroorganismen und Mikrobiologie“, Abb. 1.11, S. 14) zeigen Bakterienkolonien in unterschiedlicher Vergrößerung, die Abbildungen wurden nicht mit einem Größenmaßstab versehen. Dem Text zur Abbildung kann entnommen werden, dass es sich dabei um Gegenstände des Makrokosmos handelt, Bakterienkolonien werden im Abbildungstext als „sichtbare Mengen von Zellen“ vorgestellt, „die sich durch aufeinanderfolgende Teilungen aus einer oder wenigen Zellen gebildet haben“. Zwei Fotografien (1.11a, 1.11b) zeigen auffällig rote Bakterienkolonien in unterschiedlicher Vergrößerung. Die zelluläre Struktur der dargestellten Bakterienkolonien in Abb. 1.11b ist nicht auszumachen, der darauf bezogene Text weist die gezeigten Kolonien als „*Serratia marcescens*“ und als „Vergrößerung von Zellen aus Abbildung a“ aus. Die Größenebenen makroskopischer und mikroskopischer biologischer Gegenstände werden an dieser Stelle fachlich nicht richtig voneinander abgegrenzt und können aufgrund dessen auch nicht richtig gelernt werden. Unklar bleibt auch, ob die ins Auge stechende rote Farbe ein Merkmal der Kolonien jedes einzelnen Bakteriums oder ein experimenteller Artefakt ist.

Vom thematischen Kontext hängt es ab, ob bakterielle Kolonien von Mikrobiologen als nützlich oder schädlich gedacht werden. In Kapitel 11 („Industrielle Mikrobiologie/Biokatalyse“)

werden sie ausnahmslos als nützlich vorgestellt, in Kapitel 16 („Mikrobielle Ökologie“) werden bakterielle Kolonien meist neutral vorgestellt, allerdings können sie als Bestandteil von Biofilmen in der Medizin (z.B. auf Implantaten) und der Industrie (z.B. in Pipelines) schädlich werden. In Kapitel 19 („Wirt-Parasit-Wechselwirkungen“) werden bakterielle Kolonien aus Sicht des Menschen in Form der „normalen“ Darmflora als nützlich, in Form der „normalen“ Hautflora als neutral, hingegen in Form des Zahnbelags als schädlich vorgestellt. In Kapitel 23 („Von Mensch zu Mensch übertragene Krankheiten“) werden bakterielle Kolonien ausnahmslos als schädlich angesehen.

4.6 Explikation

4.6.1 Abgrenzung Mikrobiologie

Im Lehrbuch Mikrobiologie (Madigan et al. 2001) werden Mikroorganismen als Gegenstand der Mikrobiologie aufgefasst. Der Begriff „*Mikroorganismen*“ ist insofern nicht ganz stimmig, als er mikrobiologische Lebewesen als Organismen vorstellt, also Lebewesen, die Organe haben. Tatsächlich aber geht es im Lehrbuch um einzellige oder wenigzellige Lebewesen. Es kann das Konzept *Kleine Mikroorganismen* erfasst werden, Gegenstand der Mikrobiologie sollten demnach alle Lebewesen sein, die nicht mit bloßem Auge, möglicherweise aber unter dem Mikroskop wahrzunehmen sind. Allerdings ergeben sich Unstimmigkeiten, weil die Konzepte *Organismen* und *Mikro*, also „*lebendig*“ und „*klein*“, nicht konsequent auf die biologischen Gegenstände angewendet werden, die der Mikrobiologie zugeschlagen werden. Viren werden per Definition als Mikroorganismen bezeichnet. Tatsächlich werden sie aber nur aufgrund ihrer geringen Größe und des Umstands wegen, dass sie nur mithilfe von technischen Hilfsmitteln sichtbar gemacht werden können, unter dem Begriff Mikroorganismen subsumiert. Der Mikrokosmos wird nicht gegen den Submikrokosmos abgegrenzt, Viren werden aufgrund ihrer Größe und Strukturierung („Viren...besitzen kaum Zellmerkmale“) als Mittelding zwischen Molekülen auf der einen und Zellen auf der anderen Seite gedacht.

Im Lehrbuch wird der Begriff „Bakterien⁴“ verwendet. Dieser Sprachgebrauch schafft Verwirrung, weil unklar ist, ob damit die „Domäne“ Bacteria in Abgrenzung von der „Domäne“ Archaea bezeichnet wird, oder ob damit Prokaryoten von Eukaryoten abgegrenzt werden sollen. Der Begriff „Bakterien“ ist nicht Gegenstand des Glossars. Die Textanalyse lässt darauf schließen, dass im Lehrbuch die Begriffe „Bakterien“ und „Bacteria“ als Synonyme verwendet werden, deren Einzahl als „Bakterium“ bezeichnet wird (s. z.B. Kap. 3 „Zellbiologie“, S. 64, 76, 78).

„Mikrobielle Zellen“ unterscheiden sich von „Tier- und Pflanzenzellen“ dadurch, dass letztere „in der Natur nicht alleine, sondern nur als Bestandteil vielzelliger Organismen existieren können“ (Konzept *Autarke Mikroorganismen*). Diese Aussage wird auf dem Hintergrund verständlich, dass im Lehrbuch zwischen eukaryotischen Mikroorganismen (Algen, Pilze, Protozoen) auf der einen Seite und eukaryotischen Makroorganismen (Pflanzen, Tiere) auf der anderen Seite unterschieden wird. Während eukaryotische Mikroorganismen zusammen mit den Bacteria und Archaea Gegenstand der Mikrobiologie sind, trifft dies auf eukaryotische Ma-

⁴ Der Begriff „*Bakterie*“ leitet sich vom altgriechischen Wort „*baktron*“ (Stab, Stock) ab, neben dem gleichbedeutend das Wort „*bacteria*“ steht, zu dem das Diminutiv „*bakterion*“ (Stäbchen, Stock) gehört. Das Diminutiv wird als „*bacterium*“ in das Lateinische entlehnt. Christian Gottfried Ehrenberg verwendet diese lateinische Form als Benennung für seit Mitte des 17. Jahrhunderts mithilfe von Mikroskopen beobachtete Kleinstlebewesen (s. Braun et al. 1989).

Prokaryoten nicht zu. Der Gegenstandsbereich der Mikrobiologie umfasst also zum einen alle Arten der beiden „Domänen“ Bacteria und Archaea, die als Prokaryoten keinen Zellkern aufweisen, sowie einen Teil der Arten innerhalb der „Domäne“ Eukarya, deren Zellen einen Zellkern aufweisen und die als klein sowie als autark vorgestellt werden.

Aus dem Sachverhalt, Mikroorganismen, nicht aber auch einzelne Zellen vielzelliger Lebewesen als autark vorzustellen, ergeben sich Unstimmigkeiten mit der Zelltheorie: Dort werden Zellen als kleinste lebensfähige Einheiten gedacht, am Beispiel von Zygoten und Spermien, die klein und autark sind, kann dies aufgezeigt werden. Dass mithilfe eines der beiden Kriterien (klein, autark) nicht alle biologischen Gegenstände trennscharf dem Gegenstandsbereich der Mikrobiologie zugeordnet oder davon abgetrennt werden können, kann auch am Beispiel der Gattung *Acetabularia* aufgezeigt werden: Die Gattung beinhaltet makroskopisch große Algenarten, die aus nur einer Zelle besteht, also autark sind, und zudem makroskopische Größe aufweisen⁵.

4.6.2 Bakteriengröße

Der Denkfigur *Kleine Bakterien* kommt im Lehrbuch Brock Mikrobiologie eine zentrale Bedeutung zu. Bakterien sind so klein, dass sie mit bloßem Auge nicht, vielmehr nur mithilfe eines Mikroskopes wahrgenommen werden können (Konzept *Mikroskopische Bakterien*). Das Lernen der Größenordnungen wird dadurch erschwert, dass allen mikroskopischen Aufnahmen von Mikroorganismen ein Größenmaßstab fehlt. Dies überrascht, weil die Autoren einerseits großen Wert auf eine inhaltliche Vernetzung der Sachinhalte legen, durch das Weglassen von Größenmaßstäben aber eine Vernetzung auf Basis eines Lernens der Größenordnungen von Bakterien nicht optimal unterstützen. Den Abbildungstexten kann die Größe der gezeigten Objekte als Angabe in den Einheiten des metrischen Systems entnommen werden – da es sich bei der vorliegenden Quelle um ein Lehrbuch für den Einsatz im Bereich universitärer Ausbildung handelt, wird vorausgesetzt, dass Studenten bereichsspezifisches Wissen zu den Einheiten des metrischen Systems verfügbar ist. Textlich bieten die Autoren an mehreren Stellen aber die Möglichkeit, die Einheiten Mikrometer und Nanometer aufeinander zu beziehen und auf unterschiedlich große bakterielle Zellen anzuwenden (Konzept *Verschiedene Größen*). Die Größenordnungen von Bakterien können auch anhand des Konzeptes *Filtrierbare Bakterien* gelernt werden, Bakterien bleiben aufgrund ihrer Größe im Gegensatz zu submikroskopischen Gegenständen (Viren) in porösen Filtern hängen. Die physiologischen Vorteile der Kleinheit bakterieller Zellen werden von dem Konzept *Vergrößerte Oberfläche* erfasst, Bakterien weisen volumenbezogen eine größere Membranoberfläche auf als größere Zellen.

Analog zur geringen Größe von Bakterien wird auch die bakterielle Umgebung kleinräumig gedacht, dem Konzept *Mikroskopische Bakterien* entspricht komplementär das Konzept *Mikroumgebung*.

Bakterielle Makromoleküle werden an zahlreichen Stellen des Lehrbuches schematisch in verschiedenen grafischen Aufmachungen gezeigt, an mehreren Stellen dient dies der Auflösung von zellulären bakteriellen Strukturen in elektronenmikroskopischer Darstellung auf submikroskopischer, molekularer Ebene. Da den Abbildungen meist kein Größenmaßstab hinzugefügt wurde, können die Größenordnungen submikroskopischer Gegenstände kaum

⁵ Margulis et Schwartz (1989, S. 79) machen den Vorschlag, „das Organismenreich der Protoctista“ (eukaryotische Mikroorganismen) anhand von „Ausschlusskriterien zu definieren“: „Seine Vertreter sind weder Tiere (die sich aus einer Blastula entwickeln) noch Pflanzen (die sich von einem Embryo herleiten) noch Pilze (die keine Undulipodien besitzen und sich aus Sporen entwickeln) noch Prokaryoten“.

gelernt werden. Makromoleküle sind dann zwar kleiner als mikroskopische bakterielle Strukturen, ihre reale Größe bleibt aber unbestimmt (Konzept *Unklar kleine Bakterienmoleküle*). Mikrofotografien von der bakteriellen Struktur werden in Ausschnittsvergrößerungen auf der submikroskopischen Größenebene mithilfe schematischer Grafiken aufgelöst. Die bakterielle Struktur scheint auf der submikroskopischen Größenebene einen deutlich höheren Komplexitätsgrad auf als auf der mikroskopischen Größenebene aufzuweisen (Konzept *Teile komplexer als Ganzes*). Dieses Paradoxon könnte auf die sprachliche Formel gebracht werden „*Den Wald vor lauter Bäumen nicht sehen*“. Sind sowohl Moleküle als auch Zellen Gegenstand einer einzigen schematischen Darstellung, können die dargestellten Moleküllängen durchaus dem Radius der Zellen entsprechen. Die Größenordnungen biologischer Gegenstände der submikroskopischen und mikroskopischen Größenebenen können aufgrund dessen nicht richtig voneinander abgegrenzt werden.

4.6.3 Bakterienstruktur

Die verschiedenen Bakterienarten können sich hinsichtlich ihrer Morphologie erheblich unterscheiden (Konzept *Strukturelle Verschiedenheit*), dennoch weisen alle Bakterien eine prinzipiell gleichartige Grundstruktur auf. Bakterielle Zellen werden als eine Art Behälter vorgestellt (Denkfigur *Bakterien als Behälter*). Die bakterielle Zellwand wird als starre Schicht gedacht, die eine Stärke verleiht, sie hält dem hohen Turgordruck, der in einer bakteriellen Zelle herrscht (*Bakterien als Druckbehälter*), stand. Sie kann als ein strapazierfähiger Stoff oder eine Gummiplane gedacht werden. Während das metaphorische Verständnis der bakteriellen Zellwand als „Stoff“ mit einer Durchlässigkeit für Substanzen verträglich ist (Konzept *Zellen als offene Behälter*), trifft dies auf die Vorstellung der bakteriellen Zellwand als „Gummiplane“ nicht zu. Die Cytoplasmamembran wird metaphorisch als Pförtner gedacht, sie ist dafür verantwortlich, dass nur bestimmte Stoffe in die Zelle hinein und aus ihr herausgelangen können. Die bakterielle Cytoplasmamembran sowie die äußere Membran Gram-negativer Bakterien sind für „Substanzen mit geringem Molekulargewicht“, z.B. Laktose, permeabel. Ob dieses auch auf „*Substanzen mit nicht geringem Molekulargewicht*“ (z.B. Exoenzyme) zutrifft, wird nicht gesagt. Da sich aber im Periplasma Gram-negativer Bakterienarten Enzyme befinden, kann indirekt geschlossen werden, dass die bakterielle Cytoplasmamembran für diese auch permeabel ist. Gram-negative Bakterien können Exoenzyme nicht aus dem Periplasma in das Außenmedium abgeben, um dort z.B. makromolekulare Substanzen zu verdauen. Die äußere Membran Gram-negativer Bakterien ist für Enzyme nicht permeabel (sie verhindert ihr Wegdiffundieren).

Die Permeabilitätseigenschaften der bakteriellen Zellwand scheinen in der Mikrobiologie keine Rolle zu spielen, sie werden an keiner Stelle behandelt. Aus diesem Grund kann an dieser Stelle nur indirekt auf diese geschlossen werden:

1. Da die bakterielle Zellwand die Cytoplasmamembran umschließt, muss sie für kleine Moleküle auch durchlässig sein.
2. Da sich die Zellwand im Periplasma zwischen Cytoplasmamembran und äußerer Membran befindet, sollte die Zellwand Gram-negativer Bakterien für Enzyme permeabel sein.
3. Über die Permeabilität von bakteriellen Zellwänden für Enzyme findet sich in Kapitel 16 („*Mikrobielle Ökologie*“) eine Aussage: „Im Boden“ gibt es „*stärkeverdauende Bakterien*“, „*die Polymerfragmente freisetzen*“ (S. 782). Da Stärkemoleküle schon allein aufgrund ihrer Größe nicht von Bakterien aufgenommen werden können, müssen Bakterien in der Lage sein, stärkeabbauende Enzyme abzugeben. Dazu aber sind

Gram-negative Bakterienarten aufgrund ihrer „äußeren Membran“ nicht in der Lage. Stärke kann also nur von Gram-positiven Bakterien abgebaut werden.

Bakterien metaphorisch als *Behälter* vorzustellen, ermöglicht es, an Vorstellungen anzuknüpfen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Gefäßen verschiedenster Art gründen (z.B. Trinkflaschen, Tassen, Kanister, Körbe). Diese Behältnisse grenzen einerseits innen und außen ab, andererseits sind ihre Wandungen oder bestimmte Bereiche davon durchlässig für bestimmte Stoffe. Aufgrund dessen können Behältnisse befüllt oder entleert werden. Während die Wandung der genannten lebensweltlich vertrauten Behältnisse zugleich für die Stabilität und Durchlässigkeit verantwortlich ist, werden Bakterien als doppelwandige Behälter vorgestellt, die Zellwand sorgt für die Stabilität eines Bakteriums, die Cytoplasmamembran verleiht eine selektive Durchlässigkeit. Auf den Ursprungsbereich der Metapher *Behälter* bezogen würde dieses Verständnis am ehesten einem Korb entsprechen, in dem sich beispielsweise Holzscheite befinden. Um zu verhindern, dass kleine Holzstückchen durch die geflochtene Wandung hindurchkommen, wird der Korb mit einem Tuch ausgelegt. Behältnisse, deren Wandung nicht starr sondern elastisch oder plastisch vorgestellt werden, können unter Umständen größer werden (Konzept *Größer-Werden*). Der Behälter einer bakteriellen Zelle kann sich ohne externe Agenten vermehren (Konzept *Autarke Bakterien*), indem innerhalb der Zelle eine trennende Querwand eingezogen wird, woraufhin sich die beiden Teilzellen voneinander trennen. Der Behälter einer Bakterienzelle kann auf seiner Oberfläche Anhänge (Geißeln) tragen, welche die Einheit mobil machen (Konzept *Aktivbewegliche Bakterien*). Behältnisse können auch zerstört werden, weil die mechanische Beanspruchung ihrer Wandung nicht mehr ihrer Beanspruchbarkeit entspricht; nach Zerstörung der Wandung ist eine Unterscheidung von innen und außen nicht mehr möglich. Die Inhaltsstoffe des bakteriellen Behälters treten aus, z.B. wenn das Antibiotikum Penicillin auf die bakterielle Zellwand eingewirkt hat. Bakterien als *Behälter* zu denken, ermöglicht ein metaphorisches Verständnis grundlegender struktureller und funktioneller Eigenschaften von Bakterien als Zellen.

Innerhalb der Denkfigur *Behälter* können bakterielle Zellen als Gebäude gedacht werden, sie bestehen wie diese aus einfachen Bausteinen, die auf verschiedene Weisen zu komplexen Strukturen verbunden werden (Konzept *Zellen als Gebäude*). Die Struktur einer bakteriellen Zelle wird unter Rückgriff auf lebensweltliche Erfahrungen mit Gebäuden, zu denen lebensweltliche Vorstellungen vorliegen, metaphorisch verstanden. Zellen als Gebäude vorzustellen bedeutet aber auch, ihnen eine strukturelle Beständigkeit im Zustand des Aufgebautseins und eine strukturelle Veränderlichkeit bei ihrem Aufbau zuzudenken. In der Regel sind Gebäude kompartimentiert, ihre Zimmer können von bestimmten Personen betreten und auch wieder verlassen werden. Metaphorisches Verständnis von Bakterien als Gebäude zu verwenden, ermöglicht es, eine Brücke zu schlagen zwischen dem Erfahrungsschatz mit Gebäuden, über den jedermann verfügen kann, und lebensweltlich nicht zugänglichen mikroskopischen und submikroskopischen Gegenständen der Mikrobiologie. Unstimmig ist das metaphorische Verständnis von Bakterienzellen als Gebäude, weil letztere von Menschen in der Regel für andere Menschen gebaut werden und in der Aufbauphase nicht voll funktionsfähig sind, eine Zelle hingegen beim Aufbau ohne externe Agenten auskommt, in der Aufbauphase schon funktionsfähig ist und im Zustand des Aufgebautseins auch keine Bedürfnisse anderer erfüllt.

Zellen können auch als „gut definierte Ansammlungen von Makromolekülen“ gedacht werden (Konzept *Zellen als Ansammlung von Makromolekülen*), Bakterien und ihre Strukturen

werden nicht als starr und unveränderlich sondern dynamisch vorgestellt. Unstimmigkeiten, Bakterienzellen metaphorisch als Ansammlungen von Molekülen zu verstehen, ergeben sich daraus, dass diese Ansammlung als ein mechanischer oder migratorischer Prozess gedacht werden könnte, wohingegen eine Zelle als kleinste lebensfähige Einheit aufgrund genetischer und physiologischer Mechanismen den Ordnungszustand ihrer Strukturen schon bei ihrem Aufbau strikt kontrolliert.

Innerhalb der Zelltheorie sind Zellen einerseits gewisse strukturelle Merkmale gemein (Konzept *Molekular übereinstimmende Zellstrukturen*), andererseits werden Zellen der Domäne der Bacteria aufgrund ihrer Zusammensetzung aus Makromolekülen, die nur bei ihnen aufgefunden werden können, gegenüber Zellen der Domänen Archaea und Eukarya abgegrenzt (Konzept *Molekular abweichende Bakterienstruktur*). Innerhalb des Konzeptes *Bakterien als Ansammlungen von Makromolekülen* kann nach Gram-positiven und Gram-negativen Bakterien⁶ unterschieden werden. Dabei ist auch die Rede von grampositiven bakteriellen Zellwänden, was insofern Verwirrung stiftet, als zwar die Zellwand Gram-positiver Bakterien verhindert, dass ein Lack, der sich innerhalb nach Gram angefärbter Bakterien bildet, wieder ausgewaschen wird, Gram-positiv erscheint aber das Innere eines Bakteriums, also der Protoplast und nicht die bakterielle Zellwand (Romeis 1989). Es wird zwar nach prokaryotischen und eukaryotischen Zellen unterschieden, Prokaryoten weisen keinen echten Zellkern, sondern ein dem Zellkern entsprechendes DNA-Molekül auf (Konzept *Funktioneller Bakterienzellkern*). Aus fachlicher Perspektive ergeben sich aufgrund dieser Aussage Unstimmigkeiten, da es sich bei prokaryotischen Zellen um einen anderen Bauplantyp als bei eukaryotischen Zellen handelt. Prokaryotische Zellen weisen eben keinen Zellkern auf; funktionell kann also das bakterielle DNA-Molekül nicht mit dem Zellkern eukaryotischer Zellen homologisiert werden, indem betont wird, dass es dessen Funktionen übernimmt. Wie das bakterielle DNA-Molekül als Gegenstand des Submikrokosmos die Funktionen des mikroskopisch großen Zellkerns, in dem sich u.a. auch DNA-Moleküle befinden, übernehmen könnte, behalten die Autoren für sich. Diese Homologisierung steht auch im krassen Widerspruch zu Aussagen an anderer Stelle, wo die Autoren die strukturellen und funktionellen Unterschiede prokaryotischer und eukaryotischer Genetik gerade hervorheben, z.B. werden die Introns⁷ aus m-RNA-Molekülen im Zellkern entfernt, erst dann werden sie aus dem Zellkern in das Cytoplasma transportiert. Ein solcher Transport von m-RNA-Molekülen aus dem Zellkern heraus ist aber bei prokaryotischen Zellen nicht notwendig und kann auch gar nicht vorkommen, eben weil es keinen Zellkern gibt.

Aus didaktischer Perspektive erscheint es unter Vermittlungsabsicht problematisch, das bakterielle DNA-Molekül (Nucleoid) – aufgrund von strukturellen Ähnlichkeiten in elektronenmikroskopischer Darstellung mit den Chromosomen eukaryotischer Zellen – als „bakterielles Chromosom“ zu bezeichnen. Dieser Sachverhalt könnte in Vermittlungssituationen die Vor-

⁶ Bakterien einer als Gram-positiv geltenden Art können in Abhängigkeit davon, über welchen Zeitraum sie in Kultur gehalten wurden, eine Variabilität bezüglich des Merkmals „Gram-positiv“ aufweisen: Viele, insbesondere sporenbildende Bakterienarten, sind innerhalb einer Spanne von 18-24 Stunden gut anfärbbar, können nach längerer Zeit in Kultur aber Gram-negativ erscheinen. Die Gründe für diese Variabilität sind nicht bekannt (s. Beipackzettel zum „*BD Gram Stain Kit*“, Becton Dickinson USA 2001)

⁷ Die Trennlinie zwischen der Genetik prokaryotischer und eukaryotischer Zellen kann nicht so eindeutig gezogen werden, wie dies an dieser Stelle erscheinen mag: Auf der einen Seite werden Gene eukaryotischer Zellen beschrieben, die keine Intron-Exon-Struktur aufweisen (z.B. Histon-Gene oder das Gen des Hitzeschock-Proteins Hsp70, s. Knippers 1997, S. 287, 288). Zum anderen hat man entdeckt, dass „verschiedene mRNAs des E.-coli-Phagen T4 Introns enthalten“. „Man geht davon aus, dass Introns ursprünglich sind und dass Bakterien ihre Introns verloren haben, nachdem ihr Proteinbestand etabliert war“ (Seyffert 1998, S. 241).

stellung evozieren, dass Bakterien auch eine Mitose aufweisen. Da aber Bakterien keine Chromosomen enthalten, machen sie auch keine Mitosen durch.

4.6.4 Bakteriernahrung

Bakterien werden als Zellen vorgestellt, die in einem regen Stoffaustausch mit ihrer Mikro-umgebung stehen (Konzept *Zellen als offene Behälter*). Bakterien werden als Ansammlungen von Makromolekülen gedacht. Lebensweltlich gründen Vorstellungen von Ansammeln in Erfahrungen mit makrokosmischen Gegenständen, die in räumliche Nähe geraten und übergeordnete Strukturen bilden (z.B. Pfanne-Dachbedeckung, Fisch-Fischschwarm, Mensch-Menschenauflauf, Puzzlestücke-Puzzle), Ansammeln wird als mechanischer oder migratorischer Prozess des Aggregierens vorgestellt. Bei Mikrobiologen wird dieses Verständnis durch Vorstellungen von der Synthese von Makromolekülen in Zellen, die durch chemische Bindungen untereinander vernetzt werden, modifiziert. Metaphorisches Verständnis wird verwendet, um den Prozess des Aufbaus bakterieller Struktur zu verstehen. Bakterielle Struktur wird dynamisch, nicht statisch, vorgestellt. Indem die mikroskopische bakterielle Struktur als Ansammlung submikroskopischer, nicht sichtbarer Moleküle, verstanden wird, wird eine Brücke zwischen den beiden Größenebenen bakterieller Zellstruktur geschlagen.

Im Zusammenhang mit dem bakteriellen Baustoffwechsel kann das Konzept *Monomer-Gewinnung* erfasst werden: Die Makromoleküle, aus denen Bakterien bestehen, werden aus Monomeren zusammengesetzt. Bakterien ernähren sich, indem sie chemische Substanzen aufnehmen, um damit die benötigten Monomere herzustellen. Die meisten Bakterienarten benötigen dazu organisches Material (Konzept *Organische bakterielle Ernährung*). Bakterien können aufgrund dessen einerseits als homogene Gruppe von Lebewesen, aufgrund ihrer vielfältigen Stoffwechselleistungen andererseits aber auch als sehr heterogene Gruppe von Lebewesen gedacht werden (Konzept *Funktionelle Verschiedenheit*).

Im Zusammenhang mit ihrem Energiestoffwechsel werden Bakterien metaphorisch als „chemische Maschinen“ gedacht, die chemische Umwandlungen vornehmen, sie stellen Energie bereit oder liefern sie (Konzept *Bakterien als Energiewandler*). Der Prozess der Energie-wandlung wird metaphorisch als Bereitstellung oder Lieferung gedacht, Energie wird verdinglicht, sie kann wie ein Frachtgut transportiert und gelagert werden. Unstimmigkeiten ergeben sich aus diesem metaphorischen Verständnis, weil Maschinen von Menschen entworfen und gebaut werden, um sie aufgrund ihrer Funktionen für verschiedene Zwecke zu gebrauchen. Zellen aber benötigen keine externen Agenten, um Strukturen zu etablieren, die bestimmten Funktionen dienen.

4.6.5 Bakterienwachstum

Bakterielles Wachstum wird als schnelles *Mehr-Werden* durch Teilung von Bakterien vorgestellt (Konzept *Mehr-Werden*). Bakterien benötigen dazu keine externen Agenten. Gemessen an den Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit wachsenden biologischen Gegenständen gründen, ist die Zunahme der Masse beim bakteriellen Wachstum absolut gesehen gering, sie eignet sich nicht besonders gut, um bakterielles Wachstum als schnell zu denken. Die Zunahme der Bakterienzahl hingegen ist an lebensweltlichen Vorstellungen gemessen außerordentlich hoch (Konzept *Vermehrungsfreudige Bakterien*).

Wird explizit von bakteriellem Wachstum als *Größer-Werden* gesprochen, können sich Zellen verlängern (was allerdings nur auf Bakterien mit zylindrischer Form, z.B. Stäbchen, nicht aber auf kugel- oder eiförmige Bakterien zutrifft) oder die bakterielle Zellwand wird größer. Aufgrund der Fähigkeit sich schnell zu vermehren, kann man auf Bakterien auch ständig treffen (Denkfigur *Ubiquitäre Bakterien*), sie kommen in großer Zahl vor (Konzept *Vielzähliges Vorkommen*). Während ein einzelnes Bakterium ökologisch belanglos ist, wirken sich Bakterien in großer Zahl hingegen aus, wobei ihre Wirkung auf der makrokosmischen Größenebene gedacht wird, wie der Hinweis auf die Belanglosigkeit eines einzelnen Bakteriums, dessen Wirkung makroskopisch nicht wahrnehmbar ist, nahelegt (Konzept *Wirkung in Vielzähligkeit*). Aus Sicht des Menschen ist der außerordentlich hohen bakteriellen Wachstumsgeschwindigkeit schwer Einhalt zu gebieten (Konzept *Schwierige Wachstumskontrolle*).

4.6.6 Bakterienbeweglichkeit

Bakterien werden als aktiv beweglich (schwimmend, gleitend) oder unbeweglich vorgestellt (Konzepte *Aktiv bewegliche Bakterien*, *Aktiv nicht bewegliche Bakterien*). Ihre aktive Beweglichkeit und die Möglichkeit zur Veränderung des Standortes befähigt Bakterien, den Überlebenskampf zu überstehen (Konzept *Kämpfende Bakterien*). Unklar ist allerdings, mit wem Bakterien eigentlich kämpfen, da es in erster Linie nicht um eine Flucht vor Prädatoren geht. Ihre Beweglichkeit ermöglicht es Bakterien vielmehr, in physikalisch und chemisch zuträgliche Zonen zu gelangen, die ihre Mikroumgebung aufzuweisen hat (Konzept *Vorteil durch Beweglichkeit*).

Die „Geißel“ der Bakterien wird als „(Geißel)-Motor“ gedacht. Verständnis von der Struktur und Funktion der bakteriellen „Geißel“ wird metaphorisch durch Übertragung von Vorstellungen zu Motoren erreicht. Die molekulare Struktur einer bakteriellen „Geißel“ wird in Art einer technischen Konstruktionszeichnung dargestellt. Lebensweltlich machen wir zwar alle täglich Erfahrungen mit Maschinen und verfügen aufgrund dessen auch über einen Schatz an diesbezüglichen Vorstellungen. Fraglich ist allerdings, ob wir aus diesem Grund auch über Vorstellungen von der Struktur und der Funktion eines Motors verfügen, dessen Komponenten einer bestimmten Teilfunktion dienen. Die Bedeutung der einzelnen Komponenten erschließt sich aus der Zusammenschau aller einzelnen Teilfunktionen (s. a. Kap. 6.1.2). Fehlt aber diesbezügliches Wissen zum Ursprungsbereich der Metapher, kann die bakterielle „Geißel“ zwar imaginativ als bakterieller Motor verstanden werden, der Bakterien antreibt, ein metaphorisches Verständnis des Zusammenhangs zwischen der Struktur und Funktion des bakteriellen Motors ist aber nicht möglich.

Aus fachdidaktischer Perspektive erscheint es ungünstig, die bakterielle Flagelle als „Geißel“ zu bezeichnen. Bei der bakteriellen Flagelle handelt es sich um eine Struktur, die nicht von der Cytoplasmamembran umgeben ist, in der Hauptsache aus dem Protein Flagellin besteht, die in der bakteriellen Zellwand sowie Zellmembran gelagert ist und die rotiert (Margulis et Schwartz 1989, S. 24). Geißeln hingegen werden von der Cytoplasmamembran umgeben, sie bestehen in der Hauptsache aus dem Protein Tubulin, sind mithilfe eines Kinetosoms im Cytoplasma gelagert und „schlagen“ (ebenda). Struktur und Funktionsweise von Flagellen und Geißeln unterscheiden sich prinzipiell. Im Zusammenhang mit Bakterien sollte deswegen von Flagelle, im Zusammenhang mit eukaryotischen Zellen von Geißel die Rede sein.

Während die bakterielle Fortbewegungsgeschwindigkeit von ca. 0,00017 km/h verglichen mit Vorstellungen von Geschwindigkeiten, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, tatsächlich sehr gering ist (Konzept *Makrolangsame Bakterien*), kann die bakterielle Fortbewegungsgeschwindigkeit als äußerst schnell vorgestellt werden, wenn die absolute Geschwindigkeit auf die bakterielle Körperlänge bezogen gedacht wird. Bakterien sind dann den schnellsten makrokosmischen Lebewesen sogar weit überlegen (Konzept *Mikroschnelle Bakterien*).

Die ungerichtete bakterielle Fortbewegungsweise wird als „Laufen“ und „Taumeln“ beschrieben (Konzept *Laufen und Taumeln*), also unter Rückgriff auf Vorstellungen, die in Erfahrungen mit der Bewegung des eigenen Körper gründen. Das Schema *Person*⁸ (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) wird auf Bakterien übertragen. Bakterien können wie der Mensch Bewegungsrichtungen wählen (Konzept *Bakterien als Person*). Dieses bakterielle „Wählen“ kommt nur in der Vorstellung eines Wissenschaftlers vor, der das scheinbar regellose Bewegungsmuster von Bakterien unter dem Mikroskop beobachtet und bei dessen Beschreibung auf das Schema *Person* zurückgreift. Wenn Bakterien die einzuschlagende Bewegungsrichtung tatsächlich wählten, würden sie handeln wie ein Mensch, der von anderen Menschen als willkürlich bezeichnet wird, weil seine Entscheidungen nicht vorhergesagt werden können. Einem Lebewesen wie einem Bakterium unterstellen Mikrobiologen aber keine Willkürlichkeit in diesem Sinne. Vielmehr liegt der ungerichteten bakteriellen Fortbewegung ein Mechanismus zugrunde, in dem molekulare Rezeptoren über chemische Mittlerstoffe einen Schalter umlegen und auf diese Weise die Rotationsrichtung der Flagelle ändern.

Bakterien bewegen sich zielgerichtet, wenn sie bei ihrer ungerichteten Fortbewegung zufällig in eine Zone ihrer Mikroumgebung gelangen, die steigende Lockstoffkonzentrationen aufweist. Dann nimmt die Frequenz der Taumelphasen stark ab, die Bakterien bewegen sich durch Chemotaxis mehr oder weniger geradlinig auf die Zone ihrer Mikroumgebung zu, in der die Lockstoffe freigesetzt werden und in der ihre Konzentration am höchsten ist (Konzept *Zielgerichtete bakterielle Fortbewegungsweise*).

Aus Sicht der Didaktik stellen die Vorstellungen der Wissenschaftler zur ungerichteten und gerichteten bakteriellen Fortbewegung unter Vermittlungsabsicht zwei Beispiele dar, die bezüglich ihrer lernförderlichen Wirkungen unterschiedlich zu bewerten sind. Die Vorstellungen zur ungerichteten bakteriellen Fortbewegungsweise sind wegen der Intentionalisierung des Prozesses durch die Verwendung des Begriffes „Wählen“ wenig förderlich, Lernern eine Gelegenheit bieten zu können, wissenschaftsorientierte Vorstellungen von der bakteriellen Fortbewegungsweise zu entwickeln. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ist unser kognitives System zwar prinzipiell metaphorisch strukturiert, unter Vermittlungsabsicht stellt sich aber stets die Frage, welche Metapher lernförderliche Wirkung haben kann und welche nicht. Bei der Darstellung der gerichteten bakteriellen Fortbewegungsweise verwenden die Autoren zwar auch ein metaphorisches Verständnis, indem sie auf das Schema *Person* zurückgreifen, sie intentionalisieren die zielgerichtete bakterielle Fortbewegung aber nicht. Metaphorisch kann die bakterielle Chemotaxis als „sicher zu treffen ohne zu zielen“ verstanden werden, Bakterien kommen durch Chemotaxis an ihr Ziel, ohne Vorsatz und Wollen. Aus lebensweltlicher Perspektive erscheint dies fremd, bewegt sich ein Mensch zielgerichtet auf ein Objekt zu, handelt es sich

⁸ Die Übertragung des Schemas *Person* auf Nichtmenschliches wird nach Gropengießer (2003, S. 22) als Personifizierung verstanden. Animismus, Anthropomorphisierung, Intentionalisierung und Finalisierung (Zusammenfassung, s. Riemeier 2005, S. 30-32) stellen Beispiele dar, Nichtmenschliches metaphorisch zu verstehen, indem auf bestimmte Ursprungsbereiche der eigenen Person zurückgegriffen wird.

um einen intentionalen Prozess, er will einem Objekt nahe sein, um es z.B. begreifen, sich aneignen zu können.

4.6.7 Antibiotika

Antibiotika werden als von Mikroorganismen produzierte Substanzen, die andere Mikroorganismen abtöten oder deren Wachstum hemmen, vorgestellt. Unter den Antibiotika, die auch als Naturprodukte bezeichnet werden, kommt dem Antibiotikum Penicillin (oder seinen halbsynthetischen Derivaten) aufgrund seiner verbreiteten Anwendung in der Medizin nach wie vor die größte Bedeutung zu. Die Wirkung des Antibiotikums Penicillin⁹ wird als Schwächung der bakteriellen Zellwand vorgestellt. Im Zusammenspiel mit dem hohen osmotischen Innendruck, der in bakteriellen Zellen herrscht, kommt es dann zur Lyse der Bakterien. Bakterien werden als eine Art Behälter gedacht, der unter Druck steht, dem aber die Zellwand standhalten kann (Konzept *Bakterien als Druckbehälter*). Penicillin wirkt nur auf wachsende also größer werdende Bakterien ein, indem es die Synthese des bakteriellen Peptidoglykans in wachsenden bakteriellen Zellwänden hemmt, wodurch die bakterielle Zellwand geschwächt wird; die Zelle platzt. Das Antibiotikum Penicillin fungiert als eine Art Auslöser, seine Wirkung basiert auf einem Zusammenspiel aus Schwächung der bakteriellen Zellwand und dem hohen Innendruck, der in einer bakteriellen Zelle herrscht und der auf der Zellwand lastet (*Penicillin als Auslöser*). Ursache und Wirkung des Penicillins liegen zeitlich nahe beieinander. Da Penicillin nur auf die Synthese des Peptidoglykans hemmend einwirkt und Peptidoglykan nur bei den Bacteria vorkommt, wirkt das Antibiotikum Penicillin auch nur schädigend auf diese ein. Spiegelbildlich zum Konzept *Molekular abweichende Bakterienstruktur* wird das Konzept *Bakterienspezifische Penicillin-Wirkung* entwickelt, Lernende haben die Möglichkeit, die beiden Konzepte gedanklich miteinander zu verknüpfen.

⁹ Die Frage nach der Penicillinwirkung ist nicht nur aus didaktischer sondern auch aus medizinischer Perspektive von Bedeutung. Handelt es sich beim Penicillin (oder seinen halbsynthetischen Derivaten) nach Angaben der Autoren des Lehrbuches „Mikrobiologie“ (Madigan et al. 2001) doch nach wie vor um eines der medizinisch wichtigsten Antibiotika (S. 846). Giesbrecht et al. (1998) können am Beispiel von Bakterien der Art *Staphylococcus aureus* zeigen, dass Penicillin die Ausbildung einer Querwand hemmt, die Bakterien einziehen, bevor sie sich teilen. Penicillin hemmt aber keineswegs die Bildung der bakteriellen Außenzellwand. Die penicillinbedingte Bakterien-Lyse vielmehr tritt später ein (Ursache und Wirkung liegen zeitlich nicht nahe beieinander), weil der Teilungsprozess keineswegs gestoppt wird, wenn die Querwand nicht eingezogen wurde. Die bakterielle Außenzellwand wird wie bei nicht mit Penicillin behandelten Bakterien zur Teilung an bestimmten Stellen getrennt, dann erst platzt ein mit Penicillin behandeltes Bakterium aufgrund des hohen osmotischen Drucks, der in einer bakteriellen Zelle herrscht, auf. Die Autoren sprechen von morphogenetischem Bakterientod.

4.6.8 Bakterienkolonien

Innerhalb der Denkfigur *Bakterienkolonien als Populationen* wird nach Kolonien¹⁰ als sichtbarer und nicht sichtbarer Menge von Zellen unterschieden. Kolonien als makrokosmisch wahrnehmbare Gegenstände kommen nur unter künstlichen Bedingungen, z.B. in Petrischalen, vor (Konzept *Wahrnehmbare Kolonien*). Außerhalb des Labors sind Populationen von Bakterien aufgrund ihrer geringen Größe nicht wahrnehmbar, sie werden als „Mikrokolonien“ bezeichnet und sind Gegenstände des Mikrokosmos (Konzept *Mikrokolonien*).

Bakterien lassen sich im Labor kultivieren (können gezogen werden), das Resultat sind mit bloßem Auge wahrnehmbare Kolonien (Konzept *Kultivierbare Bakterien*). Mithilfe verschiedener mikrobiologischer Techniken können Bakterien zunächst vereinzelt und anschließend zum Wachstum gebracht werden. Man erhält keimfreie Bakterienkolonien, die aus Individuen nur einer Bakterienart bestehen (Konzept *Erwünschte Bakterien*). Da Bakterien allgegenwärtig sind (Denkfigur *Ubiquitäre Bakterien*), können sie auch in eine Reinkultur gelangen (Konzept *Unerwünschte Bakterien*), und zwar in erster Linie über die Luft, weil diese „immer Staubpartikel enthält, die im Allgemeinen immer mit Mikroorganismen verunreinigt sind“. Bakterien werden in diesem Zusammenhang metaphorisch als Schmutz (Staubpartikel), als Verunreinigung gedacht (Konzept *Kontaminierende Bakterien*). Mikrobiologen erreichen metaphorisches Verständnis von Verunreinigen durch Übertragung verkörperter Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen des Verschmutzens gründen. Dieses metaphorische Verständnis wird durch evidenzbasierte Vorstellungen von Bakterien als Lebewesen, deren Wachstum als *Mehr-Werden* vorgestellt wird, modifiziert.

Die Wissenschaftler nutzen Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, z.B. mit auf einem Acker, in einem Gewächshaus oder im Blumentopf befindlichen Pflanzen, die in Reinkultur wachsen, also groß gezogen werden. Das Wachstum von in der Petrischale erwünschten Bakterienkolonien wird von Wissenschaftlern metaphorisch verstanden, die Vorstellung vom pflanzenartigen Wachstum der Bakterien wird angereichert und abgewandelt durch Erfahrungen mit der Gewinnung und mikroskopischen Untersuchung von Bakterien. In der Reinkultur nicht erwünschte Bakterien werden als Keime aufgefasst (Konzept *Bakterien*

¹⁰ Das Substantiv „Kolonie“ wird im 16. Jahrhundert vom lateinischen Substantiv „colonia“ (Länderei, Vorwerk, Ansiedlung, Niederlassung) entlehnt (Duden Etymologie, Bibliographisches Institut Mannheim/Zürich, 1963). Etymologisch liegt das lateinische Verb „colere“ (bebauen, (be)wohnen, pflegen, ehren) zugrunde. Im allgemeinen Sinne wird unter einer Kolonie eine „Siedlung“ verstanden (Brockhaus-Enzyklopädie 1990). In der Fachwissenschaft Geschichte wird unter einer Kolonie „die vom Beginn der Neuzeit bis zum Ersten Weltkrieg von den europäischen Staaten erworbenen auswärtigen...Besitzungen, die bestimmten politischen, wirtschaftlichen oder militärischen Zwecken des erwerbenden Landes...dienstbar gemacht wurden“ verstanden (ebenda). In der Biologie wird nach der Brockhaus-Enzyklopädie (1990) unter einer Kolonie eine „Vergesellschaftung von Einzelorganismen der gleichen Art zu einer Lebensform höherer Ordnung unter teilweiser oder völliger Aufgabe der eigenen Individualität“ sowie „die Ansammlungen von Vögeln zur Brut und Aufzucht der Nachkommen“ oder „manche Familienstaaten z.B. von Bienen, Termiten und Ameisen“ verstanden. In der Medizin versteht man nach dem „Psychembel Klinisches Wörterbuch“ (Vgl. Walter de Gruyter, Berlin 2002) unter einer Kolonie eine „durch Vermehrung aus einem Einzelkeim entstehende, makroskopisch sichtbare Anhäufung von Bakterien nach Aufbringung einer verdünnten Bakteriensuspension auf einen Nährboden“. Der Begriff „Bakterien Colonien“ wird 1873 von Edwin Klebs für Mikroorganismen, die sich in einer Kultur vermehrten („Die sich vermehrenden Keime fanden sich in Ballen zusammen“, zitiert nach Jahn 2000, S. 628) in die Bakteriologie eingeführt.

als Keime), die wie Keimlinge aufwachsen und als Unkraut die Reinkultur verderben (Konzept *Bakterien als Unkraut*). Ist von Bakterienkultur die Rede, ist der Prozess gemeint, das Verb „*kultivieren*“ wird substantiviert; eine Kultur im erntefähigen Zustand wird nicht mehr als Kultur gedacht, weil sie nicht mehr wächst, sondern als Ernte, und das sind in der Labormikrobiologie einzelne Bakterienkolonien.

In der Medizin sind Bakterien als Verursacher von Krankheiten immer schädlich (Konzept *Schädliche Bakterien*), aus Sicht des Menschen werden Bakterien auch dann als schädlich vorgestellt, wenn sie als Bestandteil von Biofilmen in der Medizin (z.B. auf Implantaten) und in der Industrie (z.B. in Pipelines) oder als Bestandteil des Zahnbelags gedacht werden. Werden Bakterien als Haut- oder Darmflora (Konzept *Bakterienflora*) oder als Produzenten von Substanzen in der Biotechnologie vorgestellt, werden sie als nützlich gedacht (Konzept *Nützliche Bakterien*).

Beim Wachstum von Bakterienpopulationen werden Bakterien durch Teilung zwar mehr, wodurch sich die Kolonien ausbreiten (Konzept *Koloniewachstum durch Mehr-Werden von Bakterien*), das *Größer-Werden* einzelner Zellen, auf dem die Vergrößerung einer Kolonie basiert, wird nicht vorgestellt, die Bakterien einer Kolonie werden als gleich groß gedacht.

Bakterien einer Kolonie, die sich im Nähragar einer Petrischale befinden, werden vom Agar zusammengehalten (Konzept *Eingebettete Kolonien*). Am natürlichen Standort können die Bakterien einer Kolonie von einer Art Klebstoff fixiert werden. Der Klebstoff kann von anderen Bakterien stammen, aber auch nichtmikrobiologischen Ursprungs sein, Bakterienkolonien werden fixiert (Konzept *Festgeheftete Bakterienkolonien*). Bakterien einer Kolonie können sich aber auch selber festheften, sie können einen Schleim (klebrige Polysaccharide) produzieren, der abgesondert wird (Konzept *Selbsthaftende Bakterienkolonien*). Der Schleim kann auch als Matrix von Polymerfasern, die Bakterien umgeben, vorgestellt werden. Die Substanzen, die Bakterien untereinander, aber auch an Substraten befestigen, werden metaphorisch als Klebstoffe verstanden. Verkörperte Vorstellungen von Kleben besitzt jeder Mensch, sie gründen in lebensweltlichen Erfahrungen, die z.B. beim Zusammenkleben von Papierstücken, beim Befestigen von Tapeten mit Kleister oder beim Festkleben von Partikeln an Fingern, an denen sich z.B. Harz von Bäumen befindet, gemacht werden. Wissenschaftler können ein metaphorisches Verständnis verwenden, das auf verkörperten Vorstellungen gründet, der bakterielle Klebstoff kann als klebriger Schleim gedacht werden. Das Verständnis wird aufgrund von Vorstellungen, die in Erfahrungen mit Klebstoffmolekülen gründen und aufgrund von bereichsspezifischem Wissen der chemisch-physikalischen Eigenschaften von Klebstoffmolekülen abgewandelt und modifiziert. Die submikroskopische Größenebene der Klebstoffmoleküle und die molekularen Wechselwirkungen zwischen diesen Molekülen (Konzept *Haftung durch molekulare Wechselwirkungen*) werden gedanklich mit dem Haften von mikroskopisch großen Bakterien oder Bakterienkolonien verknüpft.

4.7 Strukturierung nach Konzepten und Denkfiguren

Denkfigur *Kleine Lebewesen*

- *Kleine Bakterien*

Bakterien werden als Zellen gedacht (Konzept *Bakterien als Zellen*), die so klein sind, dass man sie nicht mit bloßem Auge sondern nur mithilfe eines Mikroskopes wahrnehmen kann (Konzept *Mikroskopische Bakterien*). Aufgrund ihrer Kleinheit weisen Bakterien volumenbezogen eine größere Membranoberfläche auf als größere biologische Gegenstände (Konzept *Vergrößerte Oberfläche*). Aufgrund der Größenunterschiede von Gegenständen des Mikrokosmos und des Submikrokosmos können Bakterien von Viren mithilfe von Filtern abgetrennt werden (Konzept *Filtrierbare Bakterien*). Bakterielle Moleküle werden zwar kleiner als Bakterien vorgestellt, sie können durchaus halb so groß wie Zellen sein, beide gehören einer gleichen Größenebene an (Konzept *Unklar kleine Moleküle*).

- *Mikroumgebung*

Spiegelbildlich zur mikroskopischen Größe von Bakterien wird die bakterielle Umgebung in den Abmessungen des Mikrokosmos als klein gedacht (Konzept *Mikroumgebung*). Verglichen mit den Umweltbedingungen des Makrokosmos ändern sich die ökologischen Bedingungen der bakteriellen Mikroumgebung kleinräumig.

- *Molekülbakterien*

Bakterien werden als Ansammlung von Makromolekülen vorgestellt. Die bakterielle Ernährung durch organisches Material dient der Gewinnung von Monomeren, mithilfe derer Bakterien die Makromoleküle herstellen, aus denen sie bestehen (Konzept *Monomer-Gewinnung*). Der Zusammenhang zwischen den Teilen (Molekülen), also Gegenständen der submikroskopischen Größenebene und der mikroskopisch wahrnehmbaren Bakterienstruktur wird metaphorisch als Ansammlung vorgestellt. Als Zellen weisen Bakterien mit eukaryotischen Zellen aufgrund des Besitzes übereinstimmender Moleküle gewisse strukturelle und funktionelle Gemeinsamkeiten auf, z.B. besitzen sie Zellmembranen oder ein DNA-Molekül, das kondensiert sein kann und dann als Chromosom gedacht wird (Konzept *Molekular übereinstimmende Zellstruktur*). Funktionell entspricht das bakterielle DNA-Molekül dem Zellkern eukaryotischer Zellen (Konzept *Funktioneller Bakterienzellkern*). Aufgrund bakterienspezifischer Moleküle weicht die Struktur und Funktion bakterieller Zellen aber auch von eukaryotischen Zellen ab (Konzept *Molekular abweichende Bakterienstruktur*). Aufgrund struktureller und funktioneller Besonderheiten ihrer Zellwand sind Bakterien das Angriffsziel des Antibiotikums Penicillin.

- *Vermehrung*

Bakterien vermehren sich durch Teilung (Konzept *Mehr-Werden*), es werden immer mehr (Konzept *Vermehrungsfreudige Bakterien*). Aus Sicht des Menschen ist der außerordentlich hohen bakteriellen Wachstumsgeschwindigkeit schwer Einhalt zu gebieten (Konzept *Schwierige Wachstumskontrolle*). Aufgrund ihrer außerordentlichen Vermehrungsgeschwindigkeit können Bakterien für den Menschen schädlich (Konzept *Schädliche Bakterien*) aber auch nützlich sein (Konzept *Nützliche Bakterien*).

- *Ubiquitäre Bakterien*

Aufgrund ihrer Kleinheit und hohen Stoffwechselaktivität können Bakterien schnell mehr werden. Sie sind deswegen allgegenwärtig, man kann immer auf sie stoßen. Bakterien kommen in großer Zahl vor (Konzept *Vielzähliges Vorkommen*). Während ein einzelnes

Bakterium ökologisch belanglos zu sein scheint, haben Bakterien in großer Zahl hingegen Wirkung (Konzept *Wirkung in Vielzähligkeit*).

- *Wachstum*

Bakterien können größer werden, indem sie sich durch Wachstum der bakteriellen Zellwand verlängern (Konzept *Größer-Werden*).

- *Autarke Bakterien*

Bakterien werden als die kleinsten Zellen vorgestellt. Ihre Selbstständigkeit bezieht sich auf verschiedene biologische Funktionskreise. Bakterien können sich aktiv und zielgerichtet fortbewegen (Konzepte *Aktiv bewegliche Bakterien*, *Zielgerichtete bakterielle Fortbewegungsweise*), dies ermöglicht es ihnen, in zuträgliche Bereiche ihrer kleinräumigen Umgebung zu gelangen (Konzept *Vorteil durch Beweglichkeit*). Bakterien können sich ernähren, indem sie organisches Material aufnehmen (Konzept *Organische bakterielle Ernährung*), das sie zur Gewinnung von Monomeren benötigen, die zur Herstellung von Makromolekülen benötigt werden (Konzept *Monomer-Gewinnung*). Bakterien nehmen chemische Umwandlungen vor, sie stellen Energie bereit oder liefern sie (Konzept *Bakterien als Energiewandler*). Bakterien können sich ohne externe Agenten vermehren (Konzept *Mehr-Werden*), dabei sind sie so erfolgreich, dass es dem Menschen z.B. bei bakteriellen Infektionen schwer fällt, dem bakteriellen Wachstum Herr zu werden (Konzept *Schwierige Wachstumskontrolle*).

- *Bakterien als Verunreinigung*

In der mikrobiologischen Reinkultur (Konzepte *Kultivierbare Bakterien*) unerwünschte Bakterien werden als eine Art Schmutz gedacht (Konzept *Kontaminierende Bakterien*). Außerhalb der Reinkultur werden Bakterien schon als Keime und Verunreinigung vorgestellt, weil sie in die Reinkultur gelangen könnten. Sie werden als Gegenstand einer Keimtheorie gedacht. Wachsen in einer Petrischale erwünschte Bakterien auf, werden sie kultiviert (Konzept *Erwünschte Bakterien*), wachsen hingegen unerwünschte Bakterien auf (Konzept *Unerwünschte Bakterien*), werden sie als Keim, Veranlasser einer Art Unkraut vorgestellt.

- *Heterogene Bakterien*

Verschiedene Bakterienarten können sich innerhalb gewisser Grenzen hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden (Konzept *Verschiedene Größen*). Strukturell können sich Bakterien hinsichtlich ihrer Zellform oder ihrer Zellwände, aber auch durch Besitz oder Nicht-Besitz von Anhängen (Flagellen) unterscheiden (Konzept *Strukturelle Verschiedenheit*). Aufgrund ihrer verschiedenen StoffwechsellLeistungen können sich Bakterien funktionell unterscheiden (Konzept *Funktionelle Verschiedenheit*). Aufgrund ihrer Heterogenität können Bakterien aus Sicht des Menschen erwünscht (Konzept *Nützliche Bakterien*) oder unerwünscht (Konzept *Kontaminierende Bakterien*), schädlich (Konzept *Schädliche Bakterien*) oder unschädlich sein.

- *Bakterien als Pflanzen*

Bakterien können in Petrischalen wie Pflanzen kultiviert (gezogen) werden (Konzept *Kultivierbare Bakterien*), auf der Haut oder im Darm bilden Bakterien die „normale“ Haut- oder Darmflora (Konzept *Bakterienflora*). Wachsen unerwünschte Bakterien in einer Reinkultur auf, werden sie als Veranlasser einer Art Unkraut vorgestellt (Konzept *Bakterien als Unkraut*). In der Reinkultur unerwünschte Bakterien werden als Keime aufgefasst, die zu großen Kolonien heranwachsen, Keimlingen ähnlich, die zu großen Pflanzen aufwachsen (Konzept *Bakterien als Keime*).

- *Bakterien als Menschen*

Die ungerichtete bakterielle Fortbewegungsweise wird als Laufen und Taumeln vorgestellt (Konzept *Laufen und Taumeln*), Bakterien können dabei ihre Bewegungsrichtung zufällig wählen. Bakterien werden personifiziert, indem sie als mit Intention versehene Wesen vorgestellt werden (Konzept *Bakterien als Person*).

Denkfigur Bakterien als Behälter

Bakterielle Zellen werden metaphorisch als *Behälter* gedacht, deren Wandung einen intrazellulären Raum von einem extrazellulären Raum abgrenzt. Ein Bakterium weist eine Zellwand und eine Cytoplasmamembran auf. Die Zellwand verleiht einem Bakterium Stabilität, die Cytoplasmamembran eine selektive Permeabilität, bestimmte kleinmolekulare Substanzen können durch die Membran hindurchtreten (Konzept *Zellen als offene Behälter*). Ein Bakterium kann als Gebäude vorgestellt werden, dessen Wandung aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt ist (Konzept *Zellen als Gebäude*). Der Behälter kann durch Vergrößerung seiner Wandung größer werden (Konzept *Größer-Werden*), durch Teilung resultieren aus einem Behälter zwei (Konzept *Mehr-Werden*). Der Behälter einer bakteriellen Zelle kann sich in Flüssigkeiten mithilfe einer Geißel schwimmend fortbewegen (Konzept *Aktivbewegliche Bakterien*). Das Antibiotikum Penicillin schwächt die bakterielle Zellwand strukturell, im Zusammenspiel mit dem hohen osmotischen Innendruck, der in bakteriellen Zellen herrscht (Konzept *Bakterien als Druckbehälter*), kommt es zur Zerstörung der Bakterien (Konzept *Penicillin als Auslöser*). Aufgrund struktureller und funktioneller Alleinstellungsmerkmale der Zellen der Domäne Bacteria (Konzept *Molekular besondere Bakterien*) wirkt Penicillin nur auf bakterielle prokaryotische Zellen ein, nicht aber auf Zellen, die der Domäne der Archaea und Eukarya zugeordnet werden (Konzept *Spezifische Penicillin-Wirkung*).

Denkfigur Bakterien als Maschinen

Bakterien werden metaphorisch als komplexe Maschinen verstanden. Ihre Struktur erscheint auf der mikroskopischen Organisationsebene eher einfach, werden einzelne Strukturelemente auf der submikroskopischen (molekularen) Ebene aufgelöst, wird eine verwirrende Komplexität aufgedeckt (Konzept *Teile komplexer als Ganzes*). Ihre Maschinenfunktionen erlauben es Bakterien, sich mithilfe einer rotierenden Geißel in Flüssigkeiten schwimmend aktiv fortzubewegen (Konzept *Aktiv bewegliche Bakterien*), wodurch ihnen ein Vorteil im Kampf um das Überleben erwächst (Konzepte *Vorteil durch Beweglichkeit, Kämpfende Bakterien*). Die bakterielle Endgeschwindigkeit ist bezogen auf die lebensweltlichen Verhältnisse absolut gesehen gering (Konzept *Makrolangsame Bakterien*), unter Einbeziehung ihrer Körpergröße relativ gesehen aber hoch (Konzept *Mikroschnelle Bakterien*). Als komplexe Stoffwechselmaschinen stellen Bakterien aus organischem Material Makromoleküle her (Konzept *Organische bakterielle Ernährung*) oder gewinnen Energie (Konzept *Bakterien als Energiewandler*).

Denkfigur Bakterienkolonien als Populationen

Bakterienkolonien werden als Populationen von Bakterien, die zu einer Art gehören, vorgestellt. In Petrischalen können einzelne Bakterien durch Vermehrung so zahlreich werden (Konzepte *Kultivierbare Bakterien, Koloniewachstum durch Mehr-Werden*), dass sie als Populationen mit bloßem Auge wahrgenommen werden können (Konzept *Wahrnehmbare*

Kolonien). Am natürlichen Standort hingegen sind die Kolonien nicht so reich an Individuen, als dass sie wahrgenommen werden könnten, Mikrokolonien sind Gegenstände der mikroskopischen Größenebene (Konzept *Mikrokolonien*). In Petrischalen werden Bakterien vom Nährmedium eingebettet (Konzept *Eingebettete Bakterien*), am natürlichen Standort können Mikrokolonien mithilfe eines Klebstoffs (z.B. Schleim) festgeheftet werden (Konzept *Festgeheftete Bakterien*) oder sich selber festheften (Konzept *Selbsthaftende Bakterienkolonien*). Das Haften von Bakterienkolonien kann auf molekularen Wechselwirkungen beruhend gedacht werden (Konzept *Haftung durch molekulare Wechselwirkungen*).

5 Erfassen der Lernerperspektiven: Reanalyse empirischer Befunde von Lernervorstellungen zu Bakterien

In diesem Kapitel werden Publikationen reanalysiert, die von empirisch erfassten Lernervorstellungen zu Bakterien berichten. Die in der Literatur aufgefundenen Lernervorstellungen werden zu Konzepten zusammengetragen und auf dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens reinterpretiert. Auf Basis des angestrebten tieferen Verständnisses der Lernervorstellungen zu Bakterien werden Leitlinien für die unterrichtliche Vermittlung formuliert.

5.1 Fragestellung

Die Fragestellungen, die an die Publikationen herangetragen werden, lauten, über welche Vorstellungen verfügen Lerner zu Bakterien und bakteriellen Prozessen, insbesondere:

1. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakteriengröße?
2. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakterienstruktur?
3. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakterienernährung?
4. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakterienbeweglichkeit?
5. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zum Bakterienwachstum?
6. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zu Antibiotika?
7. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zu Bakterienkolonien?

5.2 Vorgehensweise

Die in diesem Kapitel versammelten Publikationen wurden auf Grundlage der Bibliographie von Duit (2007) ausgewählt, zusätzlich wurden weitere mir bekannte Veröffentlichungen in deutscher und englischer Sprache berücksichtigt. Der engeren Auswahl liegen zwei Kriterien zugrunde: Die Veröffentlichungen berichten über Lernervorstellungen, die empirisch erfasst wurden, die Befunde beziehen sich auf einen mikrobiologischen Inhaltsbereich. Da Bakterien als Zellen Gegenstand der Zelltheorie sind, wurden bei der erweiterten Auswahl auch einzelne Publikationen berücksichtigt, die sich nicht auf einen mikrobiologischen Inhaltsbereich beziehen, um Lernervorstellungen, die auf die Größe und Struktur von Bakterien bezogen sind, von solchen Vorstellungen abgrenzen zu können, die auf eukaryotische Zellen bezogen sind. Sinngemäß gilt dies auch für Vorstellungen zu den physiologischen Prozessen der Ernährung und des Wachstums, wobei der Kreis der diesbezüglichen Veröffentlichungen etwas weiter gezogen wurde: Berücksichtigt werden ausgewählte Publikationen, die von Lernervorstellungen berichten, die auf tierliche Organismen bezogen sind.

Aus den aufgefundenen Untersuchungen werden nur diejenigen Ergebnisse herangezogen, die für die in dieser Arbeit zu erhebenden Lernervorstellungen als bedeutsam angesehen werden. Dabei sind die Befunde im Kapitel „*Die empirischen Befunde im Einzelnen*“ der Übersichtlichkeit wegen den Kategorien „*Größe*“, „*Struktur*“, „*Ernährung*“, „*Beweglichkeit*“, „*Wachstum*“, „*Antibiotika*“ und „*Koloniebildung*“ zugeordnet. Die Literaturkonzepte, die den einzelnen Kategorien zugeordnet werden, sind nach dem Alter der befragten Lerner geordnet. Im Kapitel „*Die analysierten Veröffentlichungen*“ werden Angaben zur Methode und zum Ziel der jeweiligen Erhebungen, zur Größe der untersuchten Lernerkollektive und zum Alter der Lerner zu finden. Die Angaben werden alphabetisch nach den Namen der Autoren geordnet.

Haben die Autoren zu ihren Untersuchungsergebnissen Interpretationen vorgenommen, werden diese ebenfalls erfasst. Ausgewählte Merkmale der erfassten Veröffentlichungen werden in Gestalt einer Tabelle systematisiert (s. Tab. 5.1), um einen bequemen Überblick zu ermöglichen. Die Publikationen werden in der Tabelle nach dem Alter der befragten Lerner geordnet erfasst.

5.3 Die analysierten Veröffentlichungen

Gegenstand der Analysen sind Lernervorstellungen von chemoorganotrophen Bakterien, Vorstellungen von anderen Bakterien und auch von den Archaea werden in diesem Kapitel nicht erfasst. Die Zahl der Untersuchungen, in denen Lernervorstellungen zu Bakterien erfasst werden, ist vergleichsweise gering. Ausführungen, die für die vorliegende Untersuchung bedeutsam sind, finden sich zum einen in Veröffentlichungen, in denen Bakterien lediglich einen Einzelaspekt unter anderen darstellen. Es handelt sich dann meist um Publikationen zu ökologischen Fragestellungen oder zur Zelltheorie bzw. zur Zellenlehre. Zum anderen existieren aber auch Veröffentlichungen, die sich in erster Linie mit Lernervorstellungen zu Bakterien beschäftigen. In letzter Zeit erscheint diese Frage insbesondere im Zusammenhang mit der Einführung biotechnologischer Unterrichtsinhalte wieder aktuell, insbesondere um deren Effizienz für das Lernen curricularer Inhalte der Biologie zu erfassen.

1. Barenholz et Tamir (1987) untersuchen die Wirksamkeit eines Lernprogramms zur Mikrobiologie mit besonderem Augenmerk auf Lernproblemen und Fehlvorstellungen der Schüler. Die Lernervorstellungen werden schriftlich erfasst, untersucht werden 16 Klassen (373 Schüler) einer israelischen Schule verschiedener Jahrgangsstufen („10th-12th grades“), die erhobenen Befunde werden statistisch ausgewertet. Die Autoren sprechen von Fehlvorstellungen der Lerner und ordnen diese danach, ob sie sich auf allgemeine Prinzipien oder auf spezielle Konzepte beziehen. Viele Lerner verstehen die Rolle, die Mikroorganismen in der Natur, z.B. in Stoffkreisläufen als Zersetzer, spielen, nicht. Kein Lerner äußert sich zur Bedeutung der Mikroorganismen für den Menschen (Darmflora), 30% der Lerner würden Mikroorganismen von der Erde eliminieren, wenn sie könnten; 15 % der Lerner können erklären, wie Lebensmittel vor mikrobiellem Abbau geschützt werden können. Die Autoren führen die bei Lernern vorherrschende Vorstellung „Gefährliche Bakterien“ auf lebensweltliche Erfahrungen zurück, wonach Mikroorganismen meist als Krankheitserreger gedacht werden.
2. Bayrhuber u. Stolte (1997) erheben die Vorstellungen zu Bakterien von 10 Schülern der gymnasialen Oberstufe (11. Klasse) mit geschlossenen Leitfadeninterviews. Es handelt sich laut Aussage der Autoren um eine erste Erhebung zu Vorstellungen bezüglich des Baus und der groben systematischen Einordnung sowie der Vermehrung von Bakterien, ihres Vorkommens und ihrer Nutzung durch den Menschen. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen mit anderen zur Entwicklung eines Fragebogens zur Befragung einer größeren Anzahl von Schülern genutzt werden (s. Simonneaux 2000), wobei das Ziel ist, darauf fußend Unterrichtseinheiten im Rahmen der „European Initiative for Biotechnology Education“ zu konstruieren. Bakterien können überall vorkommen, im Blut werden Bakterien als Krankheitserreger vorgestellt, im Verdauungstrakt hingegen als nützlich angesehen. Die Autoren haben festgestellt, dass Lerner gelegentlich die „falschen Begriffe“ verwenden, z.B. wenn von „Schimmelpilzbakterien“ im Zusammenhang mit der Käseherstellung, oder von „Hefebakterien“ bei der Bier- und Weinerzeugung die Rede ist.
3. Brumby (1984) untersucht u.a. die Verständnisschwierigkeiten, die Medizinstudenten mit dem Konzept der Selektion im Zusammenhang mit der Wirkung von Antibiotika auf Bakterien haben. Den Studenten werden dazu schriftliche Fragen vorgelegt, ein

Teil von ihnen wird im Rahmen teilstrukturierter, offener Interviews befragt. Untersucht werden 150 Medizinstudenten im ersten Ausbildungsjahr. Ziel der Untersuchung ist es, das konzeptuelle Netzwerk und die Denkmuster der Lerner zu nicht vertrauten biologischen Problemen zu erforschen.

4. Diaz de Bustamante et Aleixandre (1998) untersuchen, welche mentalen Bilder Schüler von Zellen haben. 227 Schüler (14-17 Jahre) und 47 Lehramtsstudenten nach Absolvierung der ersten Ausbildungsphase fertigen Zeichnungen zu Zellen vor und nach einem mikroskopischen Praktikum an, ihre Aktivitäten werden im Unterrichtsraum videographiert. Die Probleme, die Lerner haben, Zellen zeichnerisch zu erfassen, führen die Autoren auf Schwierigkeiten im Verständnis des Zellkonzeptes, auf Zeichen- und Abstraktionsprobleme, unterschiedliche Beobachtungsfähigkeiten, technische Probleme beim Mikroskopieren oder mangelndes Interesse an den gestellten Aufgaben zurück.
5. Dreyfus et Jungwirth (1988, 1989) untersuchen das Zellkonzept und diesbezügliche Fehlvorstellungen 15-jähriger israelischer Schüler. Im ersten Schritt wird 219 Schülern ein offener Fragebogen mit fachlich fehlerhaften Schüleraussagen vorgelegt und gefragt, was sie dazu denken. In einem zweiten Schritt werden den Schülern fachliche Hinweise zu den zuvor bearbeiteten Fragen und die Möglichkeit gegeben, ihre Aussagen begründet zu ändern. In einer abschließenden Interviewphase haben 20% der Schüler Gelegenheit, die gestellten Fragen zu beantworten und sich zu den Vorstellungen anderer Schüler zu äußern. Die Autoren machen die Erfahrung, dass 40% der Schüler auch nach gegebenen Hinweisen bei ihren fachlich falschen Aussagen bleiben. Fehlendes Wissen zu biologischen Prozessen wird von den Autoren in der Hauptsache auf fehlendes bereichsspezifisches chemisches und physikalisches Hintergrundwissen der Schüler zurückgeführt. Lerner denken beispielsweise, dass alle Zellen Energie benötigen, die meisten von ihnen wissen aber nicht, wofür Zellen eigentlich Energie benötigen. Weitere Vorstellungen sind: Die Hauptquelle für Energie seien Proteine, aber auch Wasser (Vitamine) enthalte viel Energie. Einige Zellen sind auf die Energieproduktion spezialisiert, nur sie werden mit Mitochondrien ausgestattet vorgestellt. Energie wird von Zelle zu Zelle transportiert und zwar von Energieproduzenten zu Energieverbrauchern. Energie kann aber auch im Verdauungstrakt erzeugt werden. Einige Zellen benutzen die Energie intrazellulär, andere extrazellulär (z.B. im Muskelgewebe, in dem die Energie außerhalb der Muskelzellen gebraucht wird, um den Muskel zu bewegen). Zellen, die sich nicht bewegen, die ruhen, brauchen keine Energie. Die Membran einer Zelle „weiß“ was sie durchzulassen hat und was gut für die Zelle ist. Verdauung kann vor oder nach der Aufnahme der Nahrung durch Zellen stattfinden. Die Autoren führen die erfassten Vorstellungen auf die Struktur des Wissens der Lerner und dessen Aneignung zurück, sie unterscheiden dabei verschiedene Kategorien: 1) Die Lernervorstellung ist völlig falsch, Lerner benutzen naives, persönlich aber wirkungsvolles Alltagswissen, 2) Die Erinnerungen der Lerner an Wissen, das auf alltäglichen Erfahrungen beruht, sind stärker als im Unterricht angeeignetes Wissen, 3) Starke Erinnerungen an unterrichtlich erworbenes Wissen führen zu wahllosen Generalisierungen und Schlussfolgerungen sowie zu widersprüchlicher Anwendung des Wissens, 4) Anstelle der Fachtermini werden sorglos bekannte Wörter verwendet, 5) Anstelle wissenschaftlicher Erklärungen verwenden Lerner aus ihrer Sicht attraktive und vernünftige, aber zweideutige Analogien, die unterrichtlich akzeptiert worden sind, 6) Zu Phänomenen, die unerklärlich sind, konstruieren Lerner unterrichtlich nicht akzeptable Analogien und Ad-hoc-Theorien.
6. Flores (2003) erfasst mithilfe von Fragebögen und Interviews die Schülervorstellungen zur Struktur und Funktion von Zellen, um die Probleme zu identifizieren, die Lernern beim Verständnis der entsprechenden fachorientierten Konzepte haben: 49% der

befragten Schüler denken, dass die Größe von Zellen durch Nahrung, Wasser, Krankheiten und genetische Faktoren beeinflusst werden kann. Dass Zellen, die verschiedene Funktionen haben, auch von unterschiedlicher Größe sind, denken 19% der Befragten. 72% der Schüler denken, dass die Größe einer Zelle der Größe von Molekülen und Atomen entspricht, Wasser wird von 44% der Befragten als Nahrung vorgestellt, Verdauung in einer Zelle wird als Zerkleinerung von biologischem Material gedacht (10%). Einen weiteren Untersuchungsschwerpunkt bildet die Frage, welchen Zusammenhang es zwischen den Lernervorstellungen zur Struktur und Funktion auf der Ebene einer einzelnen Zelle und der Ebene der vielzelligen Organisation von Lebewesen gibt. Der Autor erfasst, dass Schüler einzelne Zellen und vielzellige Organismen funktional analogisieren. Die Untersuchung wird mit 300 mexikanischen Schülern im Alter von 15-18 Jahren durchgeführt.

7. Gayford (1986) führt eine Untersuchung durch, um die Verständnisschwierigkeiten zu ermitteln, die Lerner haben, wenn sie das Konzept „Energie“ auf biologische Prozesse beziehen. Z.B. verfügen Schüler oft über die Vorstellung, Energie werde wie Material gespeichert oder fließe von einem Ort zu einem anderen, sie könnte transportiert werden. Der Autor weist daraufhin, dass das Konzept Energie fachlich richtig nur im Zusammenhang mit einer Reihe von physikalischen Konzepten (z.B. Energieerhaltung, Energieumwandlung, Energieaustausch) verstanden und auf biologische Prozesse bezogen werden kann. Die Untersuchung umfasst das Material von 296 Schülern im Alter von 17-18 Jahren, denen ein Fragebogen vorgelegt wird und die befragt werden.
8. Helldén (1999) führt eine Langzeitstudie durch, um das Lernerverständnis zu den Themen „Voraussetzungen für Leben“, „Wachstum“ sowie „Zersetzung organischen Materials“ zu erfassen. In Verlauf der Untersuchung werden 23 Schüler im Alter zwischen 9 und 15 Jahren neunmal mithilfe klinischer Interviews befragt. Im Alter von 15 Jahren hören sich die Schüler ihre früheren Aussagen an und werden gebeten, diese zu kommentieren und zu erklären. Die verschiedenen Interpretationen des Zersetzungsprozesses werden am Beispiel des Schülers Oskar exemplarisch aufgezeigt.
9. Helman (1978) führt Untersuchungen mit Erwachsenen in einer englischen Kleinstadt durch, um alltagsweltliche Vorstellungen (folk models) und Vorstellungen von Experten (Ärzten) zum Thema „Erkältung“ und „Fieber“ zu erfassen. Der Autorin geht es u.a. darum, zu verstehen, wie die erfassten Vorstellungen beider Gruppen die Verschreibungspraxis von Antibiotika beeinflussen. Mehr Personen, die nach dem zweiten Weltkrieg geboren wurden, verfügen über Vorstellungen zur Keimtheorie der Infektionskrankheiten als solche, die früher geboren wurden. Wobei alltagsweltliche Vorstellungen aber keineswegs durch fachorientierte biomedizinische Vorstellungen ersetzt werden, sondern sich vermischen: Die Befragten sind mit biomedizinischem Vokabular zwar vertraut, nach Meinung der Autorin werden die Termini aber durcheinander gebracht.
10. Hilge (1999) untersucht das Verständnis von Lernern zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen im Rahmen des Forschungsmodells der Didaktischen Rekonstruktion. Die Vorstellungen werden mithilfe problemzentrierter, offener Leitfaden-Einzelinterviews erfasst, es werden zehn Schüler der gymnasialen Oberstufe (Klasse 11, 4 Schüler; Klasse 12, 4 Schüler, Klasse 13, 2 Schüler) befragt. Ziel der Untersuchung ist es, eine Basis zur Konzeption von Unterricht zu mikrobiologischen Inhalten zu liefern. Die Autorin ordnet die erhobenen Lernervorstellungen nach drei verschiedenen „Spannungsbögen“, die sie erkannt hat (S. 269-272): 1. Mikroorganismen als Lebewesen – Mikroorganismen als nicht belebte Strukturen, 2. Mikroorganismen als einfachste Lebewesen – Mikroorganismen als komplexe Lebewesen, 3. Abbau organischer Substanz durch abiotische Ursachen – Abbau organischer Substanz durch mikrobielle Ursachen.

11. Jones et al. (2003) führen Untersuchungen durch, um die Vorstellungen von Schülern zur Struktur und Größe von Viren mithilfe von Fragebögen, Schülerzeichnungen, angefertigten Papier- und Tonmodellen sowie geschlossenen Leitfaden-Interviews zu erfassen. Die Vorstellungen von 50 Schülern der Klassen 9-11 werden vor und nach einer einwöchigen Unterrichtsphase erhoben, wobei im Unterricht besonderer Wert auf die Vermittlung bereichsspezifischen Wissens zur Größe von Atomen, Viren und Bakterien und der Abgrenzung der Größenebenen gelegt wurde. Zudem hatten die Lerner Gelegenheit, mithilfe eines Raster-Kraftmikroskops und eines Manipulators kinästhetische und taktile Erfahrungen mit der Oberfläche von Viren zu machen. Die Autoren stellen nach der Unterrichtseinheit eine deutliche Annäherung der Schülervorstellungen an die fachorientierten Vorstellungen fest, wobei sich diese Aussage auf die Größe und Struktur von Viren, ihre dreidimensionale Raumstruktur sowie auf die Abgrenzung von Zellen und Viren bezieht. Sie führen dies auf die unterrichtliche Schwerpunktsetzung zurück. Welche Rolle dabei die haptischen Erfahrungen spielen könnten, die die Lerner mit der Oberfläche von Viren gemacht haben, können die Autoren aufgrund der Struktur der Studie nicht angeben.
12. Leach, Driver, Scott, Wood-Robinson (1995, 1996) untersuchen das ökologische Verständnis von Schülern, insbesondere zu Stoffkreisläufen und der Rolle, die dabei Organismen und die unbelebte Umwelt spielen. Untersucht werden 200 Schüler im Alter von 5-16 Jahren mithilfe von schriftlichen und mündlichen Befragungen. Vor den Befragungen wird den Schülern das Farbfoto eines Apfelbaumes mit einem darunter liegenden faulenden Apfel sowie das Realobjekt eines faulenden Apfels gezeigt; den älteren Schülern wird eine Videosequenz vorgeführt, die das Verfaulen von Früchten in Zeitrafferaufnahme zeigt. Jüngere Schüler benutzen häufiger Wörter wie „schäbig“ oder „schlecht“; ein Teil von ihnen berichtet davon, dass ihnen untersagt wurde, Nahrung vom Boden aufzuheben und zu essen, weil da Keime drauf seien, wobei damit allerdings nicht die Vorstellung verbunden ist, dass Keime lebendig sind. Ältere Schüler benutzen Wörter wie „verrotten“, „verfaulen“, „zersetzen“ oder „zerfallen“, wobei die Autoren darauf hinweisen, dass der Gebrauch der Termini keineswegs auch bedeutet, dass die Schüler über ein Verständnis der diesbezüglichen fachorientierten Konzepte verfügen. Mit zunehmendem Alter können immer mehr kausale Erklärungen erfasst werden, die Veränderungen des Apfels werden entweder als natürlicher Alterungsprozess vorgestellt oder aber als von Hitze, Sonne oder Luft verursacht gesehen. Die Veränderungen des Apfels können auch auf die Aktivität von Lebewesen zurückgehen, d.h. der Apfel wird von makroskopischen Organismen (z.B. Insekten, Kühen) gefressen oder von Mikroorganismen (Keime, Bakterien, Zersetzer) angegriffen oder gegessen. Einige Antworten beruhen nach Meinung der Autoren auf einem Egozentrismus (ein Apfel zerfällt, weil er nicht rechtzeitig gegessen worden ist). Die Autoren resümieren u.a., dass es Lernern, die sich im Unterricht mit mikrobiologischen Inhalten beschäftigt haben, nicht schwer fällt, diese gedanklich mit bereits vorhandenen Vorstellungen zu verknüpfen.
13. Nagy (1953) erfasst Vorstellungen von Kindern zu „Keimen“. Für die Untersuchung werden 350 englische und amerikanische Kinder im Alter von 5 bis 11 Jahren befragt, die Aufsätze schreiben, Zeichnungen anfertigen und in der Gruppe diskutieren, einen Test schreiben oder einzeln interviewt werden. Keime werden von ihnen als „Bazillen“ und „Bakterien“ bezeichnet, die Krankheiten verursachen. Die Kinder beziehen sich auf einen einzigen Keim und verfügen nicht über die Vorstellung, dass verschiedene Infektionskrankheiten von verschiedenen Pathogenen verursacht werden. Die Hälfte der jüngeren Kinder im Alter von 5-7 Jahren fertigt keine Zeichnungen zu Keimen an, die andere zeichnet abstrakte Figuren (z.B. Punkte, Sternchen) oder Tiere. Mit zunehmendem Alter (8-11 Jahre) besteht die Tendenz, Keime als Tiere darzustellen.

len, im Gespräch bezeichnen die Kinder Keime oft als Insekten (z.B. Fliegen, Moskitos). Möglicherweise beruht dies auf einer Verwechslung von Vektoren und Keimen, auf Tafeln zur Gesundheitserziehung werden nach den Angaben der Autorin Insekten oft als Überträger dargestellt.

14. Prout (1985) legt eine Untersuchung vor, in der er in einem ersten Schritt das biomedizinische Wissen von 15-jährigen Schülern erfasst, um dann zu erforschen, wie dieses Wissen auf Themen der menschlichen Gesundheit (z.B. Erkältung) angewandt wird. Er führt teilstrukturierte Leitfadeninterviews mit 54 Schülern durch und wertet diese qualitativ und quantitativ aus. Der Autor geht davon aus, dass wissenschaftliches Wissen nicht einfach in gesundheitsbezogenes Wissen übersetzt werden kann, da dem diesbezüglichen alltagsweltlichen Wissen (lay, traditional knowledge) entgegen stehe.
15. Riemeier (2005) untersucht im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion Schülervorstellungen im Bereich der Zelltheorie. In einem ersten Schritt werden die Vorstellungen zu Zellen und zellulären Prozessen (z.B. Zellteilung) erfasst, um dann die Wirkung und Effektivität von Interventionen im Sinne eines Lernens fachorientierter Vorstellungen zu ermitteln. Die Schüler fertigen auch Zeichnungen von Zellen an. Es werden insgesamt 14 Schüler der Klasse 9 mithilfe von leitfadengestützten offenen Gruppeninterviews befragt. Lerner stellen sich Zellen klein vor, sie können nur mithilfe eines Mikroskops gesehen werden (S. 220). Über die reale Größe von Zellen besteht Unklarheit, die verschiedenen Größenebenen werden undifferenziert verwendet (S. 233). Zellen werden als eine Art Behälter für die darin enthaltenen Zellbestandteile gedacht (S. 229). Wachstum wird als Vorgang angesehen, der einfach stattfindet, Wachstum ist selbstverständlich (S. 224), einige Schüler denken aber, dass Wachstum abhängig von Bedingungen ist (S. 223). Viele Lerner assoziieren mit Wachstum ein *Größer-Werden* von Objekten. Wachstum von Lebewesen kann aber auch als Vervielfachung, *Größer-Werden* oder Teilung von Zellen vorgestellt werden (S. 224-225).
16. Russel et Watt (1990) untersuchen die Ideen, die Kinder zum Wachstum biologischer Gegenstände haben. Vor der Erhebung der Vorstellungen machen die Kinder im Klassenraum Erfahrungen mit Hühnereiern, die in einem Inkubator bis zum Schlüpfen bebrütet werden. Die Kinder schreiben Tagebücher, fertigen Zeichnungen an und diskutieren in der Gruppe. Die Gruppendiskussionen werden aufgezeichnet, mit einem Teil der Kinder werden offene Leitfadeninterviews durchgeführt. Die Ideen der Kinder zum tierlichen Wachstum werden qualitativ und quantitativ erfasst. Insgesamt werden die Vorstellungen von 60 Kindern im Alter von 5-11 Jahren im Unterricht erfasst. Die meisten Kinder denken Dotter und Eiweiß eines Hühnereies als Essen und Trinken des im Ei befindlichen Tieres. Nahrung ist die von den allermeisten Kindern genannte Bedingung für Wachstum im Ei, in absteigender Häufigkeit nennen die Kinder Trinken, Luft (Sauerstoff), Wärme, kühl und schattig, Schutz. Die meisten Kinder denken den Zusammenhang zwischen Nahrung und Wachstum nicht funktional in dem Sinne, dass die Stoffe, die mit der Nahrung aufgenommen werden, umgewandelt und in den Körper eingebaut werden, wodurch er größer wird. Die Einverleibung von Nahrung ist für die Kinder eine hinreichende Erklärung für das Wachstum (Streckung) von Tieren. Das Wachstum innerhalb eines geschlossenen Eies kann mit der Zunahme seiner Masse vorgestellt werden, der Wachstumsprozess im Ei erzeugt zusätzliches Material.
17. Simonneaux (2000) legt eine Untersuchung vor, in der Lernervorstellungen zu Mikroben erfasst werden, sie führt geschlossene Leitfaden-Einzelinterviews mit zehn Schülern der 10. Klasse einer französischen allgemeinbildenden Schule mit landwirtschaftlicher Spezialausbildung durch. Ziel der Untersuchung ist es, die basalen Konzepte von Lernern zu identifizieren, die das Verständnis der Biotechnologie beeinflussen. Die Autorin nimmt an, dass die erfassten Konzepte zu Mikroben von den Vorstellun-

gen der Lerner zu Krankheiten und Hygiene geprägt sind, aber auch auf persönlichen Erfahrungen, Laien- und Schulwissen, sozio-kultureller Vermittlung und linguistischer Konfusion beruhen.

18. Teixeira (2000) untersucht die Vorstellungen von Schülern zur Struktur und Funktion des menschlichen Verdauungssystems. Es werden 45 Kinder im Alter von 4-10 Jahren mithilfe offener Einzelinterviews befragt. Vor den Interviews haben die Kinder ein Stück Schokolade gegessen und wurden gebeten, den Weg der Nahrung auf einem Blatt Papier, das den menschlichen Körper in Umrissen zeigt, zeichnerisch darzustellen. Bei der Mehrheit der 4-jährigen Schüler herrscht die Vorstellung vor, die eingenommene Nahrung bleibe vollständig im Körper, der als Behälter für Nahrung gedacht werden kann. Die Nahrung „geht“ vom Magen in verschiedene Körperteile, wodurch der Körper „groß und stark“ wird. Mehrheitlich denken die 6- und 8-Jährigen, die gesamte Nahrung verlasse den Körper wieder, die 10-jährigen verfügen mehrheitlich über die Vorstellung, ein Teil der Nahrung verbleibe im Körper, ein Teil werde wieder abgegeben. Der verbleibende Teil der Nahrung könne auf seinem Weg durch den Körper zu „Blut“ oder „Zellen“ umgewandelt werden. Die Nahrung wird durch Kauen oder Transport zerkleinert oder verflüssigt, behält ihre stofflichen Eigenschaften aber bei. Die Zerkleinerung der Nahrung kann auch mit einer Trennung der für den Körper vorteilhaften und nicht vorteilhaften Bestandteile der Nahrung vorgestellt werden, letztere werden ausgeschieden.
19. Zamora et Guerra (1993) führen mit 150 mexikanischen Schülern des siebten, achten und neunten Jahrgangs eine Untersuchung zum Verständnis des Zellkonzeptes durch. Die Schüler fertigen zunächst Zeichnungen von Zellen an, die sie erklären sollen, dann beantworten sie Fragen zur Zelle und ihrem Wachstum. Auf die Frage, was eine Zelle zum Leben benötigt, äußern Schüler, dass Zellen „essen müssen“ sie benötigen „Blut“, das, „was der Mensch isst“, um „stark zu sein“, „sich zu vervielfältigen“ oder um dem eigenen Wachstum (dem der Befragten) „zu helfen“. Die Autoren führen diese Äußerungen auf Fehlvorstellungen der Lerner zurück, wonach Zellen entweder ähnlich wie der Körper des Menschen gedacht werden, oder Zellen von dem sie beherrschenden menschlichen Körper versorgt werden. Bei mehreren Schülern kann die Vorstellung erfasst werden, dass neue Körperzellen entstehen, wenn zwei Zellen unterschiedlichen Geschlechts miteinander verschmolzen sind, Zellen werden auch geboren, wachsen, reproduzieren sich und sterben auch. Ob diese Vorstellung auf eine Personifizierung zurückzuführen ist (Zellen reifen wie der Mensch heran), oder ob der Mensch als individuelle Zelle gedacht wird, stellen die Autoren zur Diskussion. Zellvermehrung kann darauf beruhen, dass sich Zellen „in zwei Hälften teilen“. Das nach Meinung der Autoren ziemlich unklare Lernerbild von der Zelle wird zum einen auf mangelnde Informationen zurückgeführt – so fehlen nach den Angaben der Autoren in Schulbüchern oftmals Angaben zur Größe abgebildeter Zellen – zum anderen auf fehlende alltagsweltliche Bezüge der Lerner. Einige der erfassten Konzepte machen aus Sicht der Autoren alltagsweltlich Sinn, z.B. verfügen Lerner aufgrund der Erfahrung, dass der eigene Körper in der Wachstumsphase größer wird, über die Vorstellung, dass auch Zellen größer werden, wenn sie wachsen.

Quelle	Erhebungsmethode	Alter, Anzahl d. Befragten	Zelltheorie	Sonstiges	Mikrobiologie Abk. s. Tab.-Text
Teixeira 2000	Interviews	4-10 Jahre 45 Lerner		Menschl. Verdauung	
Nagy 1953	Interviews	5-11 Jahre 350			S E W B
Russel et Watt 1990	Interviews	5-11 Jahre 60 Lerner		Wachstum Hühnerei	
Leach et al. 1995 1996	Fragebogen Interviews	5-17 Jahre 200 Lerner			S E
Helldén 1999	Interviews	9-15 Jahre 23 Lerner			E
Zamora et Guerra 1993	Fragebogen	7.-9. Jg. 150 Lerner	Z		S
Riemeier 2005	Interviews	9. Jg.	Z		
Jones 2003	Fragebogen Interviews	9.-11. Jg. 50			G S
D. Bustamante et Aleixandre 1998	Video Zeichnungen	14-17 Jahre 227 -Lerner	Z		S
Dreyfuß et Jungwirth 1988, 89	Fragebogen Interviews	15 Jahre 219 Lerner	Z		G S E
Prout 1985	Interviews	15 Jahre 54 Lerner			A
Simonneaux 2000	Interviews	10. Jg. 10 Lerner			G S E W A
Bahrenholz et Tamir 1987	Fragebogen	10.-12. Jg. 16 Klassen			W A
Flores 2003	Interviews Fragebogen	15-18 Jahre 50 Lerner	Z		E
Bayrhuber u. Stolte 1997	Interviews	11. Jg. 10 Lerner			S E W A
Hilge 1999	Interviews	11.-13 Jg. 10 Lerner			G S E W B K
Gayford 1986	Fragebogen Interviews	17-18 Jahre 296 Lerner	Z		
Brumby 1984	Fragebogen Interviews	Studenten 150			A
Helman 1978	Interviews	Erwachsene			EA

Tab. 5.1: Ausgewählte Merkmale der oben aufgeführten Veröffentlichungen. Innerhalb der auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Vorstellungen (s. Spalte „*Mikrobiologie*“) wird danach unterschieden, ob sich diese auf die Größe (G), die Struktur (S), die Ernährung (E), das Wachstum (W), die Beweglichkeit (B), auf Bakterienkolonien (K) oder Antibiotika (A) beziehen.

5.4 Publierte Befunde zu empirisch erhobenen Lernervorstellungen

5.4.1 Zur Größe der Bakterien

Nagy (1953): Jüngere Kinder zeichnen Keime meist als abstrakte Figuren, wobei unklar ist, welche Größenebene ihnen zugedacht wird. Ältere Kinder zeichnen Keime meist als kleine Tiere (z.B. Insekten, Würmer, Spinnen), sie stellen sie sich als Gegenstände des Makrokosmos vor.

Jones et al. (2003): Nach Aussage der Autoren haben 40% der befragten Schüler „keine Idee“, was „ein Nanometer ist“, womit gemeint sein dürfte, dass sie mit dem metrischen System der Einheiten nicht vertraut sind; diese Schüler sind zudem nicht in der Lage, Gegenstände zu benennen, deren Größe im Nanometer-Bereich liegt. Die übrigen Schüler können sich vorstellen, dass ein Nanometer einen Teil eines Meters ausmacht, wissen aber nicht, wie groß dieser Teil ist. Bei diesen Schülern können Vorstellungen erfasst werden, wonach Haut-Follikel, Zellen, Bakterien, aber auch DNA Abmessungen im Bereich von Nanometern aufweisen, einzelne Schüler ordnen sowohl DNA als auch Zellen Nanometergröße zu.

Dreyfus et Jungwirth (1988, 1989): Sehr kleine Mikroorganismen können kleiner als sehr große Protein-Moleküle gedacht werden.

Simonneaux (2000): Bakterien werden von allen Lernern als extrem klein vorgestellt, sie können nicht mit bloßem Auge, sondern nur mithilfe des Mikroskops erkannt werden. Die Lerner können keine Angaben zur realen Größe der Bakterien machen.

Hilge (1999): Bakterien werden von allen Lernern als sehr klein vorgestellt, sie können nicht mit bloßem Auge sondern nur unter dem Lichtmikroskop wahrgenommen werden (S. 270), ein Lerner denkt, Bakterien würden mit dem Elektronenmikroskop sichtbar gemacht. Kein Lerner macht Angaben zur realen Größe von Bakterien, Bakterien werden kleiner als Tiere und Pflanzen vorgestellt (S. 270).

5.4.2 Zur Struktur der Bakterien

Nagy (1953): Kinder kommen im Gespräch über Keime häufig auf Tierarten (z.B. Fliegen, Würmer, Flöhe, Spinnen, Ameisen, Raupen) zu sprechen. Weil einzelne Kinder dabei auch mehrere Tierarten nennen, schließt die Autorin, dass Kinder Keime zwar mit Tieren identifizieren, sie aber nicht für eine bestimmte Tierkategorie halten. Zeichnerisch werden Keime insbesondere von jüngeren Kindern entweder gar nicht oder in Form von abstrakten Figuren erfasst. In einigen Zeichnungen werden Keime in Gestalt dreckiger Orte repräsentiert, die Kinder sprechen von Staub, Dreck oder Gift. Bei älteren Kindern werden Keime häufiger als Insekten vorgestellt, der Begriff „bug“ wird sowohl auf Mikroben als auch auf Insekten angewendet, die eklig und kriechend vorgestellt werden. Für bemerkenswert hält die Autorin die Beobachtung, dass Keime insbesondere von jüngeren Kindern in Form von abstrakten Figuren erfasst werden, ältere Kinder hingegen Tiere zeichnen. Dies wird darauf zurückgeführt, dass jüngere Kinder über keine konkreten Vorstellungen zu Keimen verfügen, ältere Kinder hingegen Keime aufgrund ihrer erweiterten Erfahrungen mit Tieren identifizieren. Werden Keime abstrakt gezeichnet, besteht die Neigung, sie in identischer Form vielfach abzubilden; werden Keime als Tiere vorgestellt, handelt es sich meist um ein einzelnes Exemplar. Die Autorin nimmt an, dass die repetitive Darstellung von Keimen darauf zurückzuführen ist, dass der Begriff „Keim“ für diese Kinder ohne Bedeutung ist.

Leach, Driver, Scott, Wood-Robinson (1995, 1996): Jüngere Schüler assoziieren mit Keimen „Dreck“, „Boden“, Keime werden als etwas nicht lebendes angesehen. Andererseits können Keime aber auch als Insekten vorgestellt werden.

Zamora et Guerra (1993): Ein Schüler bezeichnet erdnussförmige Gebilde, die Mitochondrien sehr ähnlich sind, in der von ihm zeichnerisch erfassten Zelle als Bakterien.

Diaz de Bustamante et Aleixandre (1998): Bis auf wenige Ausnahmen werden Zellen zwei-dimensional und idealisiert dargestellt, Schüler und Lehramtskandidaten unterscheiden nicht nach pflanzlichen und tierlichen Zellen.

Dreyfus et Jungwirth (1988, 1989): Nach den Befunden der Autoren stellen sich Schüler nicht selten vor, dass einzellige Mikroorganismen einen vielzelligen Verdauungstrakt haben können, wobei kleine Zellen auch kleine Verdauungssysteme haben. Lerner stellen einzelne Zellen auch mit anderen Organen des Menschen, z.B. mit Lungen, aus.

Simonneaux (2000): Lerner unterscheiden nicht zwischen Bakterien und Viren, diese werden als Zellen vorgestellt, die einen Zellkern haben, der auch als „Herz“ bezeichnet wird. Bakterien besitzen Muskeln, die sie beweglich machen. Bakterien können als einzellige tierliche Lebewesen gedacht werden. Bakterien werden auch anhand ihres Inhalts charakterisiert, sie ernähren sich von Abfall, der sich nach der Nahrungsaufnahme in ihnen befindet; finden Bakterien keine Nahrung, können sie als leer vorgestellt werden. Mikroben können aus Staubteilchen zusammengesetzt gedacht werden.

Bayrhuber u. Stolte (1997): Schüler stellen sich Bakterien als lebendig vor, sie können als Tiere gedacht werden, werden aber auch z.B. mit Pantoffeltierchen, Amöben, Schimmelpilzen und Viren zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst. Stellen Lerner Bakterien zeichnerisch dar, stellen sie diese in der Regel mit einem Zellkern und anderen Organellen eukaryotischer Zellen aus.

Hilge (1999): Lerner können sich Bakterien mit ovaler, länglicher oder runder Form vorstellen (S. 270). Bakterien haben Anhänge, dabei kann es sich in der Vorstellung der Lerner um Geißeln (S. 144), Härchen (S. 196), Flimmerhärchen (S. 224) oder Schwimmflossen (S. 144) handeln. Bakterien werden als einzellige Lebewesen gedacht (S. 273), die als eigenständige Lebewesen vorgestellt werden (S. 273). Bakterien werden als eine Art Behälter gedacht, der mit Flüssigkeit angefüllt ist und auch feste Komponenten, z.B. einen Zellkern, enthalten kann (S. 275). Einige Lerner stellen sich Bakterien uniform vor, sie haben alle das gleiche Aussehen. Ein Teil der Lerner denkt die Gesamtheit aller Mikroorganismen strukturell uniform (S. 270). Aufgrund der von der Autorin identifizierten „Größen-Komplexitäts-Relation“ (S. 271), was man auch als kleiner = einfacher bezeichnen könnte, stellen sich Lerner die Struktur kleinerer Organismen im Vergleich zu großen weniger komplex vor. Werden Bakterien als verzweigte Tiere oder Insekten mit Organen versehen gedacht, können ihnen bestimmte Strukturen fehlen. Die Funktion von Organen kann bei Bakterien auch von molekularen Strukturen (z.B. Fühlermolekülen) übernommen werden (S. 272). Werden Bakterien mit eukaryotischen tierlichen oder pflanzlichen Zellen analogisiert, können sie nach Meinung der Lerner Zellkern, Mitochondrien, Vakuole, Geißeln (Flimmerhärchen), sowie Zellwand und Zellmembran aufweisen (S. 273). Lerner unterscheiden strukturell und funktionell meist nicht zwischen Zellwand und Zellmembran, die Termini sind für sie austauschbar. Aber auch Pilze und Bakterien können aufgrund ihres gleichartigen Aussehens analogisiert werden (S. 278).

5.4.3 Zur Ernährung der Bakterien

Nagy (1953): Kinder können sich vorstellen, dass Keime im Körper leben und essen.

Leach, Driver, Scott, Wood-Robinson (1995, 1996): Ein Teil der befragten Schüler stellt sich vor, dass verfaulende Äpfel von Mikroorganismen, Keimen, Bakterien, Zersetzern angegriffen oder gegessen werden. Stoffliche Aspekte des Abbauprozesses stellen für Schüler eine besondere Schwierigkeit dar, die meisten von ihnen sehen keine Notwendigkeit darin, zu erklären, was mit der Materie beim Zerfallen des Apfels geschieht, gleiches gilt für die Rolle, die Mikroben bei der Zersetzung spielen, Zersetzung wird als Schicksal aller Lebewesen aufgefasst. Lebewesen und ihre abiotische Umwelt werden unabhängig voneinander gedacht, die von den Schülern bei der Zersetzung eines Apfels miteinbezogenen physikalischen Faktoren (z.B. Feuchtigkeit, Temperatur) werden nicht auf mikrobielle oder enzymatische Aktivität bezogen. Bei Schülern, die sich im Unterricht mit mikrobiologischen Gegenständen beschäftigt haben, können die Autoren mehr Antworten erfassen, als bei Schülern, denen Mikroben nicht vom Unterricht her bekannt sind. Ersteren fällt es offensichtlich meist nicht schwer, unterrichtlich angeeignetes Wissen mit schon bestehenden Vorstellungen gedanklich zu verknüpfen.

Helldén (1999): Zum Abbauprozess organischen Materials (Falllaub) gibt der Schüler Oskar im Alter von 9 Jahren einfache kausale Erklärungen, in erster Linie „verschwinden“ Blätter im Boden oder im Schnee oder, weil sie in die Luft fliegen oder wegmodern. Unter Vermo- dern oder Verrotten lassen sich bis zum Alter von 13 Jahren weitere Konzepte subsumieren, beispielsweise, dass Tiere Falllaub essen und zur Vermoderung und Bodenbildung beitragen. Im Alter von 15 Jahren fasst Oskar den Abbau organischen Materials als Prozess auf, in den verschiedene Organismen eingebunden sind. Altersunabhängig verfügt Oskar über die Vorstellung, dass das zersetzte organische Material als Boden erhalten bleibt, im Alter zwischen 11-13 Jahren denkt er, dass der Planet Erde durch den jährlichen Laubfall mit der Zeit anwächst, mit 15 Jahren sucht er sehr angestrengt nach Gründen, warum dies nicht der Fall ist.

Riemeier (2005): Schüler stellen sich vor, dass Einzeller Nahrung wie der Mensch aufnehmen und verdauen können (S. 230).

Dreyfus et Jungwirth (1988, 1989): Mikroorganismen können nur in einem Medium, das aus vorverdauter Nahrung besteht, überleben.

Simonneaux (2000): Bakterien ernähren sich von Abfall, sie zersetzen (zerstören) organische Substanz, die Nahrungsaufnahme kann als Essen gedacht werden. Bakterien sind auch im Verdauungstrakt zu finden und haben einen positiven Effekt für die Ernährung des Menschen, sie verbessern den Nährwert der Nahrung, indem sie Kalorien und Vitamine bereitstellen. Bakterien können auch eine Funktion bei der Verdauung haben, zum einen nehmen sie das auf, was der Mensch nicht aufnimmt (eliminieren alles, was vom Menschen nicht ausgeschieden wird), zum anderen helfen sie dabei, organische Substanz zu zerkleinern, in diesem Zusammenhang können Bakterien auch als Enzyme (Amylase) gedacht werden.

Flores (2003): 15% der befragten Lerner denken, dass einzellige Organismen nicht die gleiche Art der Respiration wie vielzellige aufweisen, wobei Respiration als Gasaustausch vorgestellt wird, aerob sind nur Landorganismen (10%), einzellige Organismen sind anaerob, weil sie einfach sind (15%).

Bayrhuber u. Stolte (1997): Bakterien in den Verdauungsorganen denken Lerner eine Nützlichkeit zu, sie sind an der Verdauung beteiligt; nützlich sind Bakterien auch beim Abbau und der Zersetzung (Kompostierung) organischer Substanz. Die Autoren nehmen an, dass Lerner Bakterien im Darm und im Boden aufgrund ihrer Funktion als Zersetzer analogisieren.

Hilge (1999): Abgestorbenes organisches Material kann nach Lernermeinung unverändert bestehen bleiben (S. 280). Mit der Zeit kann organisches Material aber auch verschwinden (S. 280), dann gehen Wasser, Gase, Dämpfe, Bestandteile verloren oder der molekulare Zusammenhalt, das Material zerfällt, wird kleiner oder morsch (S. 281). Veränderungen können aber auch von außen verursacht werden (S. 280), Licht, Wärme oder Luft können Stoffe verändern (S. 284). Bakterien können als Mitwirkende oder Verursacher der Zersetzung oder Zerkleinerung organischen Materials gedacht werden (S. 289), sie sind aufgrund ihrer Größe nicht in der Lage, riesige Stücke aufzunehmen, dafür sind größere Organismen zuständig, erst die sehr kleinen Stücke werden von Bakterien zersetzt. Bakterien brauchen Nahrung als Energiequelle und als Bausteine (S. 274). Nahrung wird von Bakterien aufgenommen, damit sie sich verbreiten können, sie dehnen sich in alle Richtungen aus, Bakterien verwenden Moleküle anderer Organismen, die sie für ihren eigenen Aufbau brauchen (S. 274). Andererseits erhalten Bakterien aus der Nahrung Energie, die sie brauchen, um ihre Lebensprozesse fortzusetzen. Bakterien produzieren Säuren und geben sie nach außen ab, um damit Stoffe anzugreifen und zu zerlegen (S. 275). Bakterien können zum einen als Phagozyten gedacht werden, sie umschließen ein winziges Stück Nahrung, nehmen es in sich auf und scheiden es wieder aus (S. 275). Zum anderen werden Bakterien personifiziert, sie essen, indem sie den Mund aufmachen, mithilfe von Zangen Nahrungsstücke in den Mund befördern, die dann verschluckt und im Magen verdaut werden, nicht benötigte Stoffe werden ausgeschieden (S. 271, 275). Bakterien können Zellflüssigkeit auch aus anderen Zellen herausaugen, sie lassen lediglich den Behälter der ausgesaugten Zelle übrig (S. 276). Aufgrund der von der Autorin identifizierten „Größen-Komplexitäts-Relation“ (man könnte diesen Sachverhalt auch als klein=einfach bezeichnen) wird der bakterielle Stoffwechsel minimiert vorgestellt (S. 271), Bakterien bringen aufgrund dessen auch nur einfachste Stoffwechselprodukte hervor. Bakterien können auch als in den Stoffwechsel mehrzelliger Organismen eingebunden vorgestellt werden (S. 274), sie sind dann z.B. an der Verdauung beteiligt.

Helman (1978): Ein Teil der von der Autorin befragten Personen verfügt über die Vorstellung, dass ein fieberiger Patient durch Fasten die das Fieber verursachenden Keime, die als Lebewesen gedacht werden, aushungern kann; die Keime sterben dadurch ab oder verlassen den Körper.

5.4.4 Zur Beweglichkeit der Bakterien

Nagy (1953): Ältere Kinder stellen sich vor, dass Keime über den Mund, die Nase und die Haut in den Körper gelangen. Die meisten Kinder denken, dass Keime beim Essen passiv in den Körper gelangen, ein kleinerer Teil, dass dies beim Einatmen geschieht. Keime können den Körper passiv beim Husten, Erbrechen, über die Nase beim Ausatmen oder ausschnupfen oder über den Anus verlassen. Innerhalb des Körpers können Keime aktiv umhergehen (walking).

Hilge (1999): Bakterien können laufen oder schwimmen, dazu haben sie Geißeln (S. 144), Härchen (S. 196), Flimmerhärchen (S. 224), schwanzartige Fortsätze (S. 249), Schwimmflossen (S. 144), oder sie bewegen sich durch Zusammenziehen und Wieder-Auswölben vorwärts (S. 211). Anne, die offensichtlich lebendige Bakterien beobachtet hat, verfügt über die

Vorstellung, dass Bakterien flitzen (S. 144), sie stuft ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit also als hoch ein. Unter dem Mikroskop sind Bakterien deswegen schlecht wahrzunehmen. Durch interne Faktoren werden Bakterien an für sie geeignete Stellen geführt (S. 277). Bakterien können nicht denken (S. 185), sie suchen nicht intelligent nach Substanzen (S. 185), durch einen Instinkt wissen sie, wo sie hin müssen (S. 224). Bakterien können Geruchsorgane haben (S. 197), durch die sie die Richtung wissen, oder finden sich mithilfe von Fühlermolekülen zurecht (S. 222). Bakterien können wie ein Magnet angezogen werden (S. 237), kleinste Bestandteile (Atome) z.B. einer Bananenschale ziehen sie an. Einzelne Bakterien können aufgrund ihrer geringen Größe keine Richtung einschlagen (S. 197), sind Bakterien im Schwarm zusammen, schwirren sie herum (S. 249), ist aber Nahrung vorhanden, kommen immer mehr Bakterien. Wird Bakterien keine Eigenbeweglichkeit zugedacht, werden sie von Insekten herumgeschleppt (S. 212), von Flüssigkeiten (Blut) (S. 224), Flimmerhärchen (S. 224) bewegt oder fliegen durch die Luft (S. 237). Werden Bakterien mit Pflanzen analogisiert, werden sie als stillstehend vorgestellt (S. 278).

5.4.5 Zum Wachstum der Bakterien

Nagy (1953): Kinder können sich vorstellen, dass Keime im Körper leben und sich vermehren (breeding).

Simonneaux (2000): Lerner stellen sich die Teilung von Bakterien als schnellen Prozess vor, die Schätzungen reichen von zwei Teilungen innerhalb einer zehntel Sekunde bis zu 1000 Teilungen innerhalb eines Tages. Zwar wurden diese Angaben im thematischen Zusammenhang mit Viren erhoben, die Autorin stellt aber fest, dass Termini wie Viren, Bakterien, Pilze von Lernern wahllos verwendet werden und gegeneinander frei austauschbar zu sein scheinen.

Barenholz et Tamir (1987): Viele der untersuchten Lerner wissen nicht, welche Bedeutung Kohlenstoff, Stickstoff oder Wasser für das Wachstum von Bakterien haben.

Bayrhuber u. Stolte (1997): Die befragten Schüler verfügen über die Vorstellung sich schnell vermehrender Bakterien, einige sprechen von exponentieller Vermehrung. Die Autoren nehmen an, dass sich Schüler die tatsächliche Geschwindigkeit des Vorgangs (gemeint ist: die bakterielle Vermehrung) „nicht recht vorstellen“ können.

Hilge (1999): Bakterien sind vermehrungsfreudig, sie wollen sich immer vermehren und tun dies auch, wenn sie sich wohlfühlen (S. 277). Bakterien können sich vermehren, indem sie sich durch irgendwelche Stoffe neu zusammensetzen (S. 273), oder durch Teilung, zunächst hat man zwei, dann immer mehr Bakterien (S. 277). Werden Bakterien mit Pflanzen analogisiert, werden sie stillstehend und wie Pflanzen wachsend vorgestellt (S. 278).

5.4.6 Zu Antibiotika

Prout (1985): 38% der befragten Schüler sind sich dessen bewusst, dass Medikamente, die bei Schnupfen genommen werden, die Krankheit nicht heilen, wobei aber 53% der Lerner im Unklaren darüber sind, worin der Unterschied zwischen einer Heilung und einer Linderung der Symptome besteht. Über den Inhalt der Erkältungsmedikamente wissen die Lerner so gut wie nichts, außer dass darin Chemikalien enthalten sind, die Keime töten. In diesem Zusammenhang wissen die meisten Schüler (77%), dass Antibiotika Arzneimittel sind, die zur Be-

handlung von Infektionen eingesetzt werden, kein Lerner verfügt aber über Wissen dazu, dass ihre Wirkung auf Bakterien beschränkt ist. 21% der Lerner sind nicht in der Lage zu sagen, „was ein Antibiotikum ist“. Die Einnahme von Antibiotika wird mit ernsthaften Erkrankungen assoziiert, die Verschreibungspflichtigkeit zeige die besondere Stärke von Antibiotika an. Diese Vorstellung – und nicht bereichsspezifisches Wissen zum Unterschied zwischen Viren und Bakterien – liegt auch der Annahme zugrunde, dass Antibiotika vergeudet werden, wenn sie gegen alltägliche Erkrankungen wie Schnupfen eingenommen werden.

Simonneaux (2000): Bakterien können Hautzellen angreifen, dazu verwenden sie ein Gift, das sie freisetzen, wenn sie Kontakt mit den Zellen haben. Im menschlichen Körper werden Bakterien durch Säure abgetötet, Bakterien, die davon nicht abgetötet werden, sind harmlos. Aber auch ein Bakterium als Ganzes kann als Gift vorgestellt werden, die bakteriziden Bakterien werden als Gegenteil derjenigen Bakterien gedacht, die sie eliminieren. Bakterien können durch Herbizide abgetötet werden, sie werden als eine Art Unkraut vorgestellt.

Barenholz et Tamir (1987): 3% aller befragten Lerner sind in der Lage, eine aus fachlicher Sicht richtige Definition zum Begriff „Antibiotikum“ zu formulieren. Die aus Sicht der Autoren am stärksten verbreiteten Fehlvorstellungen lauten, „Antibiotika helfen Antikörpern Bakterien zu bekämpfen“, oder „Antibiotika verbinden sich mit Antikörpern und verhalten sich auch wie diese“. In diesem Zusammenhang weisen die Autoren ausdrücklich darauf hin, dass die Begriffe „Antibiotikum“ und „Antikörper“ in der hebräischen Sprache – anders als im Englischen – sehr unterschiedlich sind und eine Verwechslung auf der sprachlichen Ebene ausgeschlossen werden kann. Zur Frage der Antibiotika-Resistenz und ihrer medizinischen Bedeutung geben 19% der Lerner eine richtige Antwort, 31% der Lerner denken, dass „Bakterien Antikörper gegen Antibiotika bilden“ (nach dem Durchlaufen eines Lernprogramms sind immerhin noch 27% der Lerner dieser Meinung), 24% der Lerner denken, dass „der menschliche Körper eine Resistenz gegen Antibiotika entwickelt“. Die Autoren bezeichnen die Lernervorstellungen zu Antibiotika als Fehlvorstellungen, die intuitiver Natur und weit verbreitet seien. Aufgrund ihrer Erfahrungen mit einem durchgeführten Lernprogramm gehen die Autoren davon aus, dass die den Fehlvorstellungen zugrunde liegenden Verständnisprobleme nur schwer zu verändern seien.

Bayrhuber u. Stolte (1997): Die Autoren sind der Meinung, dass Lernern die antibakterielle Wirkung von Antibiotika bekannt sei. Jedoch bezieht ein Teil der Lerner den Begriff „Resistenz“ im Zusammenhang mit Antibiotika auf den menschlichen Körper, in dem Sinne, dass letzterer der Wirkung des Antibiotikums widersteht.

Brumby (1984): Nur ein kleiner Teil der Studenten versteht die in den menschlichen Körper eingedrungene Bakterien als Angriffziel einer Behandlung mit einem Antibiotikum und kann dessen selektive Wirkung auf die Bakterienpopulation richtig erklären. Die Hälfte der Befragten stellt sich den menschlichen Körper als primäres Ziel eines Antibiotikums vor, die diesbezüglichen Erklärungen enthalten einige aus immunbiologischer Sicht falsche Konzepte: Der menschliche Körper werde schnell immun gegen Antibiotika, so dass diese bei ernsthaften Erkrankungen nicht mehr wirken, der Körper baue eine Resistenz gegen die heilsamen Eigenschaften des Penicillins auf, der Stoffwechsel eines Patienten werde tolerant gegenüber dem Antibiotikum. Zudem verwechseln die Studenten Antibiotika und Antikörper, der Körper gewöhne sich an das Antibiotikum, so dass es nicht mehr körperfremd sei, der Körper stelle dann die Produktion von Antibiotika ein. Ein Drittel der Befragten stellt sich Bakterien als Ziel eines Antibiotikums vor, allerdings denken diese Lerner auch, dass die Toleranz der Antikörper zunimmt, indem sie sich selber an das Antibiotikum anpassen. Ein übermäßiger Gebrauch von Antibiotika führe daher zum Verlust ihrer Wirksamkeit, so dass sie im Krank-

heitsfälle nicht mehr wirksam seien. Mehrere Studenten sind der Meinung, dass Viren Ziel eines Antibiotikums seien, dass Viren Linien bilden würden, an denen das Antibiotikum abprallt, so dass mehr und mehr Antibiotikum benötigt wird, um sie abzutöten. Viren können dieser Idee nach auch vollständig resistent gegenüber allen Antibiotika werden.

Helman (1978): Patienten stellen sich Antibiotika als Mittel vor, die „Keime töten“, die mit anderen Mitteln nicht ausgetrieben, ausgehungert oder anders eliminiert werden können. Patienten unterscheiden nicht nach bakteriellen Infektionen, bei denen Antibiotika Wirkung haben, und viralen Infektionen, bei denen sie unwirksam sind. Der Meinung der Autorin nach unterscheiden auch viele Ärzte in der Praxis nicht danach und verschreiben Antibiotika bei viralen Infektionen. Die Autorin ist der Meinung, dass die Verschreibungspraxis die Patientenvorstellung stützt, dass Keime eine homogene Gruppe darstellen und jede Art von Fieber eine Therapie mit Antibiotika erforderlich mache. Patienten denken Antibiotika als Kraft, die in den Körper eingeführt wird und die dort Keime bekämpft und tötet, der Körper wird dabei als Schlachtfeld gedacht.

5.4.7 Zu Bakterienkolonien

Hilge (1999): Bakterien sammeln sich an, ständig kommen weitere hinzu (S. 273). Bakterien müssen sich zusammenfinden, damit sie als Kolonie zusammen sind. Bakterien haften ohne ein bestimmtes Prinzip irgendwie aneinander, sie sind im Gegensatz zu zellulären Geweben völlig ungeordnet (S. 279). Auf Nährböden bilden Bakterien Kolonien (Bakterienkulturen), Bakterienkolonien können etagenförmig gedacht werden, Bakterien lagern sich in mehreren Etagen übereinander (kreuz und quer), die Kolonie wächst in die Höhe, allerdings ist der Zusammenhalt der Bakterien nicht so fest wie bei Pilzen (S. 279). Lerner können denken, dass sich Bakterien ansammeln und einen Pilz bilden (S. 278). Kolonien entwickeln sich und wachsen wie Pflanzen (S. 278).

5.5 Zusammenfassung der Literaturbefunde

Die in der Literatur aufgefundenen, empirisch erhobenen Lernervorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen werden in diesem Kapitel auf der Ebene der Konzepte zusammengefasst. Konzeptnamen werden übernommen, weitere hinzugefügt. Den gesammelten Konzepten vorangestellt werden einige diagnostische Bemerkungen bezüglich des mikrobiologischen Verständnisses der Lerner.

Fehlende Erfahrungen

Jüngeren und auch älteren Lernern sind evidenzbasierte Vorstellungen von biologischen Gegenständen der mikroskopischen und der submikroskopischen Größenebene nicht verfügbar.

Fehlendes bereichsspezifisches Wissen

Bereichsspezifisches Wissen zum metrischen System der Einheiten ist Lernern nicht verfügbar. Die Einheiten Millimeter, Mikrometer und Nanometer können nicht ineinander umgerechnet werden, Größenordnungen im Mikrokosmos und Submikrokosmos haben die allermeisten Lerner nicht aufgebaut.

Darstellungsschwierigkeiten

Dass Kinder vom Grundschulalter bis in die Sekundarstufe Schwierigkeiten haben, sich unter Bakterien oder Zellen etwas Konkretes vorzustellen, zeigt sich schon daran, dass ein relativ

großer Anteil von ihnen überhaupt keine Zeichnung dazu anfertigt, oder aber sehr abstrakte geometrische Gebilde zeichnet. Ältere Schüler stellen Zellen zwar zeichnerisch dar, es handelt sich meist um ineinander geschachtelte Kreise oder Ovale, ohne organellenspezifische Form.

Verständnisschwierigkeiten

Lerner haben unabhängig vom Ausbildungsstand und Alter große Schwierigkeiten zu verstehen, welche Rolle Nährstoffe im Energie- und Baustoffwechsel von Lebewesen spielen. Jüngere Schüler denken z.B., dass die Zellen des Menschen genau dasjenige benötigen, was der Mensch isst. Zellen benötigen Nahrung zum Leben, um stark zu sein, um sich zu vervielfältigen. Zudem können sie sich vorstellen, dass ein Teil der Nahrung an bestimmten Stellen des menschlichen Körpers in Zellen umgewandelt wird. Der Abbau organischen Materials kann als Verschwinden oder Vermodern vorgestellt werden, mit fortschreitendem Alter und Ausbildungsstand kann der Abbau organischen Materials als Prozess gedacht werden, an dem verschiedene Organismen beteiligt sind. Dabei bleiben die Rolle, die Mikroben beim Abbau spielen, und auch der Verbleib des organischen Materials aber im Unklaren.

Kinder denken die Einverleibung von Nahrung als ausreichende Bedingung für das Wachstum ihres Körpers. Schüler stellen sich vor, dass ihre Zellen wachsen, wenn ihr Körper wächst. Selbst ältere Schüler haben große Schwierigkeiten zu verstehen, auf welchen biochemischen Prozessen biologisches Wachstum beruht, z.B. kann die Rolle, die Kohlenstoff oder Stickstoff beim bakteriellen Wachstum spielen, nicht benannt werden. Biologisches Wachstum wird als Vorgang gedacht, der einfach stattfindet.

Dass Lerner Schwierigkeiten haben, das Konzept, das hinter dem Begriff "Antibiotikum" steht, zu verstehen, zeigt sich schon daran, dass Antibiotika und Antikörper von vielen Schülern miteinander verwechselt werden, die diesbezüglichen Termini sind austauschbar. Unklar sind oft auch die mikrobiologischen Gegenstände, gegen die Antibiotika gerichtet sind, dabei kann es sich nach Meinung vieler Schüler neben Bakterien auch um Viren handeln. Ein großer Teil der Lerner denkt, dass der menschliche Körper, sein Stoffwechsel, aber auch Viren gegenüber Antibiotika resistent werden können. Eine Minderheit denkt, dass Bakterien Angriffsziel der Antibiotika sind.

Bakteriengröße

- *Unklar kleine Bakterien:* Bakterien können mit bloßem Auge nicht wahrgenommen werden, weil sie so klein sind. Bakterien, Viren, Hautfollikeln oder Molekülen werden die gleichen Abmessungen zugewiesen; nicht sichtbare biologische Gegenstände können frei der mikroskopischen oder submikroskopischen Organisationsebene zugeordnet werden. Sehr kleine Mikroben können die Größe von sehr großen Proteinmolekülen aufweisen, Zellen die Größe von Atomen besitzen.
- *Mikroskopische Bakterien:* Bakterien können nur mithilfe eines Mikroskops wahrgenommen werden.
- *Tierlein:* Jüngere Schüler denken Keime als kleine Tiere (z.B. Insekten), über deren Größe ist nicht mehr ausgesagt, als dass sie klein sind.

Bakterienstruktur

- *Uniforme Bakterien:* Lerner stellen sich Bakterien (Mikroorganismen) uniform vor, sie weisen alle eine gleichförmige Struktur auf.

- *Einfachere Bakterienstruktur*: Werden Bakterien als verzweigte Tiere oder Insekten mit Organen versehen gedacht, können ihnen bestimmte Strukturen fehlen. Bei Bakterien können auch Moleküle die Funktion von Organen ausüben.
- *Einzellige Bakterien*: Bakterien können aus einer Zelle bestehen, die als eigenständiges Lebewesen vorgestellt werden kann. Lerner können sich Bakterien als tierliche oder pflanzliche Zellen vorstellen, sie stellen sie mit Organellen eukaryotischer Zellen aus.
- *Bakterien als Behälter*: Bakterien können als eine Art Behälter gedacht werden, der mit Flüssigkeit angefüllt ist und auch feste Komponenten, z.B. einen Zellkern, enthalten kann. Lerner unterscheiden strukturell und funktionell meist nicht zwischen Zellwand und Zellmembran, die Termini sind austauschbar. Lerner können Bakterien anhand ihres Inhalts charakterisieren, diese ernähren sich von Abfall, der sich nach der Nahrungsaufnahme in ihnen befindet. Finden Bakterien keine Nahrung, können sie als leer vorgestellt werden.
- *Bakterien als Zellbestandteile*: Zeichnerisch erfasste Zellen können erdnussförmige Komponenten, die an Mitochondrien erinnern, enthalten, die als Bakterien ausgewiesen werden.
- *Zusammengesetzte Bakterien*: Bakterien können sich vermehren, indem sie sich durch Stoffe (Staub) neu zusammensetzen.
- *Anhänge*: Bakterien können mit Anhängen zur Fortbewegung (z.B. Geißel, Härchen, Flimmerhärchen, Flossen) ausgestattet werden.
- *Tierlein*: Bakterien (Keime) werden als kleine Tiere (z.B. Insekten, Spinnen, Würmer) gedacht. Sie können Organe aufweisen (z.B. Verdauungstrakt, Muskeln, Lunge, Flossen), die ihnen das Ausüben tierlicher Funktionen ermöglichen. Bakterien werden auch mit Sinnesorganen ausgestattet, sie besitzen einen Geruchssinn oder weisen Moleküle zum Tasten (Fühlen) auf.
- *Sessile Bakterien*: Bakterien werden stillstehend als Pflanzen vorgestellt. Pflanzliche Bakterien können mithilfe von Herbiziden abgetötet werden.
- *Schmuddel*: Kinder können mit Keimen Staub, Dreck, Boden assoziieren, Keime werden als unbelebt vorgestellt. Schüler können Mikroben als eine Art Staubteilchen denken.

Bakterienernährung

- *Bakterien benötigen Nahrung*: Bakterien brauchen Nahrung als Energiequelle, um ihre Lebensprozesse fortzusetzen, und als Baustein, um sich in alle Richtungen auszudehnen. Als Nahrung dient Bakterien die Flüssigkeit anderer Zellen, Moleküle anderer Organismen, Äpfel, Abfall; im Darm des Menschen dasjenige, was der Mensch nicht aufnimmt. Keime, die beim Menschen Fieber verursachen, können durch Fasten ausgehungert werden, sie sterben dann entweder ab oder verlassen den Körper wieder.
- *Minimaler Stoffwechsel*: Da Bakterien als klein und gleichzeitig strukturell einfach vorgestellt werden, werden Bakterien auch funktional einfach gedacht, sie bringen aufgrund dessen nur einfachste Stoffwechselprodukte hervor.
- *Einfacher Energiestoffwechsel*: Einzellige benötigen im Gegensatz zu Vielzelligen keinen Sauerstoff, weil sie einfacher sind.
- *Bakterien Verdauen*: Bakterien produzieren Säuren und geben sie nach außen ab, um damit Stoffe anzugreifen und zu zerlegen. Einzeller nehmen Nahrung wie der Mensch auf und verdauen sie auch wie er. Bakterien helfen dabei, organische Substanz zu zerkleinern, in diesem Zusammenhang können Bakterien auch als Enzyme (Amylase) gedacht werden.

- *Vorverdaute Nahrung*: Einzellige Organismen können nur in einem Medium überleben, das aus vorverdauter Nahrung besteht.
- *Einverleiben*: Bakterien können Nahrung wie Phagozyten umschließen, in sich aufnehmen und auch wieder ausscheiden.
- *Tierliche Ernährung*: Bakterien essen Nahrung wie der Mensch, machen den Mund auf, befördern Nahrungsstücke hinein, verschlucken diese, verdauen sie in ihrem Magen und scheiden auch aus.
- *Nützliche Bakterien*: Im Verdauungstrakt des Menschen verbessern Bakterien den Wert der Nahrung, indem sie Kalorien und Vitamine bereitstellen. Bakterien können auch alles eliminieren, was nicht ausgeschieden wird oder sie helfen bei der Zerkleinerung des organischen Materials, in diesem Zusammenhang können Bakterien als Enzyme gedacht werden.

Bakterienbeweglichkeit

- *Zielgerichtete Bakterien*: Bakterien besitzen die Fähigkeit zur zielgerichteten Fortbewegung (sie laufen, schwimmen oder kriechen, gehen umher). Bakterien besitzen entweder Sinnesorgane, mit denen sie riechend oder tastend an ihr Ziel kommen, oder ein Instinkt (interne Faktoren) führt sie an geeignete Stellen.
- *Mikroschnelle Bakterien*: Bakterien bewegen sich unter dem Mikroskop schnell, sie flitzen.
- *Bewegte Bakterien*: Wird Bakterien keine Beweglichkeit zugeordnet, werden sie als passiv durch Luft (Flüssigkeiten) bewegt vorgestellt. Kinder können denken, dass Keime beim Essen oder Atmen passiv in den Körper gelangen.

Bakterienwachstum

- *Vermehrungsfreudige Bakterien*: Die bakterielle Vermehrung wird als schneller Vorgang vorgestellt. Bakterien vermehren sich durch Teilung, erst hat man zwei, dann immer mehr Bakterien. Bakterien können sich vermehren, indem sie sich durch Stoffe neu zusammensetzen.
- *Bakterien als Person*: Bakterien wollen sich immer vermehren, wenn sie sich wohl fühlen.

Antibiotika

- *Kämpfende Antibiotika*: Antibiotika bekämpfen Bakterien (Keime).
- *Antibiotika als Herbizide*: Bakterien können mithilfe von Herbiziden abgetötet werden. Bakterien werden als schädlich vorgestellt.

Bakterienkolonien

- *Versammlung*: Bakterien sammeln sich an und bilden Kolonien.
- *Unspezifisch haftende Bakterien*: Bakterien haften irgendwie aneinander. Auf Nährböden bilden Bakterien Kolonien, sie lagern übereinander, wachsen in die Höhe und bilden Etagen, ihr Zusammenhalt ist nicht fest.
- *Pflanzliche Kolonien*: Bakterienkolonien entwickeln sich und wachsen wie Pflanzen, sie werden sessil vorgestellt.
- *Pilzliche Kolonien*: Bakterien sammeln sich an und können einen Pilz bilden.

5.6 Reinterpretation der Befunde zu Lernervorstellungen von Bakterien

Die versammelten Befunde zu Lernervorstellungen von Bakterien werden in Anlehnung an Gropengießer (2003, S. 35) vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens reinterpretiert. Dabei werden die gewonnen Erkenntnisse mit den Interpretationen der jeweiligen Autoren verglichen und diskutiert. Zwischen den Lernerkonzepten aus unterschiedlichen Literaturquellen werden neue Sinnzusammenhänge gestiftet, die es ermöglichen, die Konzepte zu Denkfiguren zusammenzufassen (s. Tab. 5.2).

Zu dem, was Biologen meinen, wenn sie von Bakterien und bakteriellen Prozessen sprechen, gibt es kaum lebensweltliche Erfahrungen. Unser Körper wird zwar von einer großen Zahl von Bakterien, z.B. in Mund und Darm, besiedelt, selbst in unseren Zellen sind Spuren symbiontischer Bakterien zu finden, Bakterien befinden sich zudem in großer Zahl in unserer unmittelbaren Umgebung: Auf stehendem Wasser können Bakterienfilme gefunden werden, mit einem Teil der in unserer Umgebung vorhandenen Bakterienarten haben wir Kontakt gehabt, z.B. wenn ein Joghurt gegessen wurde. Ein kleiner Teil unserer Kontakte mit Bakterien hat zu Infektionen geführt, wir sind krank geworden. Diese Erlebnisse mit unserer Wahrnehmung von und Bewegung in unserer sozialen und physischen Umgebung sind aber nicht vorstellungsbildend in Bezug auf Bakterien, weil diese nicht wahrgenommen werden können. Zudem können die meisten Schüler nicht über unterrichtlich vermitteltes mikrobiologisches Wissen verfügen. Aufgrunddessen kann in den Literaturbefunden bei den meisten Lernern kein lebensweltliches oder wissenschaftsorientiertes Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen erfasst werden. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens greifen Lerner auf bereits bestehende und aus ihrer Sicht passend erscheinende Vorstellungen zurück, der Mikrokosmos wird metaphorisch verstanden und nach einem Ursprungsbereich kartiert.

Kleine Bakterien

Allen erfassten diesbezüglichen empirischen Befunden kann entnommen werden, dass es Lernern schwerfällt, die Größe von mikroskopischen und submikroskopischen Gegenständen zu unterscheiden. Bakterien, Viren, Hautfollikel oder Moleküle werden der gleichen Größenebene zugeordnet. Lerner können die genannten Gegenstände nicht mit bloßem Auge wahrnehmen, sie werden aus diesem Grund zunächst einmal als klein vorgestellt, weil sie im Unterschied zu makroskopischen Gegenständen nicht wahrgenommen werden können. Vorausgesetzt werden darf, dass insbesondere ältere Schüler im Unterricht instrumentelle oder mediale Erfahrungen mit mikroskopisch vergrößerten Zellen gemacht haben. Da Bakterien als Zellen vorgestellt werden, können sie aufgrund der Erfahrungen älterer Schüler mikroskopisch klein gedacht werden. Darauf verweisen auch die Befunde von Nagy (1953): Kinder, die keine Erfahrung mit dem Mikroskop haben, stellen sich Keime oft als verzweigte Tiere vor, nie aber mikroskopisch klein. Die Untersuchungen von Hilge (1999), Jones et al. (2003), Simonneaux (2000) und Riemeier (2005) belegen, dass Lerner zur realen Größe von Bakterien und Zellen keine Angaben machen können. Lerner machen unterrichtlich Erfahrungen mit Gegenständen des Mikrokosmos ohne dabei die Einheiten des metrischen Systems zu verwenden. In den in diesen Erfahrungen gründenden Vorstellungen werden Bakterien unklar klein gedacht. Die von Jones et al. (2003) befragten Lerner können die Einheiten Mikrometer und Nanometer zudem nicht ineinander umrechnen, aufgrunddessen ist es Lernern natürlich auch nicht möglich, die Größenordnungen von Zellen und Molekülen mithilfe der Einheiten des metrischen Systems aufeinanderzubeziehen.

Dreyfus et Jungwirth (1988, 1989) führen die aus ihrer Sicht fachlich nicht akzeptable Lernervorstellung, dass sehr große Moleküle größer als sehr kleine Mikroorganismen sein kön-

nen, auf die sorglose Verwendung von bekannten Wörtern anstelle der Fachtermini zurück. Möglicherweise gehen diese Lernervorstellungen aber auf unterrichtliche Vermittlung zurück. Um den beträchtlichen Verpackungsgrad bei der Kondensation des genetischen Materials zu mikroskopisch wahrnehmbaren Chromosomen zu veranschaulichen, wird die Länge der DNA-Moleküle im Zusammenhang mit der Mitose oder Meiose eukaryotischer Zellen mit bis zu 97 Zentimetern angegeben (s.a. Kap. 9.3), sie werden dann aber als Gegenstände des Makrokosmos gedacht. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens tritt als weitere Erklärung für den von den Autoren erfassten Sachverhalt das Erfahrungsdefizit von Lernern hinzu, das es ihnen sehr schwer macht, Größenordnungen zu Gegenständen der mikroskopischen und submikroskopischen Ebenen aufzubauen. Die Vorstellung *Sorglose Verwendung* träge nur dann zu, wenn die befragten Lerner über bereichsspezifisches Wissen zu den Einheiten des metrischen Systems (Mikrometer, Nanometer) tatsächlich verfügten und zudem auch auf biologische Gegenstände der mikroskopischen und submikroskopischen Größenebene anzuwenden wüssten. Worin die von Dreyfus et Jungwirth erfassten Größenvorstellungen der befragten Lerner gründen kann aufgrund unzureichender Angaben zu den unterrichtlichen Voraussetzungen nicht gesagt werden.

Schnelle Bakterien

Hilge (1999) erfasst eine Lernervorstellung, nach der die Fortbewegungsgeschwindigkeit von Bakterien als sehr hoch eingestuft wird, Bakterien „flitzen“. Da die unterrichtlichen Voraussetzungen der von der Autorin befragten Lerner unklar sind, kann nicht entschieden werden, ob die Vorstellung des befragten Schülers in unterrichtlichen Erfahrungen mit dem Mikroskopieren von Bakterien oder in medialen Erfahrungen gründet. Um Bakterien beobachten zu können, müssen sie relativ stark vergrößert werden. Werden die in mikroskopischen Erfahrungen gründenden Vorstellungen von Bakterien nicht zugleich gedanklich auch mit Vorstellungen von deren realer Größe in den Einheiten des metrischen Systems verknüpft, können Lerner die Bewegungsgeschwindigkeit mikroskopisch kleiner biologischer Gegenstände nicht richtig einschätzen. Weil Bakterien bei starker Vergrößerung sehr schnell wieder aus dem mikroskopischen Gesichtsfeld verschwinden, werden sie als schnell vorgestellt. Dabei übertragen Lerner verkörperte Vorstellungen von Geschwindigkeit auf Bakterien, die in Erfahrungen mit bewegten Gegenständen des Makrokosmos gründen. Da aber die von Bakterien real zurückgelegte Strecke nicht abgeschätzt werden kann, kann auch ihre reale Geschwindigkeit nicht abgeschätzt und deswegen auch nicht in Bezug zu den vertrauten Geschwindigkeiten makrokosmischer bewegter Gegenstände gesetzt werden. Aus diesen Gründen ist auch damit zu rechnen, dass die bakterielle Geschwindigkeit bei niedrigerer lichtmikroskopischer Vergrößerung als weniger hoch gedacht wird als bei höherer Vergrößerung, weil Bakterien im ersten Fall nicht so schnell wieder aus dem Gesichtsfeld verschwinden.

Bakterien als Behälter

Bakterien können als eine Art Behälter gedacht werden, der neben Flüssigkeit auch partikuläres Material (Zellkern) enthalten kann. Bakterien können andere Zellen aussaugen, lassen deren Wandung aber übrig (Hilge 1999). Die Vorstellung von Zellen als Behälter wird auch von Riemeier (2005) erfasst, Lerner stellen sich Zellen als Behälter vor, der durch eine Zellwand begrenzt ist. Der Behälter kann Zellbestandteile enthalten. Die Autorin führt diese Vorstellung nach Johnson (1992, S. 21) auf kinästhetische Erfahrungen zurück, der menschliche Körper wird danach als durch die Haut gegen die Außenwelt abgegrenzt erlebt, die Körpergrenze macht eine Unterscheidung von außen und innen möglich. Das in diesen Erfahrungen gründende Schema *Behälter* wird von Lernern durch Imagination auf Zellen übertragen.

Bakterien als eukaryotische Zellen

Nach der bakteriellen Struktur befragt, werden Bakterien von den meisten Lernern, die über bereichsspezifisches Wissen von der Zelltheorie verfügen, als Zellen gedacht. Eine bakterielle Zelle wird von vielen Lernern mit einem Zellkern ausgestattet vorgestellt. Lerner differenzieren nicht nach prokaryotischen und eukaryotischen Zellen (Bayrhuber u. Stolte 1997; Hilge 1999; Simonneaux 2000). Mit geringerer Häufigkeit stellen Lerner Bakterien auch mit weiteren Organellen eukaryotischer Zellen (z.B. Mitochondrien, Vakuole; Hilge 1999) aus. Ein Lerner bezeichnet erdnussförmige Gebilde, die Mitochondrien sehr ähnlich sind, in der von ihm zeichnerisch erfassten Zelle als Bakterien (Zamora et Guerra 1993). Dies könnte darauf beruhen, dass diesem Lerner bereichsspezifisches Wissen zur Endosymbionten-Theorie verfügbar ist, möglicherweise aber auch darauf, dass die Termini „Zelle“ und „Zellorganell“ gegeneinander austauschbar sind, weil nicht nach den dahinterstehenden Konzepten unterschieden werden kann. Eine Zelle kann auch eine Zellwand und/oder eine Zellmembran aufweisen. Die beiden Termini „Zellwand“ und „Zellmembran“ sind gegeneinander austauschbar, bei ihrer Verwendung werden die strukturellen und funktionellen Unterschiede zwischen Zellwand und Zellmembran nicht gedacht (Hilge 1999), weil die hinter den beiden Termini stehenden Konzepte nicht verfügbar sind. Lerner differenzieren in der Regel nicht nach tierlichen und pflanzlichen Zellen (Diaz de Bustamante et Alexandre 1998).

Bakterien als Phagozyten

Bakterien können winzige Nahrungsstücke umschließen und in sich aufnehmen, die bakterielle Fortbewegung kann als ein Zusammenziehen und wieder auswölben beschrieben werden (Hilge 1999). Lerner übertragen Vorstellungen von Phagozyten auf Bakterien.

Tierliche Bakterien

Viele jüngere Kinder stellen Mikroben zeichnerisch als abstrakte geometrische Figuren (z.B. Sternchen) dar, ältere Kinder hingegen als einzelne kleine Tiere (Fliegen, Moskitos, Würmer, Flöhe, Spinnen, Ameisen, Raupen). Nagy (1953) führt die Tendenz, Mikroben als Tiere zu denken, auf den größeren Erfahrungsschatz älterer Kinder zurück. Dass dabei oftmals Insekten gedacht werden, könnte nach Nagy (1953) auf einer Verwechslung beruhen, denn bei der Gesundheitserziehung von Kindern werden nach Auskunft der Autorin oft Tafeln verwendet, die Insekten als Überträger von infektiösen Agentien zeigen. Die Autorin zieht den Schluss, dass Kinder Mikroben für Insekten halten (Mikroben sind Tiere). Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens stellen sich Lerner Bakterien hingegen metaphorisch als Tiere vor, sie übertragen verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen mit kleinen Tieren gründen, auf Bakterien (vgl. Gropengießer 2003, S. 83). Die Theorie sagt voraus, dass Lerner in erster Linie verkörperte Vorstellungen, die auf besonders eindrücklichen Erfahrungen gründen, also mit dem eigenen Körper und seinen Funktionen gemacht wurden, auf Bakterien übertragen. Hinweise, die auf ein imaginatives Verständnis schließen lassen, können die Analysen der Lernervorstellungen zu den bakteriellen Prozessen Ernährung und Verdauung sowie Wachstum und Fortbewegung liefern.

1) Bakterielle Ernährung und Verdauung

Als Nahrung dient Bakterien – wie dem Menschen – z.B. Äpfel, im Darm des Menschen ein Teil dessen, was gegessen wurde, aber auch Abfall. Schon Kinder können sich vorstellen, dass Keime essen (s. Nagy 1953), ältere Lerner denken dieses Essen differenzierter: Bakterien essen, indem sie den Mund aufmachen, Nahrung hineinbefördern und schlucken, Bakterien können wie der Mensch auch trinken, indem sie andere Zellen aussaugen (Hilge 1999). Von vergleichbaren Vorstellungen zu Einzellern berichtet Riemeier (2005). Simonneaux (2000) berichtet, dass Bakterien von Lernern als leer vorgestellt werden können, wenn sie keine Nahrung finden. Mikroben können auch ausgehungert werden, fastet ein infizierter Mensch, fas-

ten auch die körperfremden Eindringlinge und können dann auch absterben (Helman 1978). Einzellige Mikroorganismen können mit einem Verdauungssystem ausgestattet vorgestellt werden (Dreyfus et Jungwirth 1988, 1989). Verdauung des Menschen wird von Kindern als Umwandlung von Nahrung durch mechanische Einwirkungen gedacht, d.h. Nahrung wird durch Kauen und Transport im Verdauungstrakt zerkleinert oder verflüssigt. Verdauung wird als Trennung brauchbarer und unbrauchbarer Stoffe gedacht, Unbrauchbares wird wieder ausgeschieden (Teixeira 2000). Vergleichbare Vorstellungen können auch bei älteren Schülern in Bezug auf Zellen erhoben werden (Riemeier 2005; Zamora et Guerra 1993). Bakterien können organische Substanz zersetzen, zerstören, abbauen, zerkleinern (s. Hilge 1999; Riemeier 2005; Simonneaux 2000), dabei spielen Enzyme wie bei der menschlichen Verdauung eine Rolle. Nicht brauchbare Stoffe können von Bakterien auch wieder ausgeschieden werden (Hilge 1999).

Lerner aller erfassten Altersstufen übertragen verkörperte Vorstellungen, die in den lebensweltlich vertrauten Tätigkeiten des Essens, Verdauens und Ausscheidens gründen, auf Bakterien. Die eigene Nahrungsaufnahme wird schon von Kindern mit der Vorstellung verknüpft, dass sich der Magen füllt (Teixeira 2000). Der menschliche Körper wird als *Behälter* gedacht, in den Nahrung gefüllt wird und der auch ausscheidet. Haben Schüler die Zelltheorie im Unterricht kennengelernt, wird die Vorstellung vom eigenen Körper als *Behälter* auf Zellen übertragen (Hilge 1999; Riemeier 2005; Zamora et Guerra 1993). Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird das von Dreyfus et Jungwirth (1988, 1989) als Fehlvorstellung bezeichnete Lernerkonzept, dass Mikroorganismen Organe (Verdauungssystem, Lunge) aufweisen können, auf das metaphorische Verständnis der Lerner von Mikroorganismen als Tiere zurückgeführt. Lerner machen Erfahrungen mit den Funktionen des eigenen Körpers lebensweltlich außerhalb der Zelltheorie. In den darin gründenden verkörperten Vorstellungen wird der eigene Körper nicht zellulär strukturiert vorgestellt. Aus diesem Grund ergibt sich für Lerner auch kein Widerspruch, dass Mikroorganismen Organe aufweisen. Zudem scheint schon der Wortsinn des Begriffes Mikro-Organismen nahezu legen, dass es sich dabei um Lebewesen handelt, die Organe aufweisen.

2) Bakterien als Person

Lerner versehen Bakterien mit Intentionalität, einem Attribut, das nur Menschen als Person zu Eigen ist: Bakterien wollen sich vermehren und tun dies auch, wenn sie sich wohl fühlen (Hilge 1999), eine Zellmembran weiß, was gut für die Zelle ist, und lässt nur bestimmte Stoffe in das Zellinnere (Dreyfus et Jungwirth 1988, 1989). Die beiden zuletzt genannten Autoren führen derartige Vorstellungen darauf zurück, dass Lerner schulisches und wissenschaftliches Wissen wahllos anwenden. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens übertragen Lerner das Schema *Person* (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) und verstehen Zellen und zelluläre Prozesse, die der Wahrnehmung weitgehend entzogen sind, metaphorisch. Da dieses Verständnis durch die Übertragung von verkörperten Vorstellungen, die in Erfahrungen mit dem eigenen Körper gründen, erlangt wird und nicht in Bezug auf wissenschaftsorientiertes oder schulisches Wissen, fallen den Lernern Widersprüchlichkeiten, die externe Beobachter zwischen den erfassten lebensweltlichen Vorstellungen der Lerner und fachlichen Vorstellungen feststellen können, oft nicht auf. Es liegt nahe, auch die von Leach et al. (1995, 1996a) erfasste Leichtigkeit, mit der Lerner ihr lebensweltliches Verständnis von Mikroorganismen mit fachlichem Wissen kombinieren, auf die gleiche Ursache zurückzuführen (vgl. Gropengießer 2003, S. 84). Metaphorisch ausgedrückt stellt der Mikrokosmos für Lerner eine weiße Landkarte dar, auf die Vorstellungen, die in sehr unterschiedlichen Erfahrungen gründen, mit Leichtigkeit projiziert werden können.

3) Bakterielle Beweglichkeit

Werden Bakterien als Tiere gedacht, sind sie nach Hilge (1999) immer auch eigenbeweglich. Bakterien können mit der Fähigkeit zur zielgerichteten Bewegung versehen werden. Es liegt nahe, diese Funktionszuweisung mit der Personifizierung zu erklären: Auch der Mensch besitzt die Fähigkeit, sich zielgerichtet auf Objekte zu zubewegen oder vor ihnen zu fliehen. Alle Lerner haben diese Erfahrung gemacht, die darin gründenden verkörperten Vorstellungen werden auf Bakterien übertragen. Bakterien können von einigen Schülern auch als mit Muskeln ausgestattet vorgestellt werden (Simonneaux 2000). Zur Fortbewegung können Bakterien aber auch verschiedene Anhänge (z.B. Geißeln, Flimmerhärchen) besitzen, mit denen sie zu Land und Wasser beweglich sind. Zur Orientierung werden sie mit Geruchsorganen oder Fühlermolekülen ausgestattet vorgestellt, durch die sie die Richtung wissen oder sich zurechtfinden (Hilge 1999).

4) Bakteriellles Wachstum

Wachstumsprozesse des eigenen Körpers werden als sein *Größer-Werden* erlebt, darin gründet das Schema *Größer-Werden*. Für Kinder stellt die Einverleibung von Nahrung eine hinreichende Erklärung tierlichen und menschlichen Wachstums dar (Russel et Watt 1990), der Körper wird als *Behälter* vorgestellt, der größer wird, wenn er mit Dingen befüllt wird. Das Schema *Größer-Werden* kann von Lernern, die die Zelltheorie kennengelernt haben, auch auf die Zellen des eigenen Körpers übertragen werden, sie nehmen parallel zur Vergrößerung des menschlichen Körpers an Größe zu (Zamora et Guerra 1993). Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens übertragen Lerner das Schema *Teil-Ganzes* (s. Lakoff 1987 S. 273) und begreifen den eigenen Körper als aus Zellen bestehend. Das Wachstum der Mikroben hingegen stellen Lerner als Vermehrung durch Teilung (*Mehr-Werden*), nicht aber als *Größer-Werden* vor (s. Hilge 1999). Das Schema *Mehr-Werden* gründet in Erfahrungen mit der Tätigkeit des Teilens, z.B. wenn ein Kuchen in Stücke geschnitten wird. Die Masse des Kuchens bleibt beim Teilen zwar gleich, die resultierenden Portionen können aber auf mehrere Personen verteilt werden. Vorstellungen von Bakterienkolonien als Gegenstände des Makrokosmos sind Lernern aufgrund von Erfahrungsdefiziten im mikrobiologischen Bereich meist nicht verfügbar. Vermehren sich mikroskopisch kleine Bakterien durch Teilung, bleiben sie Gegenstände des Mikrokosmos, diese Vorstellung ist mit der Vorstellung *Mikroskopische Bakterien* verträglich. Würden Bakterien zudem aber auch größer, könnten sie möglicherweise zu Gegenständen des Makrokosmos werden, diese Vorstellung ist mit der Vorstellung *Mikroskopische Bakterien* nicht mehr verträglich. Lerner übertragen das Schema *Mehr-Werden* nicht aber das Schema *Größer-Werden* auf Bakterien, weil sie Bakterien als einzelne Zellen vorstellen, die nicht mit bloßem Auge wahrgenommen werden können (*Mikroskopische Bakterien*).

Während menschliche Körperzellen Nachwuchs durch Geburt bekommen können, wozu vorher zwei Zellen unterschiedlichen Geschlechts miteinander verschmolzen sein müssen (Zamora et Guerra 1993), gibt es in dem von Hilge (1999) vorgelegten Material keinen Hinweis darauf, dass diese Vorstellung von Schülern auch auf Bakterien übertragen würde. Ähnlich verhält es sich mit verkörperten Vorstellungen, die in Erfahrungen mit den verschiedenen Entwicklungsstadien (Kindheit, Adoleszenz, Erwachsensein), die jeder Mensch durchmacht, gründen. Die diesbezüglichen Vorstellungen werden von Lernern, die über bereichsspezifisches Wissen von der Zelltheorie verfügen, zwar auf Zellen des menschlichen Körpers übertragen (Zamora et Guerra 1993), in dem von Hilge (1999) vorgelegten Material finden sich aber keine Hinweise darauf, dass Lerner ein solches metaphorisches Verständnis auch auf Bakterien übertragen. Da Bakterien von Lernern strukturell und funktionell meist einfach und zugleich uniform vorgestellt werden (Hilge 1999), weisen sie – im Gegensatz zu den Zellen des menschlichen Körpers – auch keine differenzierteren Merkmale auf, anhand derer z.B.

nach kleineren und größeren, jüngeren und älteren, weiblichen und männlichen Exemplaren unterschieden wird. Bei dieser Argumentation ist allerdings die Kontextabhängigkeit verfügbarer Vorstellungen zu bedenken, der Sachverhalt „*nicht erhobener Vorstellungen*“ lässt nicht den Schluss zu, dass Lerner prinzipiell derartige Vorstellungen nicht auf Bakterien projizieren.

5) Fazit

Bei den von Nagy (1953) bei Kindern erfassten Vorstellungen, wonach Mikroben im menschlichen Körper umhergehend gedacht werden und ihnen auch eine Reihe weiterer tierlicher Merkmale zugeordnet werden, kann aufgrund der empirischen Befunde letztlich nicht entschieden werden, ob die befragten Kinder Mikroben tatsächlich für Tiere halten, wie die Autorin schlussfolgert (vgl. Gropengießer 2003, S. 83). Die von Hilge (1999) erhobenen umfangreichen Befunde zu Lernervorstellungen von Bakterien als Lebewesen hingegen legen nahe, dass ältere Schüler, die Bakterien mit tierlichen Merkmalen versehen vorstellen, Bakterien metaphorisch als Tiere verstehen: Bis auf eine Ausnahme fasst keiner der befragten Lerner Bakterien auch nur annähernd als mit allen wesentlichen Merkmalen eines individuellen Tieres oder einer speziellen Tierart versehen auf. Vielmehr stellen sich die befragten Lerner Bakterien lediglich mit einzelnen strukturellen oder funktionellen tierlichen Merkmalen – neben anderen, nichttierlichen Merkmalen – versehen vor. So sagt z.B. Anne (s. Hilge 1999, S. 143): „Die Bakterien bzw. Pilze auf einem Pflirsich essen praktisch genauso wie wir (fressen sich langsam hinein), aber ich kann mir auch nicht vorstellen, wie sie [die Bakterien] ein kleines Stück abtrennen, weil sie keinen Hammer oder Säge haben“. Während die Lernerin Bakterien als essend vorstellt, fehlt ihnen der dazu notwendige Kauapparat. Kai bezeichnet Bakterien als Tiere und stellt sie sich mit einem Mund versehen vor. Bakterien essen Nahrung (z.B. Bananenschalen), eine Eigenbeweglichkeit denkt der Lerner ihnen hingegen nicht zu, Bakterien werden bewegt (s. Hilge 1999, S. 237): „Bakterien werden durch die Luft getragen... Durch eine bestimmte Anziehungskraft werden sie wie ein Magnet angezogen. Die kleinsten Bestandteile (Atome) der Bananenschale ziehen die Bakterien an. So eine Kraft hat kein Aussehen, sie ist durchsichtig. Wie man die Kraft zwischen zwei Magneten auch nicht sieht“. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird metaphorisches Verständnis dadurch erreicht, dass Vorstellungen, die in Erfahrungen mit Gegenständen und Prozessen in einem Ursprungsbereich gründen, durch Imagination auf Gegenstände und Prozesse in einen Zielbereich übertragen werden. Dass die Gegenstände und Prozesse beider Bereiche nicht identisch sind, kann daran erkannt werden, dass die Übertragungen unvollständig sind. Aufgrund dessen wird an dieser Stelle geschlussfolgert, dass ältere Schüler Bakterien denken können, als ob sie Tiere seien, Bakterien aber keineswegs mit Tieren gleichsetzen.

Pflanzliche Bakterien

Denken Lerner Bakterien als Pflanzen, werden sie wie diese als stillstehend und auch wachsend vorgestellt (Hilge 1999). Pflanzen werden lebensweltlich als sessile, ortstreue Lebewesen, ihr Wachstum als *Größer-Werden* erlebt. Die darin gründenden Vorstellungen werden von Lernern vielleicht auch deswegen auf Bakterien übertragen, weil unterrichtlich die Gesamtheit der Bakterien im Verdauungstrakt des Menschen als Bakterienflora bezeichnet wurde.

Koloniebildung als Versammlung

Lerner können denken, dass Bakterien zusammenkommen, sich ansammeln und unspezifisch irgendwie aneinander haften. Auf Nährböden lagern Bakterien übereinander, sie bilden „Etagen“, die „Kolonie“ wächst in die Höhe (Hilge 1999). Lerner übertragen Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit einzelnen Objekten, die aggregieren und übergeordnete

Strukturen bilden (z.B. Stein-Mauer, Bildpunkt-Bild, Mensch-Auflauf), auf Bakterien und Bakterienkolonien.

Pilzliche Bakterienkolonien

Lerner können sich Bakterienkolonien metaphorisch als Pilze vorstellen (Hilge 1999). Sie übertragen lebensweltliche Vorstellungen, die in Erfahrungen mit Schimmelpilzen gründen, auf Bakterien. Bakterien können aber auch zusammenkommen und einen Pilz bilden (Hilge 1999), aufgrund nicht verfügbaren bereichsspezifischen Wissens können Lerner aus mikrobiologischer Perspektive nicht richtig zwischen Pilzen und Bakterien unterscheiden. Diesen Sachverhalt erfassen auch Bayrhuber u. Stolte (1997), die befragten Lerner sprechen z.B. von „Schimmelpilzbakterien“ oder von „Hefebakterien“. Bakterienkolonien metaphorisch als Pilze vorzustellen bedeutet, dass es zwischen beiden Gruppen von Lebewesen auch Unterschiede gibt, da es sich ansonsten nicht um zwei verschiedene Gruppen handeln würde. Lebensweltlich ist Lernern dieser Unterschied geläufig, Pilze können beispielsweise im Wald oder auf einer Speisekarte stehen. Lerner geben an, dass der Zusammenhalt von Bakterien in einer Kolonie nicht so fest sei wie bei Pilzen (Hilge 1999). Oder: Während Lerner bei der Vorstellung pilzlicher Bakterienkolonien eine Eigenbeweglichkeit von Bakterien voraussetzen, werden Pilze aufgrund lebensweltlicher Erfahrungen mit Schimmelpilzen oder den Fruchtkörpern von Hutpilzen als ortstreue sessile Lebewesen vorgestellt.

Pflanzliches Koloniewachstum

Einige Lerner können Bakterienkolonien metaphorisch als Pflanzen vorstellen. Kolonien entwickeln sich und wachsen wie Pflanzen (Hilge 1999), Bakterien können wie Pflanzen mit Herbiziden abgetötet werden (Simonneaux 2000). Pflanzliche Vegetationskörper werden lebensweltlich als sessil und mechanisch fest, ihr Wachstum als *Größer-Werden* erlebt. Die in diesen Erfahrungen gründenden Vorstellungen werden auf Bakterienkolonien übertragen. Dass Bakterienkolonien und Pflanzen aber nicht identisch gedacht werden, kann daran erkannt werden, dass ersteren wesentliche strukturelle pflanzliche Merkmale (z.B. Blätter, Wurzeln, Blattgrün) nicht zugeordnet werden.

Kämpfende Antibiotika

Lerner können einerseits über die Vorstellung verfügen, dass Antibiotika Bakterien bekämpfen (Barenholz et Tamir 1997). Andererseits können Lerner sich vorstellen, dass Mittel zur Linderung der Symptome von Erkältungskrankheiten keimtötende Wirkung haben, wobei nicht zwischen viralen und bakteriellen Erkrankungen unterschieden wird (Prout 1985). Helman (1978) berichtet von Vorstellungen, in denen Patienten nicht nach Viren und Bakterien unterscheiden, beide werden als Keime gedacht, gegen die Antibiotika wirksam sind. Aus diesem Grund verlangen Patienten bei Fieber vom Arzt oft Antibiotika, auch wenn die verursachenden Erreger Viren sind. Auch Jones et al. (2003) und Simonneaux (2000) erfassen, dass Lerner nicht zwischen Bakterien und Viren unterscheiden.

Patienten können Antibiotika als Kraft, die in den Körper eingeführt wird, vorstellen. Der Körper wird als eine Art Schlachtfeld gedacht, Bakterien werden von Antibiotika abgetötet (Helman 1978). Die Wirkung der Antibiotika auf Bakterien wird metaphorisch in den Begriffen eines Kampfes verstanden, verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen des Miteinanders oder Wettkämpfens gründen, werden auf Antibiotika übertragen. Jeder macht z.B. beim Sporttreiben, bei Rangeleien auf dem Schulhof oder bei der Beobachtung sich angreifender Tiere derartige Erfahrungen.

Mehrere Autoren erfassen, dass nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Lerner Bakterien als Wirkort der Antibiotika denkt (Barenholz et Tamir 1987; Brumby 1984; Prout 1985), viele stellen sich als Wirkort den menschlichen Körper oder menschliche Zellen vor. Eine Ausnahme bilden die Untersuchungen von Bayrhuber u. Stolte (1997) und von Helman (1978), die Autoren berichten davon, dass die Befragten ausschließlich Bakterien, Keime oder Viren als Wirkort denken. Antibiotikaresistenz hingegen fassen so gut wie alle Befragten als eine Eigenschaft des menschlichen Körpers auf (Barenholz et Tamir 1987; Bayrhuber u. Stolte 1997; Brumby 1984). Obwohl die meisten Befragten die Keimtheorie der Krankheiten unterrichtlich kennengelernt haben dürften, fasst nur ein Teil von ihnen Mikroben, die in den Körper eingedrungen sind, als Ziel einer Antibiotika-Medikation auf. Mit Infektionskrankheiten macht der Mensch eine Reihe von sehr nachhaltigen Erfahrungen, man fühlt sich niedergeschlagen, nicht mehr leistungsfähig, der Körper schmerzt. Werden Antibiotika genommen, wird ihre Wirkung körperlich als Wiedergesundwerden wahrgenommen. Die in den Erfahrungen des Erkrankens und Wiedergesundwerdens gründenden verkörperten Vorstellungen werden nicht aus der Perspektive der Keimtheorie der Krankheiten, z.B. als Vermehrung von Bakterien oder deren Abtötung erworben. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens übertragen Lerner verkörperte Vorstellungen von Gesundwerden auf Antibiotika, deren Wirkort als der eigene Körper oder dessen Zellen, aber nicht als Bakterien gedacht wird. Verkörperte Vorstellungen von der Keimtheorie der Krankheiten gibt es nicht. Darauf dürfte auch der von Prout (1985) erfasste Sachverhalt beruhen, dass die meisten Lerner den Unterschied zwischen einer Heilung auf der einen Seite und einer Linderung von infektiionsbedingten Symptomen auf der anderen Seite nicht benennen können.

Antibiotika als Herbizide

Lerner können sich Bakterien metaphorisch als pflanzliche Lebewesen vorstellen, die mithilfe von Herbiziden abgetötet werden können (Simonneaux 2000). Im Unterschied zu der Autorin, die derartige Lernervorstellung u.a. auf linguistische Konfusion zurückführt, handelt es sich aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens um Versuche der Lerner, ein metaphorisches Verständnis von fremden und der Wahrnehmung weitgehend entzogenen biologischen Gegenständen und Prozessen zu erreichen. Die von Simonneaux (2000) befragten Lerner greifen auf Vorstellungen zurück, die in unterrichtlichen Erfahrungen gründen dürften. Bei den Befragten handelt es sich um Schüler, die eine französische Schule mit einem landwirtschaftlichen Ausbildungsschwerpunkt besuchen. Die Schüler übertragen Vorstellungen, die in Erfahrungen mit dem Einsatz von Chemikalien zur Bekämpfung von auf dem Acker nicht erwünschten Pflanzenarten gründen, auf Bakterien.

Unbelebte Bakterien

Kinder und Schüler können Bakterien metaphorisch verstehen, indem sie verkörperte Vorstellungen von Schmutz auf Bakterien übertragen. Diese Vorstellungen gründen in Erfahrungen mit Verschmutzen, z.B. wenn an den Händen von Kindern beim Spielen Dreck anhaftet. Keime werden von Kindern gedanklich oft mit Schmutz verknüpft, mit dem, was umgekehrt wird (Leach, Driver, Scott, Wood-Robinson 1995, 1996; Nagy 1953). Möglicherweise gründet diese gedankliche Verbindung von Schmutz und Keimen jüngerer Kinder in lebensweltlichen Vorstellungen, die im Rahmen einer Erziehung zur Reinlichkeit vermittelt wurden. Einige Kinder geben nämlich an, dass ihnen verboten wurde, auf den Boden gefallene Lebensmittel zu essen, weil sich darauf Keime befänden. Schüler können Mikroben als aus Staubteilchen zusammengesetzt vorstellen (Simonneaux 2000). Bakterien können von Schülern unbelebt, ohne die Attribute des Lebendigen gedacht werden.

5.7 Zusammenfassung der Reinterpretationen

Insgesamt wurden 21 Publikationen ermittelt, in denen über empirisch erhobene Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen berichtet wird. In diesen Veröffentlichungen werden die Vorstellungen von 2184 Vorschülern und Schülern, 150 Studenten, 47 Lehramtskandidaten sowie einer nicht bestimmbar Zahl Erwachsener (Helman 1978) erfasst. Alle untersuchten Gruppen sind sowohl aus weiblichen als auch aus männlichen Probanden zusammengesetzt. Methodisch werden die auf Bakterien bezogenen Vorstellungen qualitativ und quantitativ erfasst. Im Rahmen der Reanalysen der Primärerhebungen konnten 35 Konzepte erfasst werden. Mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens konnten Sinnzusammenhänge zwischen den Einzelbefunden der Primärerhebungen gestiftet werden. Die im Rahmen dieser Theorie durchgeführten Analysen zeigen, dass Lerner meist verkörperte Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, durch Imagination auf Bakterien übertragen. Für Lerner existieren Bakterien und bakterielle Prozesse nicht als Gegenstände des Makrokosmos, sie verfügen über so gut wie keine mikrobiologischen Erfahrungen und darin gründende Vorstellungen und auch bereichsspezifisches mikrobiologisches Wissen fehlt weitgehend. Angesichts dieser Konstellation übertragen sie Vorstellungen auf Bakterien, die in Erfahrungen mit nichtmikrobiologischen Gegenständen gründen. Der gemeinsame Erfahrungshintergrund der befragten Lerner, die unterschiedlicher Nationalität sind, ist der Grund dafür, dass aufgrund der zahlreichen Einzelbefunde, die in den Veröffentlichungen zum Thema aufzufinden sind, 6 Denkfiguren rekonstruiert werden konnten. Die Zuordnungen sind in Tabelle 5.2 dargestellt.

Denkfigur

Zugeordnete Lernerkonzepte

<p>Kleine einfache Behälter Bakterien werden als eine Art Behälter und einzellig gedacht. Bakterien können nicht mit bloßem Auge, wohl aber unter dem Mikroskop wahrgenommen werden. Bakterien werden unklar klein vorgestellt. Alle Bakterien haben die gleiche Struktur, sie werden uniform gedacht. Funktionell werden Bakterien einfach vorgestellt. Außen kann der bakterielle Behälter mit Anhängen (Geißeln, Flimmerhärchen) ausgestattet sein. Bakterien können Flüssigkeit und auch feste Komponenten (Zellkern, Nahrung) enthalten, sie werden als eukaryotische Zellen vorgestellt, allerdings einfacher als diese. Bakterien können sich auch innerhalb von Zellen befinden. Nahrung kann durch Phagozytose in Bakterien gelangen. Bakterien sind vermehrungsfreudig, sie vermehren sich durch Teilung.</p>	<p><i>Einzellige Bakterien</i> <i>Mikroskopische Bakterien</i> <i>Unklar kleine Bakterien</i> <i>Uniforme Bakterien</i> <i>Einfacher Energiestoffwechsel</i> <i>Minimaler Stoffwechsel</i> <i>Anhänge</i> <i>Bakterien als eukaryotische Zellen</i> <i>Bakterien als Zellbestandteile</i> <i>Einverleiben</i> <i>Vermehrungsfreudige Bakterien</i> <i>Mehr-Werden</i></p>
<p>Kleine Lebewesen Bakterien (Keime) werden als kleine Tiere (z.B. Insekten, Spinnen, Würmer) aber strukturell einfacher als diese gedacht. Bakterien weisen Organe auf (Verdauungstrakt, Muskeln, Lunge). Bakterien essen Nahrung wie der Mensch und verdauen sie in ihrem Magen, Bakterien scheiden auch aus. Im Darm des Menschen sind Bakterien nützlich. Bakterien besitzen die Fähigkeit zur zielgerichteten Fortbewegung (sie laufen, gehen, kriechen, schwimmen), die bakterielle Fortbewegung kann schnell vorgestellt werden. Bakterien wollen sich immer vermehren, wenn sie sich wohl fühlen.</p> <p>Bakterien werden wie Pflanzen stillstehend vorgestellt. Bakterien werden bewegt. Bakterien können wie Unkraut mithilfe von Herbiziden abgetötet werden.</p>	<p><i>Tierlein</i> <i>Einfachere Bakterienstruktur</i> <i>Tierliche Nahrungsaufnahme</i> <i>Bakterien benötigen Nahrung</i> <i>Bakterien verdauen</i> <i>Vorverdaute Nahrung</i> <i>Nützliche Bakterien</i> <i>Zielgerichtete Bakterien</i> <i>Mikroschnelle Bakterien</i> <i>Bakterien als Person</i></p> <p><i>Sessile Bakterien</i> <i>Bewegte Bakterien</i> <i>Antibiotika als Herbizide</i></p>
<p>Bakterienkolonien Bakterien sammeln sich an, sie haften dann irgendwie aneinander. Auf Nährböden lagern Bakterien übereinander. Bakterienkolonien wachsen wie Pflanzen. Zusammenkommende Bakterien bilden Kolonien, die wie ein Pilz aussehen.</p>	<p><i>Versammlung</i> <i>Unspezifisch haftende Bakterien</i> <i>Lagernde Bakterien</i> <i>Pflanzliches Koloniewachstum</i> <i>Pilzliche Bakterienkolonien</i></p>
<p>Kampf Antibiotika kämpfen mit Bakterien (Viren)</p>	<p><i>Kämpfende Antibiotika</i></p>
<p>Gift Bakterien können mit Herbiziden getötet werden</p>	<p><i>Antibiotika als Herbizide</i></p>
<p>Unbelebte Bakterien Bakterien werden mit Staub (Dreck, Boden) assoziiert oder werden als Staubeilchen gedacht. Bakterien können sich aus Stoffen neu zusammensetzen.</p>	<p><i>Schmuddel</i> <i>Zusammengesetzte Bakterien</i></p>

Tab. 5.2: Zusammenfassung der Literaturbefunde. Zuordnung der in der Literatur erfassten mikrobiologischen Lernerkonzepte zu Denkfiguren.

6 Didaktische Strukturierung

Innerhalb der „*Didaktischen Strukturierung*“ werden die Ergebnisse der „*Fachlichen Klärung*“ und der „*Erfassung der Lernerperspektiven*“ miteinander verknüpft. Gegenstand der Verknüpfungen sind die im Lehrbuch „*Mikrobiologie*“ (Madigan et al. 2001) erfassten fachwissenschaftlichen Vorstellungen und die publizierten empirisch erfassten Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen. Der wechselseitige Vergleich zielt auf die Herstellung von Korrespondenzen zwischen den Konzepten aus verschiedenen Quellen ab, die sich als Gemeinsamkeiten, Unterschiede, Eigenheiten und Begrenztheiten zeigen können (Gropengießer 1997, S. 142, 143). Schwierigkeiten, die Lerner in Vermittlungssituationen beim Verständnis der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, haben könnten, können schon im Vorfeld abgesehen werden. In Vermittlungssituationen sollen lernförderliche Korrespondenzen hergestellt und ausgenutzt werden, um Lernern die Entwicklung fachwissenschaftlicher Vorstellungen von Bakterien zu ermöglichen.

6.1 Wechselseitiger Vergleich der Lernervorstellungen zu Bakterien mit wissenschaftlichen Vorstellungen

Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird sowohl den Vorstellungen der Lerner als auch fachwissenschaftlichen Vorstellungen ihre Berechtigung eingeräumt (Kattmann u.a. 1997). Allerdings hängt es vom Kontext ab, ob Vorstellungen ein Verständnis im fachlichen Sinne ermöglichen können. Wie mit einem Rechen wurden die Fachwissenschaft und der Stand der Forschung in der Untersuchungsaufgabe „*Fachliche Klärung*“ durchgekämmt. Dabei bildeten die Fragestellungen den Rechen. Die erfassten Vorstellungen der Mikrobiologen – also dasjenige, was im Rechen hängengeblieben ist – und die Vorstellungen der Lerner werden an dieser Stelle miteinander verglichen. Die Fragen, die die Vergleiche auslösen, leiten sich von den Fragestellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen ab, die schon die Untersuchungsaufgaben „*Fachliche Klärung*“ und „*Erfassen der Lernerperspektiven*“ angeleitet haben. Insbesondere gefragt und orientiert an den Fragestellungen wird nach:

1. Größe
2. Struktur
3. Ernährung
4. Wachstum
5. Beweglichkeit
6. Antibiotika
7. Kolonien

Diese Fragen nach den aufgelisteten Kategorien bestimmen die Kriterien, die beim Vergleichen – dem In-Beziehungsetzen – der Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernern angelegt werden, der Vergleich ist eine dreistellige Relation (Janich u. Weingarten 1999, S. 161; Hammann 2002). Die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Vorstellungen von Mikrobiologen und Lernern in Bezug auf Bakterien und bakterielle Prozesse stellen das Ergebnis des Vergleichens dar. Damit soll es aber keineswegs sein Bewenden haben, vielmehr werden die Vergleichsergebnisse bewertet, indem die Unterschiede mit Blick auf das Lehren und Lernen gegeneinander abgewogen, gewertet und bewertet werden.

6.1.1 Größe

Lerner und Wissenschaftler stellen Bakterien als so klein vor, dass sie nicht mit bloßem Auge, sondern nur unter dem Mikroskop wahrgenommen werden können (*Mikroskopische Bakterien*). Wissenschaftler und Lerner teilen die grundsätzliche Unterscheidung, dass einzelne Bakterien mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar sind, makroskopische und mikroskopische biologischer Gegenstände gehören zwei verschiedenen Größenebenen an¹¹. Während die Vorstellung von der mikroskopischen Größe bei Mikrobiologen evidenzbasiert ist, fehlt Lernern diese Erfahrung. Lerner wissen um die Existenz von Bakterien aufgrund der Erkenntnisse der Mikrobiologen, ohne die die Vorstellung, dass Bakterien mit bloßem Auge nicht wahrgenommen werden können, nicht verfügbar wäre.

Die Unterschiede zwischen den Denkwelten von Lernern und Wissenschaftlern resultieren in erster Linie daraus, dass letztere Größenordnungen zu biologischen Gegenständen des Mikrokosmos aufgebaut haben, sie können die Einheiten des metrischen Systems anwenden und sich Bakterien mikrometergroß vorstellen. Spiegelbildlich stellen sie sich auch die bakterielle Umwelt in Mikrometerabmessungen vor (*Mikroumgebung*). Werden Bakterien zur Sichtbarmachung vergrößert dargestellt, denken Mikrobiologen gleichzeitig die reale Größe von Bakterien mit. Lerner hingegen haben keine Größenordnungen im Mikrokosmos aufgebaut, sie können die Einheiten des metrischen Systems fachlich nicht angemessen anwenden, z.B. wird Haut-Follikeln, Bakterien und DNA-Molekülen die gleiche Größenebene zugeordnet (Jones et al. 2003). Bakterien werden unklar klein vorgestellt (*Unklar kleine Bakterien*).

Nur bei Mikrobiologen konnte die Vorstellung *Ubiquitäre Bakterien* erfasst werden: Aufgrund ihrer Kleinheit und Fähigkeit zur raschen Vermehrung können Bakterien prinzipiell überall angetroffen werden. Diese Vorstellung gründet in Erfahrungen der Mikrobiologen mit der Bakterienkultur (*Kultivierbare Bakterien*), sie wissen, dass ihre Reinkulturen aufgrund der Allgegenwärtigkeit von Bakterien vor einer Verunreinigung mit nicht erwünschten Bakterien geschützt werden müssen (*Kontaminierende Bakterien*).

6.1.2 Struktur

Korrespondenzen ergeben sich zwischen den gedanklichen Verknüpfungen, die Mikrobiologen und Lerner zwischen Bakterien und Zellen vornehmen. Lerner und Wissenschaftler stellen sich bakterielle Zellen als eine Art Behälter vor (*Bakterien als Behälter*). Im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens gründet das Verständnis von Zellen als Behälter auf ähnlichen lebensweltlichen Erfahrungen von Lernern und Wissenschaftlern (vgl. Lakoff et Johnson 1999, S. 32; Riemeier 2005, S. 229). Bakterien können metaphorisch als Behälter verstanden werden, deren Wandung einen Innenraum von einem Außenraum abgrenzt. Der intrazelluläre Raum enthält verschiedene zelluläre Komponenten. Der Wandung kommt die Funktion zu, diese zusammenzuhalten. Aus dieser Perspektive heraus könnte erklärt werden, warum Lerner funktionell und strukturell nicht nach bakterieller Zellmembran und Zellwand unterscheiden: Für die Behältervorstellung von einem Bakterium ist das Vorhandensein einer Wandung konstitutiv, um Innen und Außen unterscheiden zu können. Die Qualität der Wandung kann kontextabhängig differenziert gedacht werden, sie spielt aber innerhalb der Behältervorstellung keine Rolle.

¹¹ An dieser Stelle sei angemerkt, dass einzelne Bakterienarten beschrieben wurden, die so groß sind, dass sie mit bloßem Auge wahrnehmbar sind (s. Sogin 1993; Schulz et al. 1999)

Während Wissenschaftler und Lerner Bakterien als Zellen verstehen, können nur erstere prokaryotische und eukaryotische Zellen aufgrund ihres Wissens von der Zelltheorie voneinander abgrenzen¹². Allerdings sei daraufhingewiesen, dass auch bei Mikrobiologen beobachtet werden kann, dass die Unterschiede zwischen Zellen, die einen Zellkern aufweisen und solchen, die keinen aufweisen, eingeebnet werden, indem in Bezug auf das bakterielle DNA-Molekül von Kern-analoger Bakterien-DNA (*Funktioneller Bakterienkern*) oder von Chromosom gesprochen wird. Lerner unterscheiden aufgrund mikrobiologischer Erfahrungsdefizite nicht nach Zellen mit und ohne Zellkern. Sie projizieren ihre Vorstellung von eukaryotischen Zellen auf Bakterien, diese weisen nach Lernermeinung immer einen Zellkern auf (*Bakterien als eukaryotische Zellen*). Die beträchtliche strukturelle, aber besonders die funktionelle Vielfalt der Prokaryoten, ohne deren Kenntnis ein Verstehen der Denkwelten von Mikrobiologen (*Heterogene Bakterien*) lückenhaft bleibt, findet aufgrund von Erfahrungsdefiziten in den Vorstellungswelten der Lerner keine Entsprechung.

Bakterien metaphorisch als Maschinen zu verstehen bleibt ebenfalls Mikrobiologen vorbehalten, wobei komplexe und zusammengesetzte, keine einfachen physikalischen Maschinen (z.B. schiefe Ebenen) als Ursprungsbereich dienen. Mikrobiologen sind aufgrund ihrer Erfahrungen mit und bereichsspezifischem Wissen über Bakterien sowie aufgrund ihres Wissens vom Ursprungsbereich „komplexe und zusammengesetzte Maschinen“ in der Lage, Maschinenvorstellungen auf Bakterien zu projizieren (*Bakterien als Maschinen*). Wie die empirischen Untersuchungen von Lernervorstellungen zu Zellen belegen, ist Lernern einerseits bereichsspezifisches Wissen zu den Zellfunktionen, den sie tragenden Strukturen und ihrem Ineinandergreifen nicht verfügbar. Andererseits dürfte bereichsspezifisches Wissen auch zum Ursprungsbereich der Metapher *Bakterien als Maschinen*, also von komplexen und zusammengesetzten Maschinen, von ihrer aus Einzelteilen bestehende Struktur und den Funktionen der Einzelteile vor dem Hintergrund der Funktion, der die Gesamtmaschine dient, nicht verfügbar sein. Bei unterrichtlicher Verwendung der Maschinen-Metapher würde es darum gehen, die Grundlagen der gedanklichen Verknüpfungen von Bakterien als Zielbereich und Maschinen als Ursprungsbereich zu schaffen. Da jeder Mensch über Vorstellungen von Maschinen verfügt – was aber nicht bedeutet, dass auch ihre Struktur und Funktion verstanden werden –, könnten auf Bakterien projizierte Maschinenvorstellungen Lernern die Möglichkeit bieten, die verschiedenen bakteriellen Funktionen und die sie tragenden zellulären Strukturen im Hinblick auf die Gesamtfunktion einer Zelle zu begreifen.

Eine Eigenheit der Lerner ist es, Bakterien metaphorisch als Tiere vorzustellen (*Tierlein*). Bakterien können als kleine Tiere (z.B. Insekten, Spinnen, Würmern) gedacht werden, sie können verschiedene Organe von Tieren aufweisen (z.B. Verdauungstrakt, Muskeln, Lunge, Geruchssinn, Tastsinn). Bakterien essen Nahrung wie der Mensch und verdauen sie in ihrem Magen (*Bakterien verdauen*). Aufgrund des metaphorischen Lernerverständnisses von Bakterien als Tiere wird Bakterien meist auch die Fähigkeit zur Fortbewegung zugeschrieben: Sie laufen, gehen umher, kriechen oder schwimmen.

6.1.3 Wachstum

Sowohl Mikrobiologen als auch Lerner können sich Bakterien vermehrungsfreudig vorstellen (Konzept *Vermehrungsfreudige Bakterien*). Das Konzept bakteriellen Wachstums durch Teilung ist sowohl Lernern als auch Mikrobiologen verfügbar (*Mehr-Werden*). Dabei greifen

¹² An dieser Stelle sei angemerkt, dass mit *Gemmata obscuriglobus* eine Bakterienart beschrieben ist, die über genetisches Material verfügt, das von zwei Membranen umschlossen ist (Fuerst et Webb 1991), die allerdings keine den Kernporen analoge Strukturen aufweisen (Wang et al. 2002). Die Zellwand des Bakteriums weist kein Peptidoglykan auf, im Genom der Bakterienart wurden einige Gene aufgefunden, die große Ähnlichkeit mit Genen eukaryotischer Zellen aufweisen (Jenkins et al. 2002)

beide Gruppen auf das Schema *Mehr-Werden* zurück, die Trennung eines Ganzen in Teile ist eine lebensweltliche Erfahrung, die jedermann macht (vgl. Riemeier 2005, S. 226, 227). Während aber Wissenschaftler zwischen den Teilungen immer auch ein *Größer-Werden* von Bakterien denken, ist dieses Schema bei den meisten Lernern nicht verfügbar, was einem Verständnis bakteriellen Wachstums hinderlich ist. Eine Eigenheit von Lernern ist es zu denken, dass sich Bakterien vermehren wollen (*Intentionale Bakterien*), Bakterien weisen Attribute auf, die nur einer Person zu Eigen sind.

Das metaphorische Verständnis von Bakterien, über das Lerner und Wissenschaftler verfügen, kann sich dadurch unterscheiden, dass verkörperte Vorstellungen von *Größer-Werden* auf Bakterien übertragen werden, die Lerner aber als mechanische Gegenstände, Mikrobiologen hingegen als Gegenstände der Biologie auffassen. Bakterien werden von Mikrobiologen metaphorisch als Ansammlung von Makromolekülen verstanden, sie werden als Zellen und kleinste lebensfähige Einheiten vorgestellt (*Autarke Bakterien*). Bakterien weisen einen Stoffwechsel auf, der es ihnen ermöglicht, Makromoleküle zu produzieren und in bestehende Zellstruktur (z.B. Zellwand) zu integrieren (*Molekülbakterien*), Bakterien werden größer. Wissenschaftler greifen auf das Schema *Größer-Werden* zurück und modifizieren es durch evidenzbasierte Vorstellungen vom Zellwachstum. Kinder und Schüler hingegen verstehen *Größer-Werden* als Ansammlung von Material, Bakterien können sich z.B. aus Staub zusammensetzen (*Zusammengesetzte Bakterien*). Sie nutzen Vorstellungen von Aggregieren als mechanischem Prozess.

Wissenschaftler und Lerner können den gleichen Ursprungsbereich nutzen, um Bakterien metaphorisch zu verstehen. Das metaphorische Verständnis wird aber ungleich verwendet. Wissenschaftler nutzen einzelne Metaphern, um spezifische Aspekte von Bakterien zu verstehen, Lerner setzen die Metaphern unspezifischer ein. Mikrobiologen verstehen Bakterien im Darm beispielsweise als „Darmflora“ (Konzept *Bakterienflora*), Lerner hingegen stellen sich vor, Bakterienkolonien wüchsen und entwickelten sich wie Pflanzen oder Pilze (*Pflanzliches Koloniewachstum*, *Pilzliche Bakterienkolonien*). Die Bakterien einer Kolonie werden von Lernern wie Pflanzen oder Pilze sessil vorgestellt (*Sessile Bakterien*).

Bakterien metaphorisch als Gebäude zu verstehen (*Zellen als Gebäude*), die aus verschiedenen einfachen Bausteinen zu komplexen Strukturen verbunden werden, ist eine Eigenheit von Wissenschaftlern. Die Metapher wird von Lernern nicht verwendet, um zelluläres Wachstum als *Größer-Werden* von Bakterien zu verstehen. Dies liegt mit großer Wahrscheinlichkeit nicht daran, dass Lerner über zu wenig Wissen zum Ursprungsbereich „*Haus bauen*“ verfügen, da Kinder Erfahrungen mit dem spielerischen Errichten von Gebäuden aus Bauklötzen machen. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind sie durch verfügbare Vorstellungen von biologischem Wachstum, die in Erfahrungen mit größer werdenden biologischen Gegenständen des Makrokosmos gründen, daran gehindert, die Metapher auf die mikroskopische Größenebene zu übertragen. Makroskopische biologische Gegenstände werden nicht gequantelt, also als aus Zellen bestehend wahrgenommen, ihr *Größer-Werden* wird dementsprechend auch nicht als das *Größer-Werden* ihrer Zellen erlebt, sondern als *Größer-Werden* des gesamten Gegenstandes. Zudem würde die Übertragung der Vorstellung „*Haus bauen*“ auf Bakterien voraussetzen, dass Lerner die mikroskopische bakterielle Struktur als aus Molekülen strukturiert vorstellen können. Wie die Analyse der empirischen Befunde gezeigt hat, verfügen Lerner aber über keine Vorstellungen von der molekularen bakteriellen Struktur. Bei unterrichtlicher Verwendung der Metapher *Zellen als Gebäude* müssten in einem ersten Schritt zunächst die oben genannten Voraussetzungen geschaffen werden, in einem zweiten Schritt sollten die Grenzen dieses metaphorischen Verständnisses transparent gemacht wer-

den: Gebäude werden von Menschen nach einem Bauplan für andere Menschen errichtet, bei ihrer Errichtung sind sie nicht funktionsfähig, die verschiedenen Baumaterialien, die in Fabriken erzeugt werden, müssen herbeigeschafft werden. Die strukturelle Dynamik beim Aufbau eines Gebäudes wird in der Regel von einer strukturellen Beständigkeit im Zustand ihres Errichtetseins abgelöst. Dann aber tragen Gebäude eine funktionelle Dynamik, sie können z.B. eingerichtet und von verschiedenen Personen zu sehr unterschiedlichen Zwecken genutzt werden.

6.1.4 Beweglichkeit

Sowohl Mikrobiologen als auch Lerner nutzen Erfahrungen mit der Bewegung des eigenen Körpers und die darin gründenden verkörperten Vorstellungen, um die bakterielle Fortbewegung zu verstehen. Mikrobiologen stellen die bakterielle Fortbewegung als Laufen und Taumeln vor (*Laufen und Taumeln*), Kinder und Schüler als Gehen, Laufen, Schwimmen oder Kriechen (*Zielgerichtete Bakterien*). Während Mikrobiologen das Schema *Person* auf Bakterien übertragen, um z.B. die bakterielle Fortbewegungsweise als Laufen und Taumeln metaphorisch unter gezieltem Rückgriff auf einzelne verkörperte Vorstellungen zu verstehen, personifizieren Lerner Bakterien unter Rückgriff auf zahlreiche verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen mit der Struktur und Funktion des eigenen Körpers gründen (*Kleine Lebewesen*). Lerner verwenden die Metaphern unspezifischer als Mikrobiologen, weil ihnen evidenzbasierte Vorstellungen von Bakterien weitgehend nicht verfügbar sind. Ein Bewusstsein dafür, dass sie ein metaphorisches Verständnis verwenden, scheint den meisten Lernern zu fehlen.

Mikrobiologen stellen sich die zielgerichtete bakterielle Fortbewegung als Chemotaxis vor. Es handelt sich um einen komplizierten Mechanismus, in dem molekulare Rezeptoren über chemische Mittlerstoffe einen Schalter umlegen, wenn Bakterien sich in Lockstoffgradienten befinden. Die bakterielle Flagelle wechselt in der Zeiteinheit weniger häufig ihre Rotationsrichtung, Bakterien bewegen sich dann mehr oder weniger geradlinig vorwärts (*Zielgerichtete bakterielle Fortbewegungsweise*). Lerner hingegen können die zielgerichtete bakterielle Fortbewegung durch Imagination mit Leichtigkeit verstehen, indem sie das Schema *Person* (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) auf Bakterien übertragen (*Zielgerichtete Bakterien*). Unzählige Male haben sie sich Objekten ihrer Umgebung, die attraktiv zu sein schienen, genähert. Die in diesen Erfahrungen gründenden verkörperten Vorstellungen werden auf Bakterien übertragen.

Lerner, die Erfahrungen mit der mikroskopisch wahrnehmbaren bakteriellen Fortbewegung gemacht haben, verfügen über die Vorstellung, dass Bakterien sich sehr schnell fortbewegen (*Mikroschnelle Bakterien*). Mikrobiologen verfügen ebenfalls über die Vorstellung mikroskopisch schneller Bakterien. Im Unterschied zu Lernern haben Mikrobiologen Größenordnungen von Bakterien und der bakteriellen Umwelt aufgebaut (*Mikroumgebung*). Sie kennen die Entfernungen, die Bakterien in der Zeiteinheit zurücklegen und können aufgrund dessen ihre Geschwindigkeit richtig einschätzen. Sie ist im Vergleich zur Geschwindigkeit makroskopischer tierlicher Lebewesen absolut gering (*Makrolangsame Bakterien*). Beziehen Mikrobiologen die in der Zeiteinheit zurückgelegten Strecken von Bakterien und makroskopischen Lebewesen auf die Körperlänge, sind Bakterien vergleichsweise schneller (*Mikroschnelle Bakterien*).

Lebensweltliche Vorstellungen beeinflussen also sowohl das mikrobiologische Verständnis von Mikrobiologen als auch das von Schülern. Aus Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird dieser Sachverhalt auf den gemeinsamen Erfahrungshintergrund der beiden Gruppen zurückgeführt. In der Vermittlung der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, werden Vorstellungen von Wissenschaftlern, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, von Lernern einerseits direkt verstanden, andererseits können

diese Vorstellungen aber auch Lernschwierigkeiten darstellen. Sie erschweren den Lernern eine Unterscheidung nach lebensweltlich und fachwissenschaftlich angemessenen Vorstellungen und unterstützen die Tendenz, lebensweltlich vertraute Vorstellungen wie selbstverständlich auf mikrobiologische Gegenstände zu übertragen. Lernern wird die Notwendigkeit nicht einsichtig, ihre lebensweltlichen Vorstellungen im fachwissenschaftlichen Kontext infrage zu stellen.

6.1.5 Ernährung

Lerner können Bakterien als tierliche Lebewesen denken, die Nahrung aufnehmen, indem sie den Mund aufmachen und fressen, sie schlucken und scheiden auch aus (*Tierliche Ernährung*), sie können ein Verdauungssystem aufweisen (*Bakterien Verdauen*). Die Vorstellung, dass sich Nahrung im Magen oder im Darmlumen innerhalb des eigenen Körpers befindet, mag lebensweltlich unproblematisch sein. Aus der Perspektive der Vermittlung fachwissenschaftlicher Vorstellungen sind Verständnisprobleme der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, zu erwarten, wenn diese Vorstellung auf Bakterien übertragen wird. Mikrobiologen verfügen über die Vorstellung, dass sich Bakterien von organischem Material ernähren (*Organische bakterielle Ernährung*), im Unterschied zu Lernern denken sie dessen Aufnahme im Zusammenhang mit der Cytoplasmamembran, die eine selektive Permeabilität aufweist. Lerner verfügen über die Vorstellungen, dass Bakterien Nahrung als Energiequelle sowie als Bausteine benötigen, um sich in alle Richtungen auszudehnen (*Bakterien benötigen Nahrung*). Auch Mikrobiologen denken, dass Bakterien organisches Material als Energiequelle und Baustoff benötigen. Einerseits können sie sich aufgrund der Verfügbarkeit von bereichsspezifischem physikalischem Wissen Bakterien als Energiewandler vorstellen (*Bakterien als Energiewandler*). Aufgrund der Verfügbarkeit von biochemischem Wissen verfügen Mikrobiologen andererseits über die Vorstellung, dass Bakterien organisches Material zur Gewinnung von Monomeren benötigen, die sie zur Herstellung von Makromolekülen verwenden (*Monomer-Gewinnung*), aus denen Bakterien bestehen.

6.1.6 Kolonien

Mikrobiologen und Lerner denken Bakterienkolonien als aus vielen Bakterien bestehende biologische Gegenstände. Mikrobiologen verstehen Kolonien als Populationen von Bakterien (*Bakterienkolonien als Populationen*). Sie können sich vorstellen, dass ein Kolonie auf ein Gründerbakterium zurückgeht, das sich vermehrt hat. Mikrobiologen können sich Bakterienkolonien aufgrund ihrer Erfahrungen mit der Bakterienkultur (*Kultivierbare Bakterien*) sowohl als Gegenstände des Makrokosmos (*Wahrnehmbare Kolonien*) als auch als Gegenstände des Mikrokosmos (*Mikrokolonien*) vorstellen. Lerner stellen sich Bakterienkolonien als Versammlung von Bakterien vor (*Versammlung*). Diese Versammlung kann als migratorischer Prozess gedacht werden. Mikrobiologen und Lerner nutzen unterschiedliche Ursprungsbereiche, um Bakterienkolonien metaphorisch zu verstehen. Mikrobiologen übertragen evidenzbasierte Vorstellungen von lebendig als vermehrungsfähig auf Bakterienkolonien, Lerner übertragen lebensweltliche Vorstellungen von lebendig als fortbewegungsfähig.

Wissenschaftler und Lerner können einen gleichen Ursprungsbereich nutzen, um durch Imagination metaphorisches Verständnis von Bakterien zu erzielen. Kinder assoziieren mit Keimen Dreck und verstehen Bakterien metaphorisch als Schmutz. Sie übertragen verkörperte Vorstellungen auf Bakterien, die in lebensweltlichen Erfahrungen des Verschmutzens gründen (*Schmutz*). Mikrobiologen verstehen Bakterien metaphorisch als Verunreinigung, indem sie verkörperte Vorstellungen von Verschmutzen auf Bakterien übertragen. Dieses

Verständnis wird von evidenzbasierten Vorstellungen zu Leben modifiziert: An Staubpartikeln, die in eine Reinkultur gelangen, können Bakterien haften, die zu Kolonien heranwachsen können und die Reinkultur kontaminieren (*Kontaminierende Bakterien*). Lerner erreichen metaphorisches Verständnis von haftenden Bakterien, indem sie Vorstellungen von Haften, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit klebrigem Material gründen, auf Bakterien übertragen (*Unspezifisch haftende Bakterien*). Wissenschaftler verwenden ein metaphorisches Verständnis von Haften mit oder ohne bakteriellen Klebstoff, das durch Vorstellungen von bakteriellen Molekülen und ihren chemischen und physikalischen Wechselwirkungen modifiziert wird (*Haftung durch molekulare Wechselwirkungen*).

6.1.7 Antibiotika

Lernern bleibt es vorbehalten, Antibiotika metaphorisch zu verstehen, indem sie diese als kämpfend oder giftig vorstellen (*Kämpfende Antibiotika, Antibiotika als Herbizide*). Sie greifen dabei im ersten Fall auf verkörperte Vorstellungen zurück, die in lebensweltlichen Erfahrungen des Kämpfens gründen, und die auf Antibiotika übertragen werden. Die Vorstellung *Antibiotika als Herbizide* konnte bei Schülern einer Schule mit landwirtschaftlichem Spezialzweig erfasst werden, aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens überrascht es nicht, dass diese Lerner auf ihr Verständnis von den Herbizidwirkungen zurückgreifen, um die Wirkung eines Antibiotikums verstehen zu können. Wissenschaftler verstehen Antibiotika hingegen als Substanzen, die von Mikroorganismen produziert werden, und die andere Mikroorganismen abtöten oder deren Wachstum hemmen. Das Antibiotikum Penicillin schwächt die bakterielle Zellwand strukturell, im Zusammenspiel mit dem hohen osmotischen Innendruck, der in bakteriellen Zellen herrscht (*Bakterien als Druckbehälter*), kommt es zur Lyse der Bakterien (*Penicillin als Auslöser*). Aufgrund struktureller und funktioneller Alleinstellungsmerkmale bakterieller Zellen (*Molekular abweichende Bakterienstruktur*) wirkt Penicillin nur auf Bakterien ein (*Spezifische Penicillin-Wirkung*).

Lernern und Mikrobiologen ist gemein, dass sie sich Bakterien im Zusammenhang mit Antibiotika metaphorisch als schädlich vorstellen können (*Schädliche Bakterien*). Beide Gruppen nutzen aber unterschiedliche Ursprungsbereiche. Viele Lerner übertragen verkörperte Vorstellungen von Erkranken und Wiedergesundwerden auf Antibiotika. Antibiotika wirken auf den menschlichen Körper oder seine Zellen ein. Mikrobiologen hingegen nutzen verkörperte Vorstellungen von Leben als sich vermehren und sterben, Antibiotika töten Bakterien entweder ab oder hindern sie an der Vermehrung. Werden Bakterien nicht im Zusammenhang mit Antibiotika gedacht, können sie in beiden Gruppen als nützlich vorgestellt werden (*Nützliche Bakterien*): Lerner können Bakterien als Helfer bei der menschlichen Verdauung denken, Mikrobiologen stellen sich Bakterien im Darm und auch in der Biotechnologie als nützlich vor. Nur Mikrobiologen unterscheiden nach erwünschten und unerwünschten Bakterien (*Erwünschte Bakterien, Unerwünschte Bakterien*). Aufgrund evidenzbasierter Vorstellungen können sie Bakterienarten anhand von Merkmalen unterscheiden und nach in der Kultur erwünschten und unerwünschten differenzieren.

6.2 Leitlinien der didaktischen Strukturierung

Der Vergleich der Ergebnisse der fachlichen Klärung mit den Ergebnissen der Analysen empirisch erhobener Lernervorstellungen zu Bakterien, von denen in der Literatur berichtet wird, bietet die Möglichkeit, die Vermittlung der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, zu optimieren. Dazu werden Leitlinien formuliert, die Vermittlungssituationen strukturieren können, in denen Änderungen der auf Bakterien bezogenen Lernervorstel-

lungen angestrebt werden. Von diesen Leitlinien werden die im Kapitel „*Lernprozessbeobachtungen*“ zu findenden Interventionen abgeleitet, die als Lernangebote in Vermittlungssituationen eingesetzt werden und deren Wirksamkeit für das Lernen mikrobiologischer Zusammenhänge durch die Beobachtung der Lernprozesse erfasst und analysiert wird.

Leitlinie 1: Lernern die Welt der Bakterien erschließen

Vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens werden die Unterschiede im Verständnis von Bakterien, die beim Vergleich der Vorstellungen von Wissenschaftlern und von Lernern zu erfassen sind, darauf zurückgeführt, dass Wissenschaftler aufgrund ihrer experimentellen Erfahrungen im Umgang mit Bakterien über evidenzbasierte Vorstellungen von Bakterien verfügen können. Lerner machen in ihrem Alltag keine Erfahrungen mit Bakterien, lebensweltliche Vorstellungen zu mikrobiologischen Phänomenen sind ihnen also nicht verfügbar. Aus den Analysen der empirischen Literaturbefunde geht zudem hervor, dass die meisten Lerner auch über keine wissenschaftsorientierten mikrobiologischen Vorstellungen verfügen können. Aufgründdessen verwenden sie ein metaphorisches Verständnis. Für die unterrichtliche Vermittlung ergibt sich daraus die Forderung, Erfahrungsräume zu schaffen, die Lernern die Möglichkeit bieten, wissenschaftsorientierte Erfahrungen mit Bakterien zu machen, um darin gründende wissenschaftsorientierte Vorstellungen entwickeln zu können. Diesem Zweck dienen die mikrobiologischen Versuche, die Lerner im Rahmen des geplanten Praktikums mit Bakterien durchführen (s. Kap. 7.3.2). Bei Beachtung einiger einschlägiger Sicherheitsbestimmungen im unterrichtlichen Umgang mit Bakterien (s. Lucius 1994; Müller 1994) bieten die geplanten Schülerversuche mit Bakterien bei vergleichsweise geringem apparativem und methodischem Aufwand Lernern die Möglichkeit, mikrobiologische Phänomene kennenzulernen.

Leitlinie 2: Vorgänge auf der zellulären und molekularen Ebene heranziehen, um beobachtbare mikrobiologische Phänomene zu verstehen

Ausgehend von den makroskopisch beobachtbaren Veränderungen im Nähragar der Ansätze des geplanten mikrobiologischen Praktikums, dem bakterienhaltiges Tümpelwasser untergemischt wurde, haben Lerner Gelegenheit, auf Prozesse zu schließen, die auf der mikroskopischen und auch submikroskopischen Größenebene mikrobiologischer Gegenstände stattgefunden haben. Der Umstand, dass Bakterien in der Tümpelwasserprobe nicht, sehr wohl aber nach der Bebrütung im Nähragar der Petrischalen wahrnehmbar sind, sollte für Lerner einen Aufforderungscharakter haben, gedankliche Verknüpfungen zwischen der makroskopischen und mikroskopischen Größenebene herzustellen. Wie die empirischen Untersuchungen von Lernervorstellungen zeigen, können Lerner ein metaphorisches Verständnis von Zellen verwenden, ohne auf die fachwissenschaftlichen Konzepte zurückzugreifen. Durch Imagination werden Vorstellungen von einem Ursprungsbereich auf einen Zielbereich übertragen: Bakterien und bakterielle Prozesse werden nach den konzeptuellen Strukturen eines Ursprungsbereichs kartiert. Dies konnte beispielsweise anhand der unter der Denkfigur *Kleine Lebewesen* subsumierten Konzepte gezeigt werden. Aus Sicht eines Lernens wissenschaftsorientierter Vorstellungen können Prozesse auf der makroskopischen Ebene fachwissenschaftlich aber nur verstanden werden, wenn die Konzepte zu den Strukturen und Prozessen auf zellulärer und molekularer Ebene verstanden und die verschiedenen Ebenen auch aufeinander bezogen werden. So hat die in der Literatur empirisch erfasste Lernervorstellung einer Vermehrung von Zellen durch Teilung keinen fachwissenschaftlichen Erklärungswert für den Aufbau von Bakterienkolonien, wenn das Schema *Mehr-Werden* von Bakterien nicht um das Schema *Größer-Werden* von Bakterien ergänzt wird. Oder: Wird Wachstum als *Größer-Werden* als mechanischer Prozess des Aggregierens vorgestellt, hat diese Vorstellung aus fachwissen-

schaftlicher Perspektive keinen Erklärungswert auf der submikroskopischen Größenebene, z.B. um strukturelle und funktionelle Eigenschaften der bakteriellen Zellwand verstehen zu können. Lernern wird aus den genannten Gründen die Möglichkeit geboten, zur Erklärung makroskopisch beobachtbarer mikrobiologischer Phänomene mikrobiologische Vorgänge auf der mikroskopischen und submikroskopischen Ebene heranzuziehen. Bei der Suche nach Erklärungen wechseln die Lerner beständig die Ebenen bakterieller Organisation. In metaphorischer Sprechweise werden sie, ausgehend von den beobachteten makroskopischen Phänomenen, „*treppabwärts*“ hinab in den Mikrokosmos und Submikrokosmos geführt. Das erreichte mikrobiologische Verständnis auf Ebene der Moleküle und Zellen wird herangezogen, um „*treppaufwärts*“ makroskopische mikrobiologische Phänomene verstehen zu können.

Leitlinie 3: Den Wechsel der Größenebenen gestalten

Der Wechsel von einer Größenebene zur anderen sollte so gestaltet werden, dass die Besonderheiten bakterieller Prozesse auf den verschiedenen Größenebenen erfahren werden können. Dabei spielt der Aufbau von Größenordnungen eine zentrale Rolle, weil nur sie es Lernern ermöglichen, die verschiedenen Organisationsebenen zu erfassen und fachlich richtig aufeinander zu beziehen. Insbesondere aber wird es ihnen ermöglicht, an Größenvorstellungen, die in den reichhaltigen mesokosmischen Erfahrungen gründen, die jeder Mensch macht anzuknüpfen. Aus diesem Grund wird sichergestellt, dass den Lernern die Einheiten Nanometer, Mikrometer und Millimeter des metrischen Systems bekannt sind und auch ineinander umgerechnet werden können. Ohne dieses Wissen ist es nicht möglich, die Abmessungen von submikroskopischen, mikroskopischen und makroskopischen Objekten aufeinander zu beziehen und Größenordnungen aufzubauen. Verwendete Abbildungen von Bakterien sollen Größenmaßstäbe aufweisen. Wenn Abbildungen aus der Literatur verwendet werden, die dieser Forderung nicht entsprechen, weil sie nicht mit einem Maßstab versehen wurden, werden die Lerner an gegebener Stelle auf die tatsächliche Größe aufmerksam gemacht.

Werden Modelle zur Vorstellungsvermittlung verwendet, um Lernern Phänomene auf der zellulären und molekularen Ebene zugänglich zu machen, um dann ihre Konzepte und Erklärungen erfassen zu können, kann es im Einzelfall zu Verzerrungen der Größenordnungen der im Modell verwendeten Komponenten kommen. Dann werden die Lerner darauf aufmerksam gemacht, indem die tatsächlichen Abmessungen benannt und am Modell problematisiert werden, damit die Größenordnungen nicht falsch gelernt werden.

Die oben formulierte Leitlinie bildet den Rahmen für Lehr-Lern-Arrangements, die auf einem Wechsel der Größenebenen basieren. Die Lerner sollen zunächst Erfahrungen mit bakteriellen Phänomenen machen, die auf der makroskopischen Größenebene beobachtet und beschrieben werden können. Ausgehend von den mit bloßem Auge wahrnehmbaren Bakterienkolonien im Nähragar der Versuchsansätze werden sie auf die mikroskopische und submikroskopische Ebene und wieder zurückgeführt (*treppabwärts*, *treppaufwärts*), die verschiedenen Ebenen können als zusammengehörend gedacht werden. Ein besonderes Augenmerk gilt den bei der Integration der verschiedenen Ebenen auftretenden Lernschwierigkeiten. Dieses Vorgehen entspricht am ehesten der von Knippels (2002) für den Bereich der Genetik beschriebenen Strategie, von der organismischen Größenebene ausgehend, zelluläre und molekulare genetische Prozesse zu problematisieren, um genetische Schlüsselkonzepte zu vermitteln. Bezeichnenderweise wählt die Autorin dafür den Begriff „Yo-Yo Lehr-Lern-Strategie“.

Leitlinie 4: Die Grenzen des metaphorischen Verständnisses verdeutlichen

Beim Wechsel von der makroskopischen auf die mikroskopische und submikroskopische Ebene ist aus wissenschaftlicher Perspektive von einer Diskontinuität auszugehen, oder anders ausgedrückt: Metaphorisches Verständnis, das durch Übertragung lebensweltlicher Vorstellungen auf die mikroskopische und submikroskopische Größenebene erreicht wird, genügt fachwissenschaftlichen Vorstellungen oft nicht, weil die Strukturen und Prozesse dort und im lebensweltlich vertrauten Mesokosmos oft nicht gleich sind. Wie die Reanalysen empirisch ermittelter Lernervorstellungen gezeigt haben, denken viele Lerner bakterielle Nahrungsaufnahme beispielsweise sehr anschaulich als Essen. Oder: Lerner stellen sich Antibiotika als kämpfend vor. Durch Imagination übertragen Lerner verkörperte Vorstellungen auf Bakterien und bakterielle Prozesse und erreichen mit einer gewissen Leichtigkeit ein Verständnis im Mikrokosmos. Diese Perspektive auf Gegenstände des Mikrokosmos ist von der Perspektive der Mikrobiologen oftmals sehr weit entfernt. Die Lerner werden Gelegenheit bekommen, die fachwissenschaftliche Perspektive auf mikrobiologische Phänomene kennenzulernen. Aus Sicht der Ergebnisse der conceptual-change-Forschung darf erwartet werden, dass Lerner auf diese Weise zwischen lebensweltlichem und wissenschaftsorientiertem Verständnis zu unterscheiden lernen.

7 Erfassen der Lernerperspektiven: Analyse von Interviewphasen in Vermittlungsexperimenten

Thema dieses Kapitels sind Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen, die Lerner im Gespräch vorstellen. Die Lerner werden – nachdem sie mikrobiologische Experimente durchgeführt haben – befragt. Die Lernfortschritte und die damit einhergehenden Vorstellungsänderungen, die sie – vom ersten Blick auf die Petrischalen an – machen, werden in Vermittlungsexperimenten über einen bestimmten Zeitraum erfasst. Die Interviewphasen werden aufgezeichnet und dann nach der Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kap. „*Fachliche Klärung*“) untersucht.

7.1 Fragestellung

Analysiert wurden die Lernaussagen auf dem Hintergrund übergreifender Fragestellungen, die sich wie folgt differenzieren:

1. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakteriengröße?
2. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakterienstruktur?
3. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakterienernährung?
4. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zur Bakterienbeweglichkeit?
5. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zum Bakterienwachstum?
6. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zu Antibiotika?
7. Über welche Vorstellungen verfügen Lerner zu Bakterienkolonien?

7.2 Methode

7.2.1 Wahl der Methode

Die Methoden, mit denen Vorstellungen erfasst werden, hängen von der jeweiligen Fragestellung und dem Forschungsgegenstand ab. Flick (1995, S. 280) spricht von Gegenstandsangemessenheit von Theorien und Methoden, wenn es um die Entscheidung zwischen qualitativen und quantitativen Erhebungsmethoden geht. Um individuelle Denkstrukturen von Lernern und auch ihre Veränderlichkeiten zu erfassen und interpretativ erschließen zu können, muss innerhalb des methodischen Rahmens der Untersuchung eine Problemzentriertheit, Offenheit und Interaktivität möglich sein. Im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion wird daher mit der Qualitativen Inhaltsanalyse auf eine sozialwissenschaftliche Methode zurückgegriffen, die eine Subjektbezogenheit ermöglicht, um die Lernerperspektiven in ihrer Komplexität und Veränderlichkeit erfassen zu können. Wie Mayring (2005) am Beispiel der Qualitativen Inhaltsanalyse zeigen kann, existiert (in metaphorischer Ausdrucksweise) keineswegs ein Graben zwischen qualitativen und quantitativen Methoden. Die Kategoriebildung und Zuordnung von Kategorien zu einem Text sind nach Mayring (2005) „eindeutig qualitative Schritte, in aller Regel werden dann aber Kategoriehäufigkeiten erhoben und quantitativ analysiert“. Es wäre also nicht auszuschließen, dass auf Basis der im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion mit qualitativen Methoden erhobenen Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen in einer nachfolgenden Untersuchung

auch quantitative Analysemethoden eingesetzt werden. Die Abfolge der Untersuchungen ließe sich aber aus den oben genannten Gründen nicht umkehren.

7.2.2 Das Vermittlungsexperiment

Innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion hat sich das Vermittlungsexperiment (teaching experiment) als geeignete Untersuchungsmethode bewährt (s. Komorek et Duit 2004; Riemeier 2005). Es handelt sich dabei im Grunde um eine Weiterentwicklung der Methodik des klinischen Interviews nach Piaget (s. Piaget 2005), die den Anforderungen der didaktischen Lehr-Lern-Forschung angepasst wurde. Von der klassischen Methode nach Piaget unterscheidet sich das Vermittlungsexperiment in erster Linie dadurch, dass der Forscher zusätzlich zur Rolle des Interviewers, dem es um die Erfassung von Lernervorstellungen geht, die Rolle eines Lehrers einnimmt, der eine Vermittlungsabsicht hat. Dabei werden Lerner mit erklärungsbedürftigen Phänomenen oder Sachverhalten konfrontiert, die mentale Aktivitäten zur Folge haben können, deren Fortschritte dann über einen bestimmten Zeitraum erfasst werden (s. Steffe et D'Ambrosio 1996). Die beiden Autoren beschreiben den Unterschied zwischen der klassischen Methode nach Piaget und dem „teaching experiment“ wie folgt: „Die klinische Methode zielt darauf ab herauszufinden, wo Schüler sind, wohingegen das Vermittlungsexperiment auf den Fortschritt abzielt, den Schüler über einen bestimmten Zeitraum machen können“. Die Doppelfunktion, die ein Interviewer in Vermittlungsexperimenten hat, führt zu einem beständigen Wechsel seiner Rolle: Als Ermittler spürt er den Lernervorstellungen nach, die er vor dem Hintergrund der auf den Gegenstand bezogenen Leitfragen deuten muss, um dann im passenden Moment Interventionen einzubringen, deren Wirksamkeit im Sinne der Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen er dann analysiert. Während das teaching experiment von Steffe et D'Ambrosio (1996) ursprünglich mit Einzelpersonen durchgeführt wurde, haben Komorek et Duit (2004) Vermittlungsexperimente mit mehreren Lernern durchgeführt. Die Autoren sehen die Vorteile von Gruppeninterviews darin, dass der Interviewer den Aushandlungsprozess zwischen den Lernern erfassen kann. Dabei scheint eine Gruppengröße von mehr als zwei Lernern aufgrund der vielfältigeren Interaktionsmöglichkeiten am ehesten geeignet zu sein, Lernprozesse in Gruppen erfassen und analysieren zu können (vgl. Alexopoulou et Driver 1996). Auf der anderen Seite ist es schwierig, die Interaktionen bei mehr als drei Lernern und einem Lehrer im Blick zu halten.

Die Vermittlungsexperimente, die weiter unten zu analysieren sind, werden aus den oben genannten Gründen in Gruppen, die aus drei Lernern bestehen, durchgeführt. Die Sitzungen, in denen die auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Lernervorstellungen und auch die Wirksamkeit von Interventionen erfasst werden, dauern maximal 90 Minuten, um mentaler Erschöpfung aller Beteiligten vorzubeugen; in der Regel haben sich die Lernergruppen zu mehreren Sitzungen eingefunden.

7.2.3 Maßnahmen zur Sicherung der Qualität der Ergebnisse

Zur Planung eines Forschungsprojektes gehören auch Maßnahmen, die geeignet sind, die Qualität der Forschungsergebnisse einschätzen und sichern zu können, dabei stehen die Auswahlgültigkeit, die Verfahrensgültigkeit und die korrelative Gültigkeit im Vordergrund (Gropengießer 1997, S. 95, 96).

Auswahlgültigkeit

Bei den Lernern, die an den Vermittlungsexperimenten teilnehmen, handelt es sich zum einen um ganz „normale“ Schüler des zehnten Jahrgangs, damit wird das Kriterium „Auswahlgültigkeit“ insofern erfüllt, als es sich bei den Ergebnissen nicht um extreme Ausnahmefälle handelt, so dass Vorstellungen auf einer Entwicklungsstufe erhoben würden, die von den meisten anderen Schülern der Jahrgangsstufe längst überwunden ist, oder aber Vorstellungen auf einer Entwicklungsstufe erfasst werden, die von den meisten Schülern der Jahrgangsstufe noch gar nicht erreicht ist. Zum anderen wird aber auch angestrebt, eine möglichst hohe Variation der Vorstellungen zu erfassen, was durch den Zugang zum Untersuchungsfeld sichergestellt wird (s. Kap. 7.3.1).

Verfahrensgültigkeit

Die Validität des Verfahrens wird in Anlehnung an akzeptierte Gütekriterien qualitativer Sozialforschung (Mayring 2003) nach Gropengießer (1997, S. 96) durch folgende Maßnahmen gesichert:

1. Verfahrensdokumentation: Die Bedingungen und Verfahren der Erhebung, die Aufbereitung und Auswertung des Materials werden detailliert und nachvollziehbar dokumentiert.
2. Schrittweises und kontrolliertes Vorgehen: Das methodische Vorgehen wird im Vorfeld im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion festgelegt und erfolgt schrittweise und sequentiell unter Berücksichtigung der Fragestellung. Eine dritte Person kontrolliert die Auswertung, dadurch wird das systematische Vorgehen ergänzt und kontrolliert. Die Prozesse und Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden in der Arbeitsgruppe „Biologiedidaktik“ der Universität Hannover einer kritischen Diskussion unterworfen.
3. Argumentative Interpretationsabsicherung: In der Explikation und der Zusammenfassung werden die Interpretationen argumentativ abgeleitet.
4. Mitwirkung der Probanden: Auskünfte über eigene Vorstellungen zu geben kann (nicht nur) für Lerner zugleich peinlich, aber auch sehr interessant sein. Die Mitwirkung der Befragten ist eine entscheidende Voraussetzung für das Gelingen einer Befragung und hängt von den sprachlichen Fähigkeiten aller Beteiligten und der Bereitschaft der Lerner, Auskunft zu geben, ab. Der Versuchsleiter schafft eine Atmosphäre, die eine vertrauensvolle Mitwirkung der Probanden gewährleistet. Im Vermittlungsexperiment könnten Lerner durch den Rollenwechsel des Interviewers irritiert werden, da er einerseits in der Rolle des teilnehmenden und einfühlsamen Zuhörers, andererseits aber auch als Vermittler auftritt. Dieses Rollenspiel ist den Lernern transparent zu machen.
5. Interne methodologische Triangulation: Die Vermittlungsexperimente sind im Vorfeld so zu planen, dass an verschiedenen Stellen der Befragungen und Interventionen auf gleiche Aspekte von Bakterien und bakteriellen Prozessen abgehoben wird. Auf diese Weise ist es möglich, die zu verschiedenen Zeitpunkten erfassten Aussagen der Lerner miteinander zu vergleichen: Gleichsinnige Vorstellungen erhöhen die Validität der jeweiligen Aussagen. Beispielsweise werden bei den durchgeführten Befragungen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten Vorstellungen zur Begründung von Bakterienkolonien erhoben, einmal ausgehend von den makroskopisch beobachtbaren Bakterienkolonien und einmal unter der Fragestellung, ob die Zahl der Bakterien in Wasserproben

mit der von den Lernern durchgeführten Methode der Bakterienkultur bestimmt werden kann.

6. Korrelative Gültigkeit: Sollten die Ergebnisse – trotz der oben angeführten Maßnahmen – Sonderfälle, die nur für den jeweiligen Lerner eine Bedeutung haben, darstellen, bietet das Modell der Didaktischen Rekonstruktion die Möglichkeit, die Ergebnisse mit Untersuchungen aus anderen Bereichen zu vergleichen, nämlich mit den empirisch erhobenen Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen, von denen in der Literatur berichtet wird, sowie mit diesbezüglichen Vorstellungen aus der Fachwissenschaft der Mikrobiologie.

7.3 Vorgehensweise bei der Erhebung der Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen

7.3.1 Zugang zum Untersuchungsfeld

Zur Auswahl der Lerner wurden Lehrer an mehrerer Hamburger Gymnasien gebeten, Schüler der 10. Klasse mit einem mittleren Leistungsniveau zu benennen, die als kommunikativ eingeschätzt werden. Die Schüler wurden gebeten, in Dreiergruppen am mikrobiologischen Praktikum und an den Interviews teilzunehmen. Die Bildung der Dreiergruppen wurde den Lernern überlassen und auch, ob diese gleichgeschlechtlich oder zweigeschlechtlich sind. Die Wahl der Jahrgangsstufe 10 stellt sicher, dass die Lerner die Zelltheorie und auch die Keimtheorie der Krankheiten bereits im Unterricht behandelt haben (s. Bildungspläne für Gymnasien, Behörde für Bildung und Sport, Freie und Hansestadt Hamburg 2003). Beim ersten Treffen mit den benannten Schülerinnen und Schülern (Alter: 15 bis 16 Jahre) stellte ich mich als externes Mitglied der Arbeitsgruppe „Biologiedidaktik“ der Universität Hannover vor, der daran interessiert sei, mit ihnen ein mikrobiologisches Praktikum durchzuführen und in einem zweiten Schritt in der Gruppe auch Interviews durchzuführen, um mit ihnen über die Experimente ins Gespräch zu kommen. Als Ziel des gemeinsamen Vorhabens wurde den Lernern die Optimierung des Biologieunterrichts in Klasse 10 genannt. Bei der ersten Kontaktaufnahme schon ist es wichtig, deutlich zu machen, dass der Interviewer den Schülern als außerhalb der schulischen Hierarchie stehend begegnet, um eine angenehme und vertrauensvolle Situation zu schaffen und um den nichtschulischen Charakter des Vorhabens begreifbar zu machen, wengleich für das Praktikum die Fachräume der Biologie eines Hamburger Gymnasiums genutzt werden sollten. Es handelt sich für die Schüler also zunächst nicht um einen neutralen, also außerschulischen Ort. Den Schülern wurde eine Anleitung zu den geplanten Versuchen ausgehändigt (s. Anhang unter „*Versuchsanleitung*“), in der die Methode des Gussplattenverfahrens (s. Schneeweiß 2003) und auch die verschiedenen Tätigkeiten im mikrobiologischen Labor erörtert werden. Die Schüler wurden darauf hingewiesen, dass für sie ein zeitlicher Aufwand von maximal drei nachmittäglichen Sitzungen (ca. 60 Minuten) zu leisten sei; auch wurde darauf aufmerksam gemacht, dass die Gesprächsphasen in Bild und Ton aufgezeichnet würden. Den Schülern wurde eine Einverständniserklärung für die Hand der Erziehungsberechtigten ausgehändigt, in der das Vorhaben vorgestellt wird. Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass die personenbezogenen Daten erhoben und verarbeitet werden, wobei die Anonymisierung der Daten aber dadurch gewährleistet ist, dass die Namen der Schüler bei der Verschriftlichung von Interviewphasen geändert werden. Vermittlungsexperimente wurden nur mit solchen Lernern durchgeführt, welche die Einverständniserklärung mit gültiger Unterschrift der Erziehungsberechtigten auch vorweisen konnten.

7.3.2 Das mikrobiologische Praktikum

Zur Durchführung des mikrobiologischen Praktikums wurden die Biologiefachräume eines Hamburger Gymnasiums genutzt. Dessen Schulleitung wurde über das geplante Forschungsvorhaben informiert, eine Erlaubnis zu seiner Durchführung wurde erteilt. Zum mikrobiologischen Praktikum haben sich jeweils drei Lerner am Nachmittag eines Wochentages in den Biologie-Fachräumen des Gymnasiums eingefunden. Nachdem den Lernern die Räume und die für die Versuche zu nutzenden Einrichtungen und Gerätschaften gezeigt worden sind, hatten sie Gelegenheit, die Versuchsanleitung zunächst in der Gruppe durchzusprechen, Unklarheiten konnten sie dann auch im Gespräch mit dem Interviewer ansprechen. Dadurch soll einem Abarbeiten der Versuchsanleitung in Art eines Rezeptes schon im Vorfeld vorgebeugt werden. Die Lerner wurden dann auf die einschlägigen Sicherheitsbestimmungen im Umgang mit Bakterien aufmerksam gemacht; ihnen wurde die Funktionsweise von Auslaufpipetten erklärt, jeder Lerner hatte Gelegenheit in einer Art „Trockenübung“ Erfahrungen mit der Handhabung einer Auslaufpipette zu machen. Bei Problemen, die während des Experimentierens aufgetreten sind – beispielsweise wie mit einer Waage die in der Versuchsanleitung angegebenen Mengen an Agar und Nährpulver exakt abgewogen werden oder wie eine Tümpelwasserprobe durch ein bakteriendichtes Filter gedrückt wird – hat der Interviewer die Lerner beraten.

Zur Vorbereitung der verschiedenen Versuchsansätze (Übersicht, s. Tab. 7.1) haben die Lerner den Nähragar aufgeköcht und davon nach Abkühlung auf 40°C jeweils 9 ml in Petrischalen gegeben. Alle Lerner haben in eine Petrischale zusätzlich 1 ml Tümpelwasser pipettiert (Petrischale 1), das Ganze gut vermischt, gelieren lassen und 24 Stunden im Brutschrank (37°C) gehalten.

Zugaben	Tätigkeiten	Ansätze			
		1	2	3	4
Tümpelwasser		x	x	x	x
Nährpulver		x	x		x
Agar		x	x	x	x
Penicillin			x		
	abmessen	x	x	x	x
	vermischen	x	x	x	x
	verflüssigen	x	x	x	x
	gelieren	x	x	x	x
	filtern				x
	bebrüten	x	x	x	x
	sterilisieren	x	x	x	x
	auswerten	x	x	x	x

Tab. 7.1: Die mikrobiologischen Versuchsansätze. In ihrem mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner die Ansätze 1-4 angelegt und wie gezeigt weiterbehandelt. Die Lerner der Vermittlungsexperimente Exp 5, Exp 7, Exp 11 haben vom Schema abweichend folgende Ansätze angelegt: Ansatz 1a-c (Nähragar und Tümpelwasser), Ansatz 2 a-c (Nähragar und gefiltertes Tümpelwasser, Ansatz 3 a-c (Nähragar mit abgekochtem Wasser)

Die Lerner der Gruppen Exp 1-4, Exp 6, Exp 8-10 sowie Exp 12 haben drei weitere Petrischalen angelegt: In ihrer Petrischale 2 haben sie dem handwarmem Gemisch aus Tümpelwasser und Nähragar das Antibiotikum Penicillin (5 mg / 100 ml) zugegeben, in Petrischale 3 wurde das Nährpulver weggelassen, in Petrischale 4 wurde dem Nähragar gefiltertes Tümpelwasser (1ml) zugegeben, wobei die Porengröße des Membranfilters, durch das die Lerner die Tümpelwasserprobe gedrückt haben, 0,2 Mikrometer betrug. Die Lerner der Grup-

pen Exp 5, Exp 7 und Exp 11 haben alle Ansätze dreifach angelegt: Petrischale 1 a-c (Nähragar und Tümpelwasser), Petrischale 2a-c (Nähragar mit gefiltertem Tümpelwasser), Petrischale 3a-c (Nähragar mit 1 ml abgekochtem Wasser).

In Abbildung 7.1 sind die Zeit- und Inhaltspläne der zusammen mit den Lernern durchgeführten Aktivitäten der Übersichtlichkeit wegen abgebildet. In der Regel, wenn sich die Praktikumsphasen nicht allzu sehr in die Länge gezogen haben und es der Zeitplan der Lerner ermöglichte, wurde nach dem Praktikum (Tag 1) eine erste Interviewphase durchgeführt, um die auf die Ansätze bezogenen Erwartungen der Lerner erfassen zu können. Wenn es der Terminplan der Lerner ermöglichte, wurden die Petrischalen schon am nächsten Tag in einer zweiten Interviewsitzung im Rahmen der Vermittlungsexperimente in Augenschein genommen. Bevor die Lerner ihre Petrischalen nach der Bebrütung in die Hände genommen haben, wurde reichlich hochprozentiger Alkohol hineingegeben, um jegliche Infektionsgefahr auszuschließen. Wenn dies nicht möglich war, wurden die Nährböden nach 24-stündiger Bebrütungszeit vom Autor mit Alkohol überschichtet und die Petrischalen in luftdicht schließenden Gefäßen bis zur nächsten Sitzung im Kühlschrank aufbewahrt. Nach den Vermittlungsexperimenten wurden die Petrischalen in Kunststoffbeutel verpackt und in einem Schnellkochtopf 30 Minuten in der Hitze unter einer Wasserdampfathmosphäre gehalten.

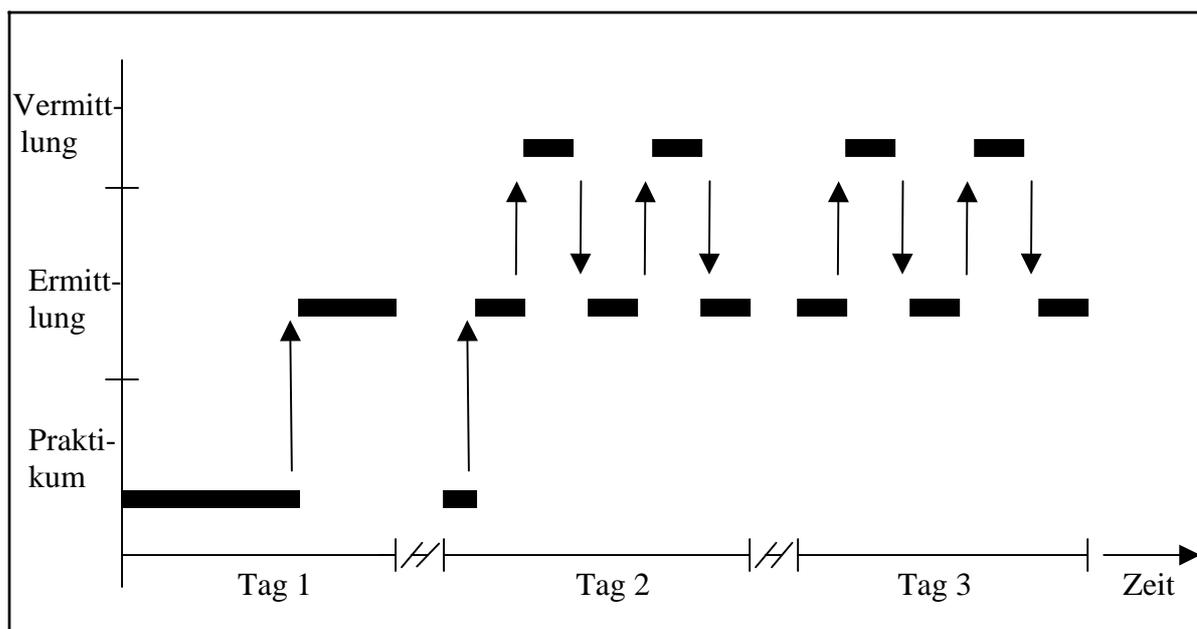


Abb. 7.1: Zeit- und Inhaltspläne der mit den Lernern durchgeführten Aktivitäten. Die Abbildung zeigt die Aufeinanderfolge von Praktikumsphasen und Interviewphasen. Im Vermittlungsexperiment lösen sich Phasen der Ermittlung von Lernervorstellungen und Phasen der Vermittlung mithilfe didaktisch rekonstruierter Lernangebote ab. Die Pfeile dokumentieren den Wechsel von einer Phase zu einer anderen.

7.3.3 Durchführung der Vermittlungsexperimente

Die Vermittlungsexperimente wurden in den Fachräumen eines Hamburger Gymnasiums durchgeführt, die den Lernern bereits vom mikrobiologischen Praktikum her bekannt waren, dort befand sich auch die installierte Videokamera. Nach dem Hinweis auf die Anonymisierung der Gesprächsbeiträge und der Klärung der Anredeformen wurden die unterrichtlichen

Vorerfahrungen der Lerner im mikrobiologischen Bereich geklärt. Dann wurde den Lernern erörtert, welche Rolle sie und der Interviewer bei den Vermittlungsexperimenten spielen: Letzterer – so wurde geklärt – nehme die Rolle eines Zuhörers ein, der sich in das Gespräch einschaltet, wenn er die Vorstellungen der Gesprächsteilnehmer nicht ganz verstanden hat oder um Material oder Fragen in die Lerngruppe einzubringen. Die Lerner wurden ermuntert, frei zu erzählen, dabei aber darauf zu achten, sich zuzuhören und sich nicht gegenseitig ins Wort zu fallen.

Aufzeichnungen

Die Vermittlungsexperimente wurden mit einem digitalen Video Camcorder (Typ: Canon MV6i MC) aufgezeichnet, an den Camcorder wurde über ein Mischpult (Typ Phonic MU 502) ein externes Mikrophon (Typ Stagg MCO-7W) angeschlossen, die Audiosignale wurden vom Camcorder synchron mit den Bilddaten aufgezeichnet. Die Kombination von Bild- und Audiodaten ermöglicht in der Regel eine eindeutigere Identifizierung von Sprechern als bei alleiniger Aufzeichnung des Tons, die Transkription der Redebeiträge ist dadurch erheblich einfacher. Aufgrund des externen Mikrophons war es auch möglich, die Kamera auf ein Stativ etwas abseits der Gesprächsrunde zu stellen, so dass die Aufmerksamkeit der Lerner nicht allzu sehr abgelenkt wurde.

Einbringen der Interventionen

Aufgrund des hohen Aufforderungscharakters, den das praktische mikrobiologische Arbeiten für die Lerner gehabt hat, spielte mangelnde Motivation, sich über die durchgeführten Versuche zu unterhalten, keine Rolle. Anfängliches Befremden der Lerner darüber, dass ihre Gespräche aufgezeichnet werden, verflüchtigte sich aufgrund des Interesses am Gesprächsgegenstand meist schnell. Die verschiedenen Petrischalen, welche die Lerner angesetzt hatten, lagen auf dem Tisch, in der Regel haben die Lerner die Petrischalen in Augenschein genommen und über die Veränderungen im Nähragar gesprochen, ohne dass der Interviewer anwesend war. Dieses Vorgehen hat sich angeboten, da den Lernern zuvor im mikrobiologischen Praktikum ein gemeinsamer Erfahrungsraum eröffnet worden war und die Ergebnisse des gemeinsamen Handelns in Gestalt der verschiedenen Petrischalen vorlagen. Es wurde vereinbart, dass die Lerner den Interviewer erst nach Abschluss dieser gruppeninternen Verständigungen zum Gespräch hinzubitten. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die Aufmerksamkeit der Lerner zunächst ganz den eigenen Vorstellungen von den Versuchsansätzen gehört und der Interviewer erst zum Gespräch gebeten wird, wenn die Lerner ihren Kommunikationsbedarf innerhalb der Gruppe abgesättigt zu haben glauben. Der hinzugebetene Interviewer kann sich dann von den Lernern über den Stand der Diskussionen unterrichten lassen und situativ angemessen Interventionen in die Lerngruppe einbringen, um Lernmöglichkeiten zu schaffen. Die Entscheidung darüber, welche Interventionen in welcher Reihenfolge einzusetzen sind, wird aufgrund des Gesprächsverlaufs getroffen, was aber auch bedeutet, dass nicht alle Interventionen in einem Vermittlungsexperiment eingesetzt werden können. Dies ist auch gar nicht anzustreben, da es nicht darum geht, ein Pensum abzuarbeiten, sondern den Vorstellungen der Lerner in ihrer Tiefe und gedanklichen Verflochtenheit nachzuspüren. Aufgrund der gewählten Ablaufstruktur sind die Vermittlungsexperimente in der Regel in eine spezifische Phasenstruktur eingebettet: 1) Eröffnen von Erfahrungsräumen 2) Bewusstwerden von Vorstellungen 3) Einsatz von Interventionen 4) Vorstellungsentwicklung, Entwicklung neuer Vorstellungen.

7.3.4 Interpretation der Lernervorstellungen

Gegenstand der Untersuchungen sind Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen, über die Lerner verfügen können. Lerner versuchen in der Hauptsache durch Äußerungen von Wörtern und Sätzen, an einigen Stellen der Untersuchung auch anhand von Zeichnungen, ihre Vorstellungen in Kommunikation innerhalb der Gruppe und mit dem Interviewer zu vermitteln. Den Äußerungen wird von allen Gesprächsteilnehmern eine Bedeutung zugewiesen. In Gruppeninterviews ist der Interviewer in der vorteilhaften Situation, die wechselseitigen Interpretationen, die während des Interaktionsprozesses von den Lernern vorgenommen werden, kennenzulernen, mit den eigenen Bedeutungszuweisungen zu vergleichen und diese schon in dieser Phase des Forschungsprozesses auch in Frage zu stellen. Der Reflexionsprozess wird anhand des Aufzeichnungsmaterials fortgesetzt und systematisiert, es handelt sich dabei um methodisch kontrolliertes Fremdverstehen (s. Gropengießer 1997, S. 105). Beispielsweise erschienen dem Interpreten Bennos Vorstellungen zur Versorgung von Bakterien mit Nährstoffen in Kolonien zunächst unverständlich (s. Benno, Kap. „*Lernervorstellungen zu Bakterienkolonien*“). Erst nach der systematischen Auswertung der Äußerungen Bennos unter Einbeziehung seiner Vorstellungen zum bakteriellen Wachstum (s. Benno, Kap. „*Lernervorstellungen zum Wachstum von Bakterien*“) hat sich dem Autor dieser Arbeit der Sinn der auf die Nährstoffversorgung bezogenen Vorstellungen des Lerners erschlossen. Wie schon weiter oben im Zusammenhang zur Qualitätsabsicherung gezeigt werden konnte, fungieren die Maßnahmen Interne methodologische Triangulation und Korrelativer Vergleich bei qualitativen Forschungsergebnissen als Kautelen gegen unzureichende Bedeutungszuweisungen bei der Interpretation von Lernaussagen. Der wohlwollenden und zugleich kritischen Haltung des Interpreten liegen nach Gropengießer (1997, S. 105, 106) folgende Annahmen zugrunde:

1. Aufrichtigkeit: Die Befragten sind ehrlich und ernsthaft.
2. Korrespondenz: Die Reaktionen des Interviewers und der Interviewten auf bestimmte Situationen oder Aspekte der Wirklichkeit stimmen in einem gewissen Maße überein.
3. Konsistenz: Die Interviewpartner sind bemüht, ihr Handeln mit ihren Vorstellungen in Einklang zu bringen.
4. Kohärenz: Vorstellungen sind nicht als beliebige Ansammlungen einzelner Urteile aufzufassen, vielmehr wird ein gewisses Maß gedanklicher Verknüpfung einzelner Vorstellungen unterstellt. Erkennt der Interpret diese Verknüpfungen nicht, erscheinen sie ihm unsinnig.
5. Parakonzepte: Zu einem Wirklichkeitsbereich können kontextabhängig verschiedene, sich auch widersprechende oder gegensätzliche Vorstellungen verfügbar gemacht werden, ohne dass dies den Interviewpartnern auffallen müsste. Davon zu unterscheiden sind Vorstellungen, die auf Erklärungsnotständen basieren, sie sind als Forschungsartefakte auszuschneiden.
6. Veränderung: Da die Ermittlung von Vorstellungen zugleich auch Merkmale einer Vermittlung aufweisen kann, können sich die bestehenden Vorstellungen der Interviewpartner während des Gesprächs verändern, aber situativ auch erst ad hoc konstruiert werden.
7. Fassbarkeit von Metaphern: Vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens werden die von Lernern verwendeten Metaphern nicht als bloße Worte aufgefasst, vielmehr verweisen sie auf kognitive Strukturen.

8. Kontextabhängigkeit der Bedeutung: Die Bedeutung einer Äußerung kann oftmals erst aus dem Kontext vorhergehender oder nachfolgender Äußerungen eines Befragten erschlossen werden.

7.3.5 Aufbereitung des Datenmaterials

Die Vermittlungsexperimente wurden auf Videokassetten (Format: Mini-DV) aufgezeichnet, die Daten auf die Festplatte eines Computers kopiert. Die Aufzeichnungen wurden mithilfe einer kommerziellen Software (Media Player) in Bild und Ton am Bildschirm aufgerufen und die Äußerungen der Interviewpartner mithilfe eines Textverarbeitungsprogramms (Word) verschriftlicht, um die Auswertung zu erleichtern. Auf die Originalaufzeichnungen wird in Zweifelsfällen zurückgegriffen, sie sind in jedem Aufbereitungs- und Auswertungsschritt maßgebend (s. Gropengießer 1997, S. 106).

Transkripte

Die Aufbereitung des Datenmaterials erfolgt wie bei Gropengießer (1997, S. 106, 107) beschrieben: Inhaltstragende Passagen werden für eine weitere Bearbeitung in eine Textfassung überführt, Einleitungen, in denen z.B. die Namen der befragten Lerner und das Sitzungsdatum erfasst werden, werden nicht verschriftlicht. Bei der Wortprotokollierung wird zwar der Dialekt bereinigt, da es bei der Auswertung um den genauen Wortlaut geht, wird der Stil nicht geglättet und werden Satzbaufehler auch nicht behoben. Das reine Wortprotokoll wird dort kommentiert, wo dies einen Gewinn für die Inhaltsanalyse verspricht. So werden lange Sprechpausen durch Unterstriche (_ _) erfasst, wobei ein Strich ungefähr den Zeitraum einer Sekunde ausmacht. Sätze, die angefangen aber nicht vollendet werden, sind durch drei nachgestellte Punkte (...) gekennzeichnet. Greift ein Gesprächsteilnehmer einen nicht vollendeten Redebeitrag auf, ist dies an drei Punkten zu erkennen, die der fortführenden Aussage vorangestellt sind. Gleichzeitiges Sprechen wird nicht gekennzeichnet, Kommentare werden in Klammern und kursiv gesetzt z.B. (*unverständlich*).

270 M: Also, unser Argument war, also, dass vielleicht die Bakterien sich schneller
271 teilen und sozusagen, schneller Kolonien aufbauen und sozusagen dadurch dem
272 Pilz, der auch im Wasser ist, den Platz weg nehmen.
273 L: Die den (*gemeint ist Petrischale 1*).
274 K: Bei den (*gemeint ist Petrischale 1*).
275 M: Dass deswegen kein Pilz da drin ist, weil das Bakterium sich schneller
276 vermehrt und deswegen da kein Platz mehr für Pilz ist, hier ist der Pilz sozusagen
277 ungestört, weil keine Bakterien drin sind (*gemeint ist Petrischale 2*), deswegen
278 wird er und...
279 L: Obwohl, es kann ja auch sein, dass hier (*gemeint ist Petrischale 1*) ganz kleine
280 Pilze drin sind, nicht?
281 K: Die hätten sich ja trotzdem ausbreiten können. Dass da keine drin sind, kann
282 man ja nicht ahnen, aber.
283 L: Es sind auf jeden Fall... _ _ _
284 I: Und, dass sich da nur Pilze ausgebreitet haben, liegt also an? _ _ _
285 L: Dass das Antibiotikum die Bakterien abgetötet hat.
286 K: Genau.

Kasten 7.1: Beispiel eines Transkripts. Es handelt sich um einen Auszug aus dem Vermittlungsexperiment Nummer 4, die Interviewpartner haben sich zur zweiten Sitzung getroffen (Signatur Exp 4, Kol 2). Die Lernerinnen Katja (K), Lisa (L) und Monika (M) (Namen geändert) unterhalten sich über ihre Petrischale 2, in der sich Nähragar, Tümpelwasser und das Antibiotikum Penicillin befunden haben (I = Interviewer).

Ein Transkriptbeispiel ist in Kasten 7.1 wiedergegeben (die vollständigen Transkripte sind im Anhang dieser Arbeit unter „*Transkripte*“ zu finden). Der Signatur Exp 4, Kol 2 kann entnommen werden, dass es sich um das Vermittlungsexperiment Nummer 4 (Exp 4) und um die zweite Sitzung (Kol 2) mit denselben Lernern handelt. Vor jeder Zeile befindet sich eine Nummer, die eine leichte Bezugnahme bei der Auswertung zitierter Lerneraussagen ermöglicht. Die Aussagen von Monika (M), die in den Zeilen 275-278 erfasst sind, sind im Kapitel „*Lernervorstellungen zum Antibiotikum Penicillin*“ unter der Signatur (Monika; Exp 4, Kol 2, Z 275-278) zu finden.

Redigierte Aussagen

Um die Aussagen der Lerner klarer und einer Auswertung zugänglicher zu machen, werden sie in Anlehnung an Gropengießer (1997) redaktionell bearbeitet. Der Stil wird geglättet, Satzbaufehler werden behoben, Redundanzen, Füllwörter und nicht inhaltstragende Fragmente weggelassen; Variationen einzelner Wörter werden in Klammern gesetzt. Unter inhaltlichem Bezug zur Fragestellung findet beim Redigieren eine zweite Reduktion des Datenmaterials statt (die redigierten Aussagen sind im Anhang dieser Arbeit unter „*Redigierte Aussagen*“ zu finden). Die Herkunft und zeitliche Abfolge der Aussagen kann an den Zeilennummern erkannt werden, die den Aussagen vorangesetzt wurden. Die Äußerungen der Befragten werden aus der Dialogform herausgelöst und in unabhängige Aussagen transformiert. Da die Beiträge nach der Herauslösung aus der ursprünglichen Gesprächssituation von Frage und Antwort isoliert nicht verständlich sind, werden sie als ganze Sätze formuliert, zugefügte Wörter und Satzteile werden in eckige Klammern gesetzt (s. Kasten 7.2). Die Aussagen der Lerner gewinnen in der redigierten Form einerseits an Deutlichkeit und Klarheit, andererseits handelt es sich beim Redigieren von Lerneräußerungen um einen Interpretationsprozess, dessen Qualität unter Rückgriff auf die originalen Videoaufzeichnungen kontrolliert wird. Ein Verständnis der Lerneräußerungen erwächst aus dem Prozess des Lesens und dem beständigen Rückgriff auf die diesbezüglichen videografierten Passagen der Vermittlungsexperimente.

Redigierte Aussagen Monika

(270-272) Unser Argument war, dass sich die Bakterien schneller teilen und schneller Kolonien aufbauen und dadurch dem Pilz, der auch im Wasser ist, den Platz wegnehmen. (275-278) Es ist deswegen kein Pilz da [in Petrischale 1] drin, weil das Bakterium sich schneller vermehrt und deswegen da kein Platz mehr für Pilz ist. [In Petrischale 2] ist der Pilz ungestört, weil keine Bakterien drin sind.

Redigierte Aussagen Katja

(281, 282) [Wenn in Petrischale 1 ganz kleine Pilze gewesen wären], hätten die sich ausbreiten können, dass da keine [Pilze] drin sind, kann man nicht ahnen.

Redigierte Aussagen Lisa

(279, 280) Es kann auch sein, dass [in Petrischale 1] ganz kleine Pilze drin sind. (285) [Dass sich in Petrischale 2 nur Pilze ausgebreitet haben, liegt daran], dass das Antibiotikum die Bakterien abgetötet hat.

Kasten 7.2: Redigierte Fassung des Transkriptauszuges aus Kasten 7.1. Die Äußerungen der drei Lernerinnen wurden aus der Dialogform in voneinander unabhängige Aussagen transformiert. Die dabei vorgenommenen Ergänzungen sind in eckige Klammern gesetzt worden.

Auswertung der Vermittlungsexperimente

Das Vorgehen bei der Auswertung der Vermittlungsexperimente erfolgt in den Schritten Ordnen der Aussagen, Explikation und Strukturierung und ist an die Methodik von Gropengießer (1997, S. 107 - 109) angelehnt:

1. Ordnen der Aussagen: Die Aussagen der Lerner werden zu Komplexen in Bezug auf die Forschungsfragen, über welche Vorstellungen Lerner zu Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen, zusammengefasst. Die redigierten Aussagen werden dabei inhaltlich daraufhin untersucht und klassifiziert, ob sie sich auf die eingangs des Kapitels angeführten Fragestellungen nach Bakteriengröße, -struktur, -ernährung und -wachstum, auf Bakterienkolonien oder Antibiotika beziehen. Innerhalb der gebildeten Klassen wird geprüft, welche Vorstellungen miteinander verträglich, welche verschieden oder gegensätzlich (Parakonzepte) sind (s. Gropengießer 1997, S. 108). Die Herkunft der gebündelten Aussagen kann an den Transkriptzeilen erkannt werden.
2. Auswahl der Zitate: Aus dem geordneten Aussagenmaterial werden besonders deutliche Beispiele zitiert, es wird nicht das gesamte Material präsentiert. Es handelt sich bereits bei der Auswahl der Zitate um einen Interpretationsschritt, da der Autor entscheiden muss, welche Passagen den die Analysen leitenden Fragestellungen gemäß als bedeutungstragend eingestuft werden und welche nicht.
3. Explikation: Die geordneten Aussagen der Lerner werden bei der Explikation unter Weglassung der eckigen Klammern, die beim Auswertungsschritt des Ordners vorgenommene Ergänzungen kenntlich gemacht haben, zitiert. Zitierte Lernaussagen werden in Anführungszeichen gesetzt. Hervorhebungen des Autors werden demgegenüber in kursiver Schreibweise gehalten und in Anführungszeichen gesetzt, diese Regel gilt für die gesamte vorliegende Arbeit. An das versammelte Aussagenmaterial werden in Anlehnung an Gropengießer (1997, S. 108, 109) mehrere Fragen herangetragen. Aufgrund des eigenen Verständnisses von Bakterien und von bakteriellen Prozessen und auch in Kontrastierung zu fachwissenschaftlichen Vorstellungen werden die Charakteristika des Verständnisses der Lerner erschlossen. In Vermittlungsabsicht werden die von den Lernern verwendeten sprachlichen Ausdrücke auf ihre lernförderliche oder lernhinderliche Wirkung hin untersucht, vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens verdienen insbesondere die erfassten Metaphern eine besondere Aufmerksamkeit. Innerhalb des theoretischen Rahmens des Forschungsvorhabens wird untersucht, in welchen Erfahrungen das Lernerverständnis gründet, es wird nach lebensweltlichen und wissenschaftsorientierten Vorstellungen unterschieden. Unter Vermittlungsabsicht werden erfasste Brüche im und Probleme beim Lernerverständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen in den Blick genommen.

Strukturierung auf der Ebene von Konzepten und Denkfiguren

Die beschriebenen Interpretationsschritte münden in die Erfassung der Lernervorstellungen auf der Ebene der Konzepte und Denkfiguren, also einer mittleren Ebene gedanklicher Verknüpfung. In Anlehnung an Gropengießer (1997, S. 109) werden Lernervorstellungen in verallgemeinerter Form auch als Denkfiguren erfasst. Auf das Allgemeine wird aus dem Besonderen interpretativ geschlossen, ausgehend von identifizierten individuellen Denkstrukturen werden Kategorien für Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen konstruiert. Denkfiguren stellen interpretativ höher aggregierte Sinneinheiten dar, welche die Teileinheiten (Konzepte) verbinden (vgl. Bohnsack et al. 2006). Der Interpretationsprozess orientiert sich nicht an einem fachlichen Raster, weil dies zwangsläufig auf die Dichotomie falsch / richtig hinauslaufen würde. Nach Gropengießer (1997) ist die

Anzahl der zu untersuchenden Fälle daran zu messen, „inwieweit eine Verallgemeinerung unter dem Gesichtspunkt der verfolgten Ziele gelingt“. Auch bei einer weiteren Erhöhung der Fallzahlen wäre die Existenz nicht erfasster qualitativer Denkstrukturen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen keineswegs auszuschließen. Diese können aber aufgrund der weiter unten verallgemeinerten Kategorien erkannt und verglichen werden, daraus eröffnet sich die Möglichkeit, im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasste Denkstrukturen von Lernern zu kategorisieren. Die Namen der erfassten Konzepte und Denkfiguren werden in kursiver Schreibweise gehalten und dadurch kenntlich gemacht.

7.4 Erfassen der Lernerperspektiven: Analyse von Interviewphasen

Im Folgenden werden die Lernaussagen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen aus Gründen der Lesbarkeit und Übersichtlichkeit entsprechend der eingangs des Kapitels angeführten Fragestellungen nach Bakteriengröße, -struktur, -ernährung -beweglichkeit und -wachstum, nach Antibiotika und Bakterienkolonien ausgewählt und geordnet. Aus den redigierten Aussagen der Lerner wird zitiert, die Zitate erscheinen nach den Fragengestellungen geordnet und dann in alphabetischer Reihenfolge, damit die Äußerungen einzelner Lerner zu verschiedenen Fragestellungen leicht aufgefunden und miteinander verglichen werden können. Das Lernerverständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen wird interpretativ erschlossen. Die Transkripte der Schüleraussagen sowie die redigierten Aussagen befinden sich im Anhang zu dieser Arbeit unter „*Transkripte*“ und „*Redigierte Aussagen*“.

Unterrichtliche Vorerfahrungen der befragten Lerner

In den Vorgesprächen konnte ermittelt werden, dass keiner der befragten Lerner zuvor Bakterien mikroskopiert oder mit Bakterien Experimente durchgeführt hat. Die Lerner sammeln in ihrem mikrobiologischen Praktikum also die ersten experimentellen mikrobiologischen Erfahrungen mit Bakterien.

7.4.1 Lernervorstellungen von der Größe der Bakterien

In diesem Kapitel geht es um Lernervorstellungen von der Bakteriengröße. Die Vorstellungen werden vor dem Hintergrund der experimentellen Erfahrungen, die die Lerner in ihrem mikrobiologischen Praktikum gesammelt haben, ermittelt. Die Lerner haben Nähragar einerseits mit Tümpelwasser und andererseits mit gefiltertem Tümpelwasser in Petrischalen vermischt und die Petrischalen dann 24 Stunden im Brutschrank gehalten. Im Nähragar mit Tümpelwasser konnten die Lerner nach der Bebrütung Bakterienkolonien beobachten, nicht hingegen im Ansatz mit gefiltertem Tümpelwasser. Am Tümpelwasser selber konnten die Lerner keine Beobachtungen machen, die auf das Vorhandensein von Bakterien hätten schließen lassen.

Dietrich: „Vielleicht einfach Ansatz 3 nehmen, weil da haben wir eine Wasserprobe mit Agar, und da haben die Bakterien sich nicht vermehrt, und versuchen, die Bakterien mit dem Mikroskop zu zählen. Aber ich glaube nicht, dass das so einfach ist, so viele Bakterien auf einem Haufen zu zählen“. (Exp 3, Kol 3 Z 310, 311)

Dietrich macht den Vorschlag, die Zahl der Bakterien in einer Wasserprobe mithilfe eines Mikroskopes zu bestimmen. Die Vorstellung von mikroskopisch kleinen Bakterien könnte einerseits in Erfahrungen aus zweiter Hand gründen, die mit Abbildungen von mikroskopisch vergrößerten Bakterien gemacht wurden, da Dietrich Bakterien unter dem Lichtmikroskop noch nicht beobachtet hat. Möglicherweise handelt es sich aber auch um ein metaphorisches Verständnis: Man kann davon ausgehen, dass Dietrich z.B. Zellen der Zwiebschaleneperider-

mis oder der Backhefe bereits mikroskopiert hat, die in diesen instrumentellen Erfahrungen gründenden Vorstellungen von eukaryotischen Zellen werden auf Bakterien übertragen.

Lilli: „Ein Bakterium ernährt sich, indem es die Nährstoffe zersetzt, dann ist es klein, dann können die Bakterien die zersetzten Nährstoffe durch die Schale (durch kleine Öffnungen) aufnehmen“. (Exp 1, Kol 3, Z 550-551)

Lilli stellt sich vor, dass Bakterien Nährstoffe „zersetzen“, die „kleinen“ Nährstoffe können dann von Bakterien durch „kleine Öffnungen“ ihrer Wandung („Schale“) aufgenommen werden. Man kann davon ausgehen, dass Lilli ein metaphorisches Verständnis von der Größe der bakteriellen Nährstoffe verwendet. Sie überträgt Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Essen gründen, auf Bakterien: Das Verhältnis des Volumens einer Nahrungsportion zum Volumen des Menschen, der die Portion zu sich nimmt, wird auf Bakterien und ihre Nährstoffe übertragen, beide gehören der gleichen Größenebene an. Zwar kann Lilli aufgrund von nicht verfügbarem mikrobiologischem Wissen keine genauen Angaben zur Größe der Öffnungen in der bakteriellen Wandung machen, sie geht aber davon aus, dass diese Öffnungen größer als die Nahrungsportionen sind und kleiner als die nicht zersetzte Nahrung, da diese sonst von der Zelle aufgenommen werden könnte ohne vorher zersetzt worden zu sein.

Lina: „Die Nährstoffmoleküle sind vielleicht so breit wie ein Bakterium, auf jeden Fall kleiner als die Bakterien, ein Mikrometer, vielleicht ein bisschen kleiner, einen halben Mikrometer“. (Exp 2, Kol 2, Z 461, 462)

Lina stellt sich die bakterielle Nahrung als aus Molekülen bestehend vor, sie verwendet den Begriff „Nährstoffmoleküle“. Diese Nährstoffmoleküle stellt sie sich zwar kleiner als Bakterien vor, in ihren Vorstellungen von der Molekülgröße – ausgedrückt in den Einheiten des metrischen Systems der Einheiten – sind diese mit einer Größe von 0,5-1,0 Mikrometern annähernd so groß wie Bakterien, Zellen und Moleküle gehören der gleichen Größenebene an. Lina verwendet ein Zwei-Ebenen-Modell, nach dem die makroskopische von der mikroskopischen Ebene unterschieden wird, letztere umfasst sowohl die mikroskopische als auch die submikroskopische Ebene.

Lisa: „Wenn der Durchmesser eines Haares 0,1 Millimeter beträgt, Bakterien nicht durch ein Filter gehen, das eine Porengröße von 0,2 Mikrometern hat, liegt die Größe von Bakterien zwischen 0,2 Mikrometer und ein ganzes Stück weniger als 0,1 Millimeter. Da ich nicht weiß, wie viele Mikrometer ein Millimeter sind, sind es, ganz grob geschätzt, 500 Bakterien, die in den Durchmesser eines Haares passen“. (Exp 4, Kol 2, Z 213, 214, 221, 223)

Aufgrund des erhobenen experimentellen Befundes, dass in ihrem Ansatz mit gefiltertem Tümpelwasser keine Bakterienkolonien aufgewachsen sind, schließt Lisa, dass die Bakterien im Filter hängengeblieben sind. Bakterien müssen also größer als 0,2 Mikrometer sein, sie sind aber wesentlich kleiner als der Durchmesser eines Haares. Lisa schätzt, dass 500 Bakterien der Länge nach in den Durchmesser eines menschlichen Haares hineinpassen. Lisas Schätzung ist aus fachlicher Sicht richtig, wenn die Größe von Bakterien 0,2 Mikrometer beträgt. Lisa kann zum einen Bakterien im Vergleich zu lebensweltlich vertrauten Gegenständen (Haar), die mit bloßem Auge wahrgenommen werden können, die mikroskopische Größenebene zuweisen. Zum anderen kann sie aber auch aufgrund von Vorstellungen, die in ihren experimentellen Erfahrungen mit dem Filtrieren von Bakterien gründen, unter Einbeziehung bereichsspezifischen Wissens von den Größeneinheiten des metrischen Systems auf die reale Größe von Bakterien schließen.

Philis: „Der Durchmesser des Haares ist klein, ein Zehntel Millimeter vielleicht. Nein, ein Bakterium kann man nicht sehen. Bakterien sind sehr viel kleiner als der Durchmesser eines Haares.“ (Exp 2, Kol 2, Z 138, 143, 145)

Von mit bloßem Auge wahrnehmbaren Gegenständen wie einem Haar leitet Philis ab, dass die Größe einzelner Bakterien sehr viel geringer sein muss. Zum Inventar des Mesokosmos, also dem Bereich, der mit bloßem Auge eingesehen werden kann, gehören Bakterien nicht. Philis hat keine Größenordnungen zur Bakterien aufgebaut, Bakterien bleiben unklar klein.

7.4.1.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Lerner stellen sich Bakterien als so klein vor, dass sie mit bloßem Auge nicht wahrgenommen werden können. Bakterien bleiben unklar klein, die meisten Lerner stellen sich die Größe von Bakterien nicht in den Einheiten des metrischen Systems vor (*Unklar kleine Bakterien*).

Die Lernervorstellung *Mikroskopische Bakterien* geht entweder auf Größenvorstellungen zurück, die in Erfahrungen aus zweiter Hand, z.B. mit mikroskopischen Abbildungen von Bakterien im Biologiebuch, gründen. Oder die Vorstellung geht auf instrumentelle Erfahrungen zurück, die beim Mikroskopieren von eukaryotischen Zellen gemacht wurden, und die auf Bakterien übertragen werden. Die Vorstellung *Filtrierbare Bakterien* gründet in Erfahrungen, die die Lerner bei ihren mikrobiologischen Experimenten sammeln konnten. Nach der Bebrütung haben die Lerner in Petrischalen mit gefiltertem Tümpelwasser keine Bakterienkolonien vorgefunden – ganz im Gegensatz zu Petrischalen mit ungefiltertem Tümpelwasser, in denen zahlreiche Bakterienkolonien zu beobachten waren. Bakterien werden so groß gedacht, dass sie die Poren des Filters nicht passieren können. Die Leichtigkeit, mit der Lerner das Funktionsprinzip eines Bakterienfilters verstehen können, geht auf Erfahrungen mit Filtrieren zurück, die jeder Mensch, z.B. beim Aufbrühen von Kaffee macht. Aus Sicht der Theorie der erfahrungsbasierten Verstehens übertragen Lerner das Schema *Teil-Ganzes* (Lakoff 1987, S. 273) auf das bakterienhaltige Wasser: Teile lassen sich unter Umständen vom Ganzen abtrennen.

Die Lernervorstellung, dass Moleküle halb so groß wie Zellen sein können, wurde im Zusammenhang mit dem Thema „*Bakterielle Ernährung*“ erhoben. Daher bot sich den Lernern eine Bakterienzelle als Vergleichsmaßstab an. Lerner denken Moleküle als verkleinerten Nährstoff, man kann davon ausgehen, dass die lebensweltlich vertraute Relation des Volumens einer Nahrungsportion und des Volumens des Menschen, der die Portion zu sich nimmt, auf Bakterien und ihre Nahrung übertragen wird. Nahrung, die von einem tierlichen Lebewesen aufgenommen wird, wird einerseits kleiner als das Lebewesen, andererseits aber als noch mit bloßem Auge wahrnehmbar vorgestellt, sie gehören der gleichen Größenebene an. Lerner unterscheiden dieser Argumentation folgend also nicht nach der mikroskopischen und submikroskopischen Größenebene. Möglicherweise aber gehen die Größenvorstellungen von Molekülen auch auf unterrichtliche Vermittlung zurück: Zur Veranschaulichung des Verpackungsgrades wird die Länge des bakteriellen DNA-Moleküls auf die Zellgröße bezogen. Das bakterielle DNA-Molekül ist aus dieser Perspektive fast hundertmal länger als ein Bakterium und wird als Gegenstand des Makrokosmos vorgestellt (s.a. Kap. 9.3).

Festzuhalten bleibt: Lerner grenzen biologische Gegenstände der submikroskopischen und mikroskopischen Größenebenen hinsichtlich ihrer Größen nicht voneinander ab, sie sind aufgrund dessen austauschbar. Die mikroskopische Größenebene kann aufgrund von Vorstellungen, die in lebensweltlichen und fachwissenschaftlichen Erfahrungen gründen, von der Ebene

sichtbarer biologischer Gegenstände unterschieden werden. Dieses Zwei-Ebenen-Modell, das Lerner verwenden, unterscheidet sich vom Zwei-Ebenen-Modell, das im Physik- oder Chemieunterricht verwendet wird (s. Kapteijn 1990). Nach dem dort verwendeten Modell wird nach einer Dimension der Teilchen, die der Autor als mikroskopisch bezeichnet, und nach einer makroskopischen Dimension unterschieden, innerhalb derer aber nicht nach Gegenständen, die mit bloßem Auge wahrnehmbar und nicht wahrnehmbar sind, differenziert wird (zum in der Biologie verwendeten Drei-Ebenen-Modell, s. Kap. 4.5.2).

7.4.1.2 Konzepte zur Größe von Bakterien

Bakteriengröße

- *Unklar kleine Bakterien*
Bakterien sind so klein, dass man sie mit bloßem Auge nicht wahrnehmen kann. Bakterien bleiben unklar klein, weil Lerner mikroskopischen Gegenständen die Größenordnung nicht zuordnen können. Bakterien werden zwar größer als Moleküle vorgestellt, letztere können aber durchaus halb so groß wie Bakterien gedacht werden. Bakterien und Moleküle können aufgrund nicht verfügbarer Größenordnungen der gleichen Größenebene zugeordnet werden.
- *Mikroskopische Bakterien*
Bakterien können nur mit dem Mikroskop wahrgenommen werden.
- *Filtrierbare Bakterien*
Bakterien werden so groß gedacht, dass sie in einem Filter, das Poren des Durchmessers von 0,2 Mikrometern hat, hängenbleiben.

7.4.2 Lernervorstellungen von der Struktur der Bakterien

Die erfassten Vorstellungen zur Größe von Bakterien fundieren in der Zusammenschau mit den in diesem Kapitel zu erhebenden Vorstellungen zur Struktur von Bakterien den Einblick in die Denkwelten der Lerner. Sie stellen eine Basis für das sich anschließende Vorhaben dar, das Denken der Lerner zur Biologie der Bakterien besser verstehen und einordnen zu können. In den Vorgesprächen wurde ermittelt, dass keiner der befragten Lerner Bakterien mikroskopiert hatte. Die Lerner wurden vor den Interviews gebeten, Bakterien zu zeichnen und die Strukturen auch zu beschriften. Wie die in Abb. 7.2 versammelten Lernerzeichnungen zeigen, wird die Grundform eines Bakteriums zeichnerisch meist als Kreis oder Oval erfasst. Luka und Katja haben ihrer Grundform einen maularartigen Abschnitt eingepägt, sie denken Bakterien als tierliche Lebewesen.

Die von den Lernern zeichnerisch erfasste Grundform eines Bakteriums besitzt nach außen meist Anhänge. Dabei kann es sich um zahlreiche, im Vergleich zum Umfang der geschlossenen Linie meist kürzere, identische Striche handeln, welche die Grundform rundherum umgeben. Carolines und Johannas Zeichnungen erinnern an Paramecien (s. Abb. 7.2). Caroline beschriftet ihre Zeichnung, in ihrem Kommentar unterscheidet sie zwischen grünen Fühlern, „womit die Keime z.B. weiße Blutzellen oder andere Gegner bekämpfen“, und gelben Fühlern, „die für die Orientierung sind, damit die Keime ihren Weg finden“. Johanna versieht ihre pantoffelförmige Grundform ebenfalls mit kurzen Anhängen, im Interview konnte bei ihr die Vorstellung erhoben werden, dass Bakterien Geißeln besitzen, die der Fortbewegung dienen (s. Johanna, unten). Sind die strichförmigen Anhänge länger, treten sie in Einzahl oder zu mehreren gebündelt auf und erinnern an Bakterien mit nur einer Flagelle oder an schopffartig

begeißelte Bakterien. Nur Luka versteht seine Zeichnung nicht nur mit Anhängen, die an Flagellen erinnern, sondern er stattet sein Bakterium auch mit einer Art Zange aus, die einen Gegenpol zu einem maulartigen Bereich bildet. Luka wird später zur bakteriellen Ernährung ausführlich, dass „Bakterien an Nährpartikeln andocken“ und, dass „Bakterien dem Körper viel Schädliches zuführen oder das Wichtigste kaputtessen“ (s. Luka Kap. 7.4.3). Bezieht man die von Luka zeichnerisch vorgelegten und als Zange und Maul interpretierten Strukturen auf „andocken“ und „kaputtessen“, lässt sich – eine Konsistenz der Vorstellungen voraussetzend – ein Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion rekonstruieren.

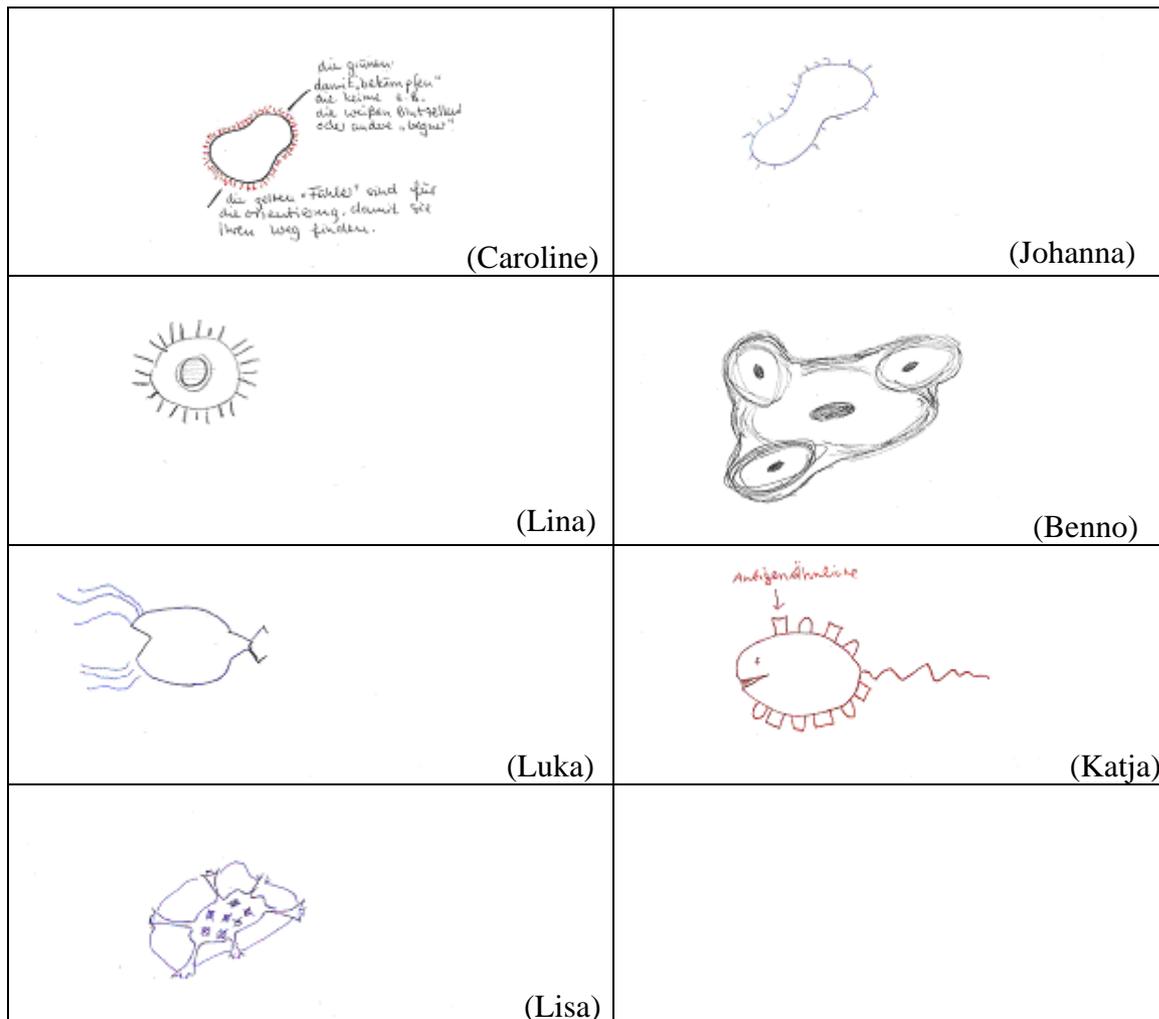


Abb. 7.2: Die Schüler wurden gebeten, ein Bakterium zu zeichnen. Auf dem Vorlagenblatt befand sich ein Kästchen (Abmessungen 8 x 17 cm), in dessen Rahmen die Bakterien gezeichnet werden sollten. Carolines Kommentar zur Zeichnung ist weiter oben im Klartext aufzufinden. Der Bitte, ihre Zeichnungen zu beschriften, sind nicht alle Lerner nachgekommen. Daher werden bei den Bildinterpretationen die Lernervorstellungen von der bakteriellen Struktur, die bei den Befragungen erfasst werden konnten, herangezogen.

Die bakterielle Grundform kann außen Quadrate oder Halbovale aufweisen, die an die schematische Darstellung von Antigenen erinnern. Derartige schematische Darstellungen werden z.B. zur Veranschaulichung des Schlüssel-Schloss-Prinzips bei Antigen-Antikörper-

Reaktionen unterrichtlich im Zusammenhang mit der Bestimmung menschlicher Blutgruppen verwendet. Katja weist die Quadrate auf der bakteriellen Oberfläche schriftlich ausdrücklich als „antigenähnlich“ aus. Das Innere der Grundform ist entweder leer bzw. unstrukturiert oder weist ein kreisförmig bis ovales Gebilde auf, das an einen Zellkern erinnert. Bennos und Lisas Zeichnungen bilden in diesem Zusammenhang Ausnahmen: Benno stattet die Grundform seines Bakteriums, das aus einer Hülle und einem zentral gelegenen Kern besteht, mit drei miniaturisierten, im Bereich der Hülle befindlichen Kreisen aus, die im Begriff zu sein scheinen, sich von der beherbergenden Hauptzelle zu individualisieren. Die Darstellung erinnert an die Knospung von Zellen der Backhefe *Saccharomyces cerevisiae* (s.a. Benno Kap. 7.4.3). Lisa entwirft ein kompliziertes Kanalsystem: Von einer unregelmäßig-ovalen Struktur innerhalb der Grundform, die zahlreiche kreisförmige Gebilde enthält, zeichnet sie trichterförmige Ausziehungen, die in Kontakt mit der Linie der Grundform stehen. Lisa kann sich vorstellen, dass in einer Bakterie mehrere Zellen befindlich sind (s. Lisa, unten). Dieser Vorstellung einer enkaptischen bakteriellen Struktur entspricht die von ihr angefertigte grafische Darstellung insofern, als sich innerhalb der Bakterie zahlreiche kugelförmige Gebilde befinden, die zunächst an Zellkerne erinnern, auf dem Hintergrund ihrer Interviewaussagen aber auch als Zellen interpretiert werden können. Man darf voraussetzen, dass unterrichtlich vermitteltes Wissen von eukaryotischen Zellen die meisten Lernervorstellungen zu Bakterien geprägt hat. Darauf weisen die eingezeichneten Zellkerne, die antigenähnlichen Oberflächenstrukturen und auch ovale Grundformen hin, die mit zahlreichen kurzen Anhängen versehen werden und an Paramecien erinnern.

Albert: „Die bakterielle Zellwand ist fest und nicht dehnbar. Ein kleines Loch, das dann von diesem Baustoff wieder gefüllt wird. Man muss ein kleines Loch rein machen und durch eine große Menge Material auffüllen. Aber dann müsste die Zellwand dehnbar sein und das geht nicht“. (Exp 9, Kol 1, Z 28, 156-158)

Albert verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien eine Zellwand aufweisen. Er stellt sich die bakterielle Zellwand als „fest“ und „nicht dehnbar“ vor. Aufgrund dieser Vorstellung ist es Albert nicht möglich zu denken, wie die bakterielle Zellwand größer werden könnte. Albert stellt zwar einen Wachstumsmechanismus vor: Nachdem in die bakterielle Zellwand ein „Loch“ gemacht worden ist, wird dieses mit einer großen „Menge Material“ aufgefüllt. Das Auffüllen mit Material könnte in Alberts Vorstellung auch prinzipiell ein *Größer-Werden* der bakteriellen Zellwand durch Dehnung bewirken, da er die bakterielle Zellwand aber als nicht dehnbar denkt, kann Albert seine Vorstellung nicht auf Bakterien übertragen.

Johanna: „Bakterien haben Geißeln. Geißeln brauchen Bakterien zur Fortbewegung“. (Exp 2, Kol 3, Z 279, 286)

Johanna verfügt über bereichsspezifisches mikrobiologisches Wissen, sie weiß, dass Bakterien „Geißeln“ „haben“ und kennt auch deren Funktion, „Bakterien“ „brauchen“ Geißeln „zur Fortbewegung“. Die Lernerin stellt sich Bakterien fortbewegungsfähig vor, sie unterscheidet nicht nach Bakterien mit und ohne Geißeln, in ihrer Vorstellung dürften Bakterien also generell aktiv beweglich sein.

Katja: „Ich finde, ein Pilz ist eher eine Pflanze und ein Bakterium ist mehr so ein Lebewesen, ein Tierchen. Ein Bakterium hat einen Zellkern, eine Hülle und ganz viel Eiweiß. Ein Bakterium ist ein Einzeller“. (Exp 4, Kol 3, Z 187, 188, 462, 464)

Katja denkt, dass Bakterien eine Hülle aufweisen, sie verfügt über die Vorstellung eines Bakteriums als Behälter. Bakterien stellt sich Katja als mit einem Zellkern ausgestattet vor,

sie überträgt Vorstellungen von eukaryotischen Zellen auf Bakterien. Ein Bakterium denkt Katja als aus einer Zelle bestehend („Ein Bakterium ist ein Einzeller“). Sie verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien kleine Tiere („Tierchen“) sind, Bakterien entsprechen aus diesem Grund eher ihrer Vorstellung von lebendig („...ein Bakterium ist mehr so ein Lebewesen“) als Pilze oder Pflanzen, die ihrer Vorstellung von lebendig weniger entsprechen. Die Zeichnung, die Katja von einem Bakterium angefertigt hat, gibt Auskunft darüber, hinsichtlich welcher Aktivität sie Bakterien und kleine Tiere als Lebewesen denkt: Katja hat ihr Bakterium mit einem Maul und am gegenüberliegenden Ende mit einem flagellenartigen Anhang ausgestattet (s. Abb. 7.2). Katja verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien fressen und sich fortbewegen können, sie stellt sich Bakterien tierlich vor. Pilze und Pflanzen werden lebensweltlich als inaktiv erfahren, sie werden aufgrund dessen stillstehend und nicht fressend vorgestellt.

Lena: „Ich habe keine Ahnung, wie ein Bakterium aufgebaut ist. Ich weiß nicht, ob Bakterien Einzeller sind. Eine Zelle besitzt eine Zellwand, Plasma, einen Zellkern, Mitochondrien und ein Endoplasmatisches Retikulum, den Rest habe ich vergessen. Ich weiß nicht, was die äußere Hülle eines Bakteriums ist. Die äußere Hülle eines Bakteriums ist die Zellwand. Außen an einer Bakterienzelle gibt es die Zellwand, dann gibt es noch so eine Schicht und dann kommt das Zellplasma. Die zweite Schicht von außen ist die Zellmembran“. (Exp 5, Kol 1, Z 501, 505, 510, 523, 545-547, 549, 551)

Lena stellt Bakterien als Zellen vor, sie ist sich aber nicht sicher darüber, ob Bakterien aus einer oder mehreren Zellen bestehen. Zu ihren auf Zellen bezogenen Strukturvorstellungen gibt Lena Auskunft: Eine Zelle denkt sie mit „Zellwand“, „Zellmembran“, „Mitochondrien“, „Endoplasmatischem Retikulum“ und „Plasma (Zellplasma)“ ausgestattet. Es handelt sich um unterrichtlich vermitteltes Wissen, das sich Lena im thematischen Zusammenhang mit eukaryotischen Zellen angeeignet hat. Lena überträgt ihre Vorstellungen von einer eukaryotischen Zelle auf Bakterien. Allerdings gibt Lena zu verstehen, dass sie unsicher bezüglich der bakteriellen Struktur ist, sie scheint also durchaus damit zu rechnen, dass ihre Vorstellungen von einer Zelle auf Bakterien bezogen aus fachlicher Perspektive nicht richtig sein könnten. Die äußere Begrenzung („Hülle“) eines Bakteriums bezeichnet Lena als Zellwand. Sie denkt Bakterien als Behälter, aufgrund dieser Vorstellung kann sie Innen und Außen unterscheiden. Innerhalb eines Bakteriums befindet sich die Zellmembran als „zweite Schicht“ und das „Zellplasma“. Lena differenziert also nach Zellwand und Zellmembran, wobei allerdings unklar ist, ob sie bei der Verwendung der beiden Termini auch nach funktionellen Unterschieden der beiden Strukturen differenzieren kann.

Lina: „Ein Bakterium hat einen Zellkern. Ich frage mich, wozu die Bakterien Geißeln brauchen, einige haben welche und manche nicht. Die Bakterien haben Erbanlagen im Zellkern“. (Exp 2, Kol 3, Z 277, 282, 284, 291, 292)

Lina verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien einen „Zellkern“ aufweisen, in dem Bakterien „Erbanlagen“ „haben“. Es handelt sich um Vorstellungen, die Lina zu eukaryotischen Zellen entwickelt hat und die sie auf Bakterien überträgt. Lina verfügt über bereichsspezifisches mikrobiologisches Wissen, da sie sich Bakterien mit „Geißeln“ ausgestattet vorstellen kann. Zudem unterscheidet sie nach Bakterien, die Geißeln aufweisen und solchen, die keine Geißeln aufweisen, sie verfügt also über die Vorstellung, dass Bakterien strukturelle Unterschiede aufweisen. Allerdings lässt die Vorstellung, dass es auch Bakterien ohne Geißeln gibt, Lina die Frage aufwerfen, „wozu die Bakterien Geißeln brauchen“. Die Sinnhaftigkeit der bakteriellen Geißel scheint für Lina infrage zu stehen, da Bakterien auch ohne Geißel existieren können.

Lilli: „Wenn Penicillin nicht die Nährstoffe vergiftet, könnte es von außen angreifen, die Hülle eines Bakteriums ist eine harte Schale, ein Gitter, die Zellwand“. „Ich glaube, der Kern lebt und die Schale ist nur zum Schutz da“. (Exp 1, Kol 2, Z 366, 367; Exp 1, Kol 3, Z 415, 417)

In Lillis Vorstellung weisen Bakterien eine „Hülle (Zellwand)“ auf, die sie als „harte Schale“ oder „Gitter“ denkt. Lilli stellt sich Bakterien als Behälter vor, der durch seine Wandung eine Unterscheidung nach Innen und Außen ermöglicht. Lilli denkt das bakterielle Innen als Kern eines Bakteriums und als von der bakteriellen Zellwand umschützten Raum, die bakterielle Zellwand ist „nur zum Schutz“ da. Innerhalb eines Bakteriums befindet sich das zu schützende Gut („Kern“), das in Lillis Vorstellung – im Gegensatz zur bakteriellen Zellwand – „lebt“. Die Lernerin überträgt das Schema *Peripherie-Zentrum* (Lakoff 1987, S.274) auf ein Bakterium. Welche Vorstellung Lilli von Leben hat, konnte nicht erhoben werden. Unterstellt man ihr aber ein Verständnis von Leben, das in erster Linie durch Aktivität gekennzeichnet ist (vgl. Brookmann 2000, S. 68), könnte verständlich werden, warum Lilli die bakterielle Zellwand als „harte Schale“ innerhalb der Behältervorstellung von einem Bakterium als nicht lebend denkt. Möglicherweise verfügt Lilli aber in diesem Zusammenhang auch über reichsspezifisches Wissen aus der Botanik, „die typische Pflanzenzelle wird vom Botaniker dreigeteilt gesehen: Der allein lebende Teil ist der Schlauch des Zellplasmas. Dieses grenzt nach außen an die nichtlebende Zellwand, nach innen an die ebenfalls nichtlebende Vakuole“ (Kattmann 1992).

Lisa: „Ich frage mich, ob die Zelle eines Bakteriums genauso groß wie das Bakterium innen ist, ob in einem Bakterium mehrere Zellen drin sind“. (Exp 4, Kol 2, Z 405-408)

Lisa stellt sich Bakterien als Zellen vor. Sie verfügt über die Vorstellung, dass in einem Bakterium mehrere Zellen enthalten sein können, sie stellt sich Bakterien als ineinander verschachtelte Behälter vor. Zu erwägen wäre eine einfache Verschachtelung (in einem Bakterium befinden sich mehrere Bakterien nebeneinander) oder eine komplexe (nach Art der russischen Holzpuppe *Matroschka* befindet sich in einem Bakterium ein Bakterium, in dem sich wiederum ein Bakterium befindet). Dass Lisa eine einfache Verschachtelung erwägt, kann ihrer Zeichnung entnommen werden (s. Abb. 7.2). Innerhalb ihres Bakteriums befinden sich zahlreiche kugelförmige Gebilde, die in diesem Zusammenhang als Bakterienzellen aufgefasst werden können. Möglicherweise handelt es sich bei den trichterförmigen Ausziehungen, die in Lisas Zeichnung das Innere des Bakteriums mit dessen Wandung verbinden, um eine Art von Ausführgängen, über die die als Zellen angesprochenen Gebilde innerhalb des Bakteriums in die Außenwelt gelangen können.

Monika: „Bakterien haben einen Zellkern, eine Zellhülle und ein Schwänzchen“. (Exp 4, Kol 3, Z 474)

Monika denkt Zellen als Behälter, Zellen weisen eine „Zellhülle“ auf, sie überträgt diese Vorstellung auf Bakterien. Zudem verfügt sie über die Vorstellung, dass Bakterien einen „Zellkern“ aufweisen. Monika überträgt Vorstellungen von eukaryotischen Zellen, die entweder auf unterrichtliche Vermittlung, mediale (Fotografien von eukaryotischen Zellen) oder instrumentelle Erfahrungen (Mikroskopieren eukaryotischer Zellen) zurückgehen, auf Bakterien. Die Vorstellung, dass Bakterien ein „Schwänzchen“ aufweisen, könnte darauf zurückzuführen sein, dass Monika über die Vorstellung beweglicher Bakterien verfügt.

Philis: „Ein Bakterium hat eine Zellwand. Bakterien haben wahrscheinlich auch noch Plasma. Ohne Zellwand würde das Plasma eines Bakteriums ausfließen“. (Exp 2, Kol 3, Z 276, 293, 300, 302)

Philis verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien eine Zellwand und Plasma „haben“. Der Zellwand denkt sie die Funktion zu, zu verhindern, dass das Plasma ausfließt. Philis verfügt über die Behältervorstellung eines Bakteriums, innerhalb derer sie der Zellwand die Funktion zudenkt, das Innere des Bakteriums („Plasma“) zusammenzuhalten. Die Behältervorstellung von einem Bakterium kann von Lernern kontextabhängig verwendet werden, um bakterielle Strukturen und Prozesse zu verstehen. Während es in Lillis Vorstellung (s. oben) im Zusammenhang mit der bakteriellen Zellwand um den Schutz gegen Einflüsse geht, die von Außen auf die bakterielle Zellwand einwirken, geht es in Philis Vorstellung um den Schutz gegen Einflüsse, die von Innen auf die bakterielle Zellwand einwirken.

Robert: „Ich stell mir vor, dass es hauptsächlich die Zellwand ist, die wächst, so ähnlich wie bei der menschlichen Haut. Aus was für einem Material die Zellwand besteht, weiß ich nicht, vielleicht ist sie so ähnlich wie bei Käfern der Chitinpanzer“. (Exp 9, Kol 1, Z 8, 9, 11, 31).

Robert verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien eine Zellwand aufweisen. Er denkt, dass die bakterielle Zellwand wachsen, also größer werden kann. Die bakterielle Zellwand wächst in Roberts Vorstellung „so ähnlich“ wie die „menschlichen Haut“. Aus welchem Material die bakterielle Zellwand besteht, weiß Robert nicht genau, er vermutet, dass sie dem „Chitinpanzer“ von „Käfern“ ähnlich ist. Robert versteht die bakterielle Zellwand metaphorisch als menschliche Haut oder als Chitinpanzer von Käfern. Die bakterielle Zellwand kann wie die menschliche Haut als wachsend vorgestellt werden, kann aber zugleich auch als aus einem Material bestehend vorgestellt werden, das auch im Panzer von Käfern enthalten ist. Auf den ersten Blick fällt es schwer zu verstehen, auf welcher Grundlage diese Vorstellungen von der bakteriellen Wandung beruhen. Nimmt man aber an, dass Robert die verkörperte Vorstellung von einem Behälter, die in Erfahrungen mit dem eigenen Körper gründet, dessen Haut als Grenze Innen und Außen erfahrbar macht, auf Bakterien und Käfer überträgt, wird verständlich, dass Robert die bakterielle Zellwand und den Chitinpanzer als Wandung eines Behälters denkt. Die Wandungen von Behältern können aber aus sehr unterschiedlichen Materialien bestehend vorgestellt werden. In Abhängigkeit von den Vorstellungen bezüglich der Materialeigenschaften der Wandungen ist es Lernern möglich, Behälter kontextabhängig als größer werdend (z.B. Haut des Menschen) oder als starr (Panzer eines Käfer) zu denken.

7.4.2.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Lerner denken bakterielle Zellen als durch eine Wandung begrenzte Gebilde, sie verstehen *Bakterien als Behälter*. Die meisten Lerner verfügen über die Vorstellung *Einzellige Bakterien*, Bakterien bestehen aus einer Zelle. Das Adjektiv „*einzellige*“ wurde bewusst gewählt, um eine Abgrenzung des erfassten Lernerkonzeptes zum fachwissenschaftlichen Konzept „*Einzeller*“ zu ermöglichen, unter denen Protoctisten subsumiert werden, die aus einer Zelle bestehen und einen Zellkern aufweisen, also eukaryotische Lebewesen sind. Eine Vorstellung konnte erfasst werden, in der Bakterien enkaptisch gedacht werden, d.h. in einem Bakterium befinden sich weitere Bakterien (*Verschachtelte Bakterien*).

Neben einfachen Vorstellungen von *Bakterien als Behälter*, der keine innere Struktur zu haben scheint, können Bakterien aber auch als intern komplex gedacht werden. Sie werden metaphorisch eukaryotischen Zellen ähnlich gedacht, was daran zu erkennen ist, dass sie mit einem Zellkern ausgestattet vorgestellt werden (*Bakterien als eukaryotische Zellen*). Die

Lernervorstellung von eukaryotischen Zellen, die durch Imagination auf Bakterien übertragen werden, dürften in instrumentellen und medialen Erfahrungen mit eukaryotischen Zellen (Mikroskopieren, Mikrofotos), oder in vermittelten Vorstellungen von eukaryotischen Zellen gründen. Lerner unterscheiden also nicht nach prokaryotischen und eukaryotischen Zellen. In den Lernervorstellungen weisen Zellen auch meist eine Zellwand auf, eine Vorstellung, die einerseits in Erfahrungen mit dem Mikroskopieren pflanzlicher Zellen gründen könnte, und die auf Bakterien übertragen wird. Andererseits konnte erfasst werden, dass sich Lerner Bakterien als Behälter vorstellen, dessen Wandung kontextabhängig mal als Zellwand oder als Zellmembran bezeichnet wird: Die beiden Termini sind gegeneinander austauschbar. Die Konzepte, die hinter den beiden Begriffen stehen, sind den Lernern nicht verfügbar (s.a. This im Kapitel 7.4.5). Die bakterielle Zellwand wird zeichnerisch in der Regel rund oder oval dargestellt, die Strukturen werden meist nicht beschriftet. Die meisten Lerner haben Schwierigkeiten sich unter einem Bakterium etwas Konkretes vorzustellen. Lerner können Bakterien auch in typischer Pantoffelform erfassen, Bakterien werden als Paramecien gedacht. Drei Lerner prägen der bakteriellen Zellwand einen maularartigen Bereich ein. Bakterien essen, sie werden metaphorisch als kleine tierliche Lebewesen gedacht (*Tierlein*).

Die externen bakteriellen Strukturen oder genauer: Die auf der Oberfläche eines Bakteriums befindlichen Strukturen werden von den Lernern sehr differenziert und vielgestaltig erfasst. Es kann nach Anhängen (die im Vergleich zum bakteriellen Grundkörper relativ lang und/oder fadenartig gestaltet sind) und nach Oberflächenstrukturen (die integraler Bestandteil der bakteriellen Zellwand und im Vergleich zum bakteriellen Grundkörper relativ klein sind) unterschieden werden. Ist von Geißel die Rede, wird der Anhang meist als Fortbewegungsorgan aufgefasst und macht ein Bakterium mobil. Werden die Anhänge Fühler genannt, dienen sie der Orientierung oder Feindabwehr (*Anhänge*). Bakterien können mit und ohne Flagelle ausgestattet vorgestellt werden. Die Oberflächenstrukturen der bakteriellen Zellwand erinnern an die Darstellungsweise von Antigenen auf roten Blutzellen. Es werden Quadrate und Halbovale gezeichnet, mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich dabei um die Symbolschreibweise, die für die menschlichen Blutgruppensubstanzen, z.B. des ABO-Systems, unterrichtlich eingeführt worden sind und die auf die bakterielle Oberfläche projiziert werden. Ein weiteres starkes Indiz für diese Annahme stellen die Größenverhältnisse dar: Die zeichnerisch erfassten Antigene sind immerhin so groß, dass sie wie die bakterielle Zelle wahrgenommen werden können, sie gehören der gleichen Größenebene an. Unterrichtlich werden die Symbole für die Blutgruppensubstanzen meist auf der Oberfläche skizzierter roter Blutzellen platziert, um den Schülern eine räumliche Zuordnung zu ermöglichen, um dann in einem zweiten Schritt das Wirkprinzip von antigenspezifischen Antikörpern bei der Agglutination roter Blutzellen anschaulich zu machen. Dabei bleiben aus Gründen der grafischen Darstellbarkeit die tatsächlichen Größenverhältnisse von Zellen und Molekülen meist unberücksichtigt und werden von den Schülern dementsprechend auch falsch gelernt.

Die Struktur der äußeren Hülle eines Bakteriums wird von Lernern zeichnerisch dann besonders reichhaltig erfasst, wenn sie die Bakterien intern auffällig unstrukturiert gestalten und umgekehrt. Zwei Gründe könnten dafür verantwortlich sein: Lernern steht aufgrund nicht verfügbaren bereichsspezifischen Wissens zu eukaryotischen Zellen ein reichhaltigeres imaginatives Verständnis von Bakterien als eukaryotische Zellen nicht offen. Oder: Lernern fällt es prinzipiell schwer, ihre Aufmerksamkeit in der nachvollziehbar schwierigen Situation, einen nicht vertrauten und zudem der direkten Anschauung entzogenen biologischen Gegenstand zu fassen, auf den Gesamtgegenstand hin auszurichten. Da die zur Anfertigung der Zeichnungen eingeräumte Zeit nicht begrenzt wurde, ist nicht davon auszugehen, dass aufgrund von Zeitmangel eine Sättigung der zeichnerischen Produktion ausgeblieben ist.

7.4.2.2 Konzepte zur Bakterienstruktur

- *Bakterien als Behälter*
Bakterien besitzen eine Wandung (Gitter, Haut, Hülle, Zellwand, Zellmembran), sie werden als Behälter gedacht. Die Wandung kann kontextabhängig als hart und unflexibel, aber auch als weich und flexibel vorgestellt werden. Aufgrund der Behältervorstellung kann innen und außen unterschieden werden. Innen und Außen können Bakterien komplex strukturiert gedacht werden. Auf ihrer Oberfläche können Bakterien antigenähnliche Strukturen oder Geißeln (*Anhänge*) aufweisen, ihr Innenraum kann mit einem Zellkern, aber auch anderen Komponenten eukaryotischer Zellen (Mitochondrien, Endoplasmatisches Reticulum) ausgestattet werden. Bakterien werden ähnlich zu eukaryotischen Zellen vorgestellt (*Bakterien als eukaryotische Zellen*).
- *Einzellige Bakterien*
Ein Bakterium besteht aus einer Zelle.
- *Tierlein*
Bakterien werden als tierliche Lebewesen gedacht, sie weisen ein Maul auf. Bakterien können auf ihrer Oberfläche auch Fühler haben, mit denen sie sich orientieren oder verteidigen können. Aufgrund von Geißeln (Schwänzchen) sind Bakterien mobil.
- *Verschachtelte Bakterien*
In einem Bakterium befinden sich nebeneinander weitere Bakterien, Bakterien werden ineinander verschachtelt vorgestellt.

7.4.3 Lernervorstellungen von der Ernährung der Bakterien

Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt werden konnte, stellen sich Lerner Bakterien als Behälter vor. Die bakterielle Zellwand grenzt einen Innenraum gegen einen Außenraum voneinander ab. Zeichnerisch wird die bakterielle Zellwand von Lernern meist geschlossen dargestellt. In diesem Kapitel geht es um Lernervorstellungen von der bakteriellen Ernährung. Aufgrund der den meisten Lernern verfügbaren Vorstellung eines Bakteriums als *Behälter* wird die Frage zu klären sein, wie sich Lerner den „*Seitenwechsel*“ der Nährstoffe vorstellen. Des Weiteren werden die Lernaussagen daraufhin untersucht, über welche Vorstellungen Lerner von der bakteriellen Nahrung verfügen, wie der Kontakt zwischen Bakterium und Nährstoffen gedacht wird und welche biologische Bedeutung Lerner den bakteriellen Nährstoffen zudenken.

Die Befragungen zum Thema „*Bakterielle Ernährung*“ finden vor dem experimentellen Hintergrund statt, dass die Lerner in ihrem mikrobiologischen Praktikum einerseits Tümpelwasser mit Nähragar und andererseits Tümpelwasser mit Agar (ohne Nährstoffpulver) in Petrischalen miteinander vermischt haben. Nach der Bebrütung der Petrischalen konnten die Lerner Bakterienkolonien nur im Ansatz mit Nähragar, nicht hingegen im Ansatz mit Agar beobachten.

Albert: „Erst mal muss das Bakterium den Grundstoff für die Materie bilden, es muss den Grundstoff geben. Die Bakterie muss irgendwas fressen oder irgendwelche Mineralien aufnehmen, so dass sich die Zellwand überhaupt vergrößern kann.“ „Viele Bakterien können sich ja gar nicht so aktiv bewegen, sondern werden einfach nur vom Blut mitgespült und deswegen ist es vielleicht mehr oder weniger Zufall, wenn sich ein Mineral oder ein Nährstoff an dem Bakterium anklettet. Es könnte aber auch sein, dass das Bakterium solche speziellen Mecha-

nismen hat, also es kommt sicherlich auch auf die Art des Bakteriums an, um die Nährstoffe möglichst effizient einzusammeln“. (Exp 9, Kol 1, Z 13-15. Exp 12, Kol 1, Z 6-12)

Albert verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien „fressen“, er denkt die bakterielle Ernährung tierlich. Bakterien benötigen das, was gefressen (aufgenommen) wird, zum Wachstum (Vergrößerung der Zellwand). Albert stellt sich vor, dass Bakterien den Grundstoff für die Materie bilden oder aufnehmen. Wobei mit „Materie“ die bakterielle Zellsubstanz gemeint sein dürfte, für die ein Bakterium „Grundstoff“ selber herstellt oder aufnimmt. Albert verfügt über die Vorstellung, dass „viele“ Bakterien nicht bewegungsfähig sind: Sie werden vom „Blut mitgespült“, zufällig „klettert“ ein „Nährstoff (Mineral)“ am Bakterium „an“. Albert denkt, dass es Bakterien gibt, die Nährstoffe „effizient“ einsammeln, für diesen Zweck verfügbaren Bakterien über spezielle Mechanismen.

Benno: „Die Bakterien ernähren sich im Körper von den Nervenzellen, sie machen alles kaputt. Die Bakterien wüten in allen möglichen Organen und machen sie kaputt, wie ein Piratenschiff, das andere ausraubt, alles Kostbare mitnimmt“. (Exp 3, Kol 3, Z 228, 229, 246-250)

Benno verfügt über die Vorstellung, Bakterien würden sich „im Körper“ von „Nervenzellen“ „ernähren“. Die Nahrung der Bakterien würde dieser Vorstellung gemäß zellulär strukturiert sein und würde – wie Bakterien auch – der mikroskopischen Größenebene angehören. Dass Benno Bakterien als Behälter denkt, konnte bereits seiner Handzeichnung entnommen werden (s. Abb. 7.2). Bei den kreisförmigen Gebilden, mit denen Benno sein Bakterium ausgestattet hat, könnte es sich also durchaus auch um Zellen handeln, die von dem Bakterium aufgenommen wurden. Die bakterielle Ernährungstätigkeit, die von Benno auch als Wüten gedacht wird, bewirkt Schäden im Körper (Bakterien „machen alles kaputt (machen Organe kaputt)“. Benno kann Bakterien metaphorisch als „Piratenschiff“ denken, das „andere ausraubt (alles Kostbare mitnimmt)“. Das „Kostbare“, das Bakterien rauben, dürften in Bennos Vorstellung die Nervenzellen sein, von denen sich Bakterien im Körper ernähren.

Dietrich: „Ein Bakterium ernährt sich, indem es sich immer teilt, es frisst erst mal, es frisst sich durch diesen Nähragar und nimmt irgendwas zu sich. Das Bakterium frisst eigentlich nicht. Die Bakterien ernähren sich von diesen Eiweißen und, wenn das immer weiter wegfrisst, macht das den Körper kaputt. Die Bakterien fressen sich durch die Körperzellen, den Körper durch und die werden dann kaputtgemacht von denen. Von innen fressen die Bakterien alles kaputt“. (Exp 3, Kol 3, Z 136-143, 151, 157-162, 230, 232, 258-260, 263, 271, 272, 274-276, 278)

Dietrich denkt die bakterielle Ernährung als Fressen, er verfügt über die Vorstellung tierlicher bakterieller Ernährung. Er scheint sich zwischenzeitlich zwar nicht mehr ganz sicher zu sein, ob Bakterien tatsächlich fressen („Das Bakterium frisst eigentlich nicht“) und spricht davon, dass sich Bakterien von „Eiweißen“ ernähren, verwendet im Folgenden aber wieder den Begriff „fressen“. Bakterien fressen sich durch den Nähragar und den Körper (Körperzellen). Im Körper richtet die bakterielle Ernährungstätigkeit Schaden an, Bakterien machen die Körperzellen „kaputt“, sie fressen im Körper „von innen“ „alles kaputt“.

Katja: „Die Bakterien hatten optimale Bedingungen im Brutschrank, viel Essen. Die Bakterien machen vielleicht neue Enzyme, die rausgehen, um dann wieder neues Eiweiß einzufangen. Die Enzyme gehen da raus, um wieder neue Eiweiße zu sammeln. Der Mensch hat Eiweiße drin, die Enzyme verdauen da drin alles und aus den Umbaustücken wird dann ein Millimeter Fingernagel“. (Exp 4, Kol 2, Z 117, 554, 595-597, 606-609)

Katja verfügt über die Vorstellung, dass „viel Essen“ eine gute Bedingung für Bakterien im Brutschrank ist, Bakterien benötigen Bedingungen. Katja denkt die bakterielle Ernährung tierlich. Dass sie verkörperte Vorstellungen von Essen auf Bakterien überträgt, dürfte in der experimentellen Erfahrungen gründen, dass Katja im Ansatz ohne Nährpulver keine Bakterienkolonien beobachten konnte. Katja denkt, dass Bakterien „neue Enzyme machen“, die aus dem Bakterium „raus gehen“, um neue „Eiweiße einzufangen (zu sammeln)“. Zum einen nutzt Katja verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen mit körperlichen Tätigkeiten (gehen, sammeln) gründen, um Enzyme zu verstehen. Zum anderen nutzt sie ihr imaginatives Verständnis eines Bakteriums als Behälter, dessen Wandung einen bakteriellen Innenraum von einem Außenraum abgrenzt, um bakterielle Ernährung als Aufnahme von Eiweiß verstehen zu können. Katja denkt, dass sich im Menschen Eiweiße befänden („der Mensch hat Eiweiße drin“), die von Enzymen verdaut würden. Aus den „Umbaustücken“ würde „ein Millimeter Fingernagel“. Aufgrund von nicht verfügbarem zellbiologischen Wissens kann Katja nicht denken, dass Eiweiß von den Zellen des Körpers benötigt werden, um körpereigene Substanz aufzubauen. Daher kann sie das *Größer-Werden* bestimmter körpereigener Strukturen gedanklich nicht mit Zellen verknüpfen. Katja stellt sich vor, dass sich das, was gegessen wird, im Körper befindet. Im menschlichen Körper denkt Katja Enzymen – im Gegensatz zu den Enzymen außerhalb von Bakterien – die Wirkung zu, Eiweiße zu verdauen, also in ihre Einzelteile zu zerlegen. Möglicherweise geht die Vorstellung, dass Enzyme außerhalb eine andere Funktion haben als innerhalb, auf eine Übertragung von verkörperten Vorstellungen von der menschlichen Verdauung zurück, die in der Erfahrung gründen, dass Verdauung ein Prozess ist, der im Inneren stattfindet. Das Lumen des Darms wird nicht als außen gedacht sondern als innen. Bakterien aber geben in Katjas Vorstellung Enzyme nach außen ab, ihnen wird die Funktion zugedacht, Nährstoffe „einzufangen“. Auf den Menschen bezogen würden sie die Funktion der Hände beim Essen übernehmen.

Lilli: „Das Enzym zersetzt die Nährstoffe, da kommt Traubenzucker heraus und deswegen schmeckt es süß. Vielleicht sind es Giftstoffe aus den Bakterien, die die Eiweißmoleküle in kleinere Teile zersetzen, die kann die Bakterienzelle aufnehmen. Die Bakterienzelle zersetzt das Eiweißmolekül, löst es auf. Die Bakterienzelle macht das solange, bis das Eiweißmolekül passt. Die Bakterie braucht die ganzen Nährstoffe, um die ganzen Fähigkeiten, die eine Bakterienzelle hat, auszuüben. Die Bakterienzelle nimmt sich das aus der Nahrung raus, was sie braucht, den Rest scheidet sie aus“. „Das Bakterium hat bestimmt irgendeine Säure, es zersetzt das weiter und benutzt es, um zu wachsen (sich zu teilen), dafür braucht man Kraft und dafür werden die Nährstoffe benutzt. Verdauung mit Enzymen ist das gleiche Prinzip, bei uns zersetzen die Enzyme zum Beispiel Stärke zu Traubenzucker. Und diese Bakterien, das sind entweder so kleine Enzyme, die die haben, oder es ist dasselbe Prinzip, die Funktionen, die ein Enzym hat, hat das Bakterium oder diese Säure“. (Exp 1, Kol 2, Z 179-181, 183, 186, 549, 552, 553; Exp1 Kol 3, Z 553, 554, 565-573)

Lilli denkt, eine „Bakterienzelle“ nehme sich „das aus den Nährstoffen heraus, was sie braucht, den Rest scheidet sie aus“. Lillis Vorstellung, dass Bakterien den unbrauchbaren Rest wieder ausscheiden, beruht auf einer Übertragung von verkörperten Vorstellungen, die in Erfahrungen mit dem Ausscheidungsvorgang gründen. In Lillis Vorstellung handelt es sich bei den Vorgängen im Magen-Darmtrakt um einen Selektionsvorgang, bei dem zwischen brauchbaren Nährstoffen und nicht brauchbaren Stoffen unterschieden und getrennt wird. Die nicht brauchbaren Stoffe werden wieder ausgeschieden. Nährstoffe werden in Lillis Vorstellung von Bakterien benötigt („die Bakterie braucht (benutzt) die ganzen Nährstoffe“), um „Fähigkeiten auszuüben“, um „zu wachsen (sich zu teilen)“, dafür brauche „man Kraft“. Lilli verknüpft die bakteriellen Nährstoffe gedanklich mit bakteriellem Wachstum. Unklar bleibt dabei aber, wie Nährstoffe und die für das bakterielle Wachstum benötigte Kraft zusammen-

hängen. Mit großer Wahrscheinlichkeit überträgt Lilli verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen mit Essen gründen, auf Bakterien. Man fühlt sich schwach und kraftlos, wenn man hungert; hat man hingegen ausreichend zu essen, fühlt man sich leistungsfähig und kräftig. Und schon die Eltern stellen einen Zusammenhang zwischen Essen und Wachstum her, wenn sie den Kindern empfehlen zu essen, damit sie „*groß und stark*“ werden.

Lilli verfügt über bereichsspezifisches Wissen von der menschlichen Ernährung, sie weiß, dass Enzyme Nährstoffe zersetzen. Sie denkt, dass bei der Zersetzung von Stärke „Traubenzucker“ herauskommt, weswegen der Speichel dann süß schmeckt. Offensichtlich hat Lilli unterrichtliche Erfahrungen mit der Verdauung von Stärke zu Traubenzucker gemacht. Die darin gründenden Vorstellungen erinnern an eine chemische Reaktion, die in einem Reagenzglas stattfindet. Die zellbiologischen Zusammenhänge, in denen die Umsetzung von Stärke zu Traubenzucker im menschlichen Speichel steht, bleiben von dieser Vorstellung ausgeschlossen. Woher die Verdauungsenzyme im Speichel stammen bleibt ebenso unklar wie die Bedeutung des Traubenzuckers. Lilli überträgt die Vorstellung, dass Nährstoffe zersetzt werden, auf Bakterien und Eiweißmoleküle, eine „Bakterienzelle zersetzt das Eiweißmolekül (löst es auf)“ „in kleine Teile“, die sie dann aufnehmen kann. Lilli denkt, dass Bakterien als Ganzes die „Funktionen, die ein Enzym hat“ aufweisen können, sie grenzt die submikroskopische Ebene der Moleküle und die Ebene der Zellen nicht voneinander ab. Andererseits kann sie sich aber auch vorstellen, dass Bakterien „Giftstoffe“ abgeben, die „Eiweißmoleküle“ solange „in kleinere Teile zersetzen“, bis das Eiweißmolekül „passt“, also von der Bakterienzelle aufgenommen werden kann. Auf Basis ihres metaphorischen Verständnisses von Bakterien als Behälter stellt sich Lilli vor, dass Bakterien Nährstoffmoleküle zersetzen, damit die Zersetzungsprodukte von der Bakterienzelle aufgenommen werden können. Lilli kann sich vorstellen, dass die Zersetzung der Nährstoffe innerhalb eines Bakteriums durch Säure fortgesetzt wird („es zersetzt das weiter“). Bakterien werden als eine Art von Magen vorgestellt.

Lisa: „Zum Leben brauchen die Bakterien Nährstoff, vielleicht Sauerstoff. Die Fette setzen sich ab. Die Eiweiße setzen sich irgendwo ab, sie sind irgendwas für Knochen, Haare, Nägel. Im Eiweiß sind verschiedene Sachen drin und die verschiedenen Sachen sind für andere Sachen da. Vielleicht ein Teil für Haut, ein Teil für Haare“. „In dem anderen Ansatz haben die Bakterien etwas zum Ernähren, da sind die Lebenschancen (Lebensmöglichkeiten) viel größer. Wenn nur Agar und kein Nähragar in der Petrischale drin ist, überleben die Bakterien nicht. Die Bakterien haben ein kleines Maul, dann gehen die Eiweiße da so durch. Ich weiß nicht, ob draußen am Bakterium ganz viele Noppen sind. Die Eiweiße binden nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip an die Noppen. Das war nur ein Vergleich, weil Monika meinte, dass draußen am Bakterium diese Noppen dran sind, die wie Rezeptoren eine ganz bestimmte Form haben. Dann gehen die Eiweiße da in die Rezeptoren rein und dadurch hat das Bakterium draußen was zu fressen anhängen. Die Noppen haben die Aufgabe, das Fressen einzusammeln. Die Noppen hängen draußen am Bakterium dran, um das Fressen draußen einzusammeln, wenn das Bakterium durch den Nähragar schwimmt. Und es zersetzt das, was das Bakterium braucht, weiter, schleust es ins Innere, und dann wird das da verdaut. Das war der Fressvorgang. Das Eiweiß wird von den Bakterien gefressen“. (Exp 4, Kol 1, Z 162, 195, 210-212, 224-227, 238. Exp 4, Kol 3, Z 60, 61, 165, 166, 499, 501, 506, 510, 512, 515, 516, 526, 532-536, 540)

Lisa verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien „ein kleines Maul haben“. Bakterien ernähren sich von „Eiweißen“, die von den Bakterien „gefressen“ werden. Lisa stellt sich die bakterielle Ernährung tierlich vor. Eiweiße als bakterielle Nahrung dürfte sich Lisa nicht als aus Molekülen bestehend vorstellen, sondern als Stoff, der von Bakterien gefressen werden kann, Bakterien und ihre Nahrung gehören der gleichen Größenebene an. Bakterien können in Lisas

Vorstellung Fressen einsammeln, die Lernerin überträgt verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen mit den Tätigkeiten des eigenen Körpers gründen, auf Bakterien. Sie denkt, dass Bakterien außen „Noppen (Rezeptoren“) haben, die nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip „eine ganz bestimmte Form“ aufweisen und die Funktion haben, „das Fressen einzusammeln“. Das Einsammeln des Fressens ist aufgrund der speziellen Bindefähigkeiten der Rezeptoren (Noppen) also zugleich mit einer Selektion verbunden. Lisa stellt sich die bakterielle Nahrung als Fressen vor, beschreibt an dieser Stelle aber einen molekularen Aufnahmemechanismus, der keineswegs dem tierlichen Fressen entspricht. Sie verfügt über die Vorstellung eines Bakteriums als Behälter, Fressen steht in Lisas Vorstellung für das Hineinbefördern von Nahrung in den Behälter. Lisas Vorstellung, dass Bakterien Nährstoffe benötigen, dürfte auf experimentelle Erfahrungen zurückgehen. Darin dürfte auch Lisas Vorstellung gründen, dass die „Lebenschancen (Lebensmöglichkeiten)“ der Bakterien in der Petrischale mit Nährstoffen größer seien. Nährstoffe (Fette, Eiweiße) setzen sich in Lisas Vorstellung nach der Aufnahme ab. Eiweiße werden für „Knochen (Haare, Nägel)“ benötigt, wobei Lisa über die Vorstellung verfügt, dass im Eiweiß verschiedene Bestandteile („Sachen“) enthalten sind, die für verschiedene Zwecke gut sind („sind für andere Sachen da“). Während Lisa ihre Vorstellungen von der tierlichen Ernährung als Fressen einerseits auf Bakterien wie selbstverständlich übertragen kann, trifft dies nicht auf ihre Vorstellungen von der Funktion der Nährstoffe (Eiweiße) zu. Dies dürfte daran liegen, dass Lisa menschliche Ernährung gedanklich nicht mit den Zellen des menschlichen Körpers verknüpft, da ihr bereichsspezifisches zellbiologisches Wissen nicht verfügbar ist.

Luka: Die Bakterien docken vielleicht an ein Nähragarteilchen an, saugen es irgendwie aus oder ein. Die Bakterien nehmen dem Körper die Proteine, Vitamine und Kohlenhydrate weg. Meine Meinung ist, dass die Bakterien dem Körper so viel Schädliches zuführen oder das Wichtige kaputt fressen,... Dann kriegen die Bakterien etwas zu essen und jeder isst an seinem Platz...“ (Exp 3, Kol 3 Z 164, 165, 234-238, 240, 265-267, 491, 492)

Luka stellt sich vor, dass Bakterien an „Nähragarteilchen andocken“ und es dann „ein-“, bzw. „aussaugen“, Bakterien können aber auch fressen. Der Lerner stellt sich die bakterielle Ernährung tierlich vor, Nahrung wird von einem Bakterium, das als Behälter vorgestellt wird, aufgenommen. Bakterien und ihre Nahrung können in Lukas Vorstellung der gleichen Größenebene angehören, da es Bakterien möglich ist, Nähragarteilchen auszusaugen. Im menschlichen Körper ist die bakterielle Ernährung Lukas Meinung nach schädlich, da Bakterien aufgrund seiner Vorstellung von der tierlichen bakteriellen Lebensweise „das Wichtige kaputtessen“. Bakterien können Lukas` Meinung nach dem menschlichen Körper Nährstoffe („Proteine, Vitamine, Kohlenhydrate“) auch wegnehmen. Den dadurch entstehenden Schaden dürfte Luka in der Weise denken, dass weggenommene Nährstoffe dem Körper einfach nicht mehr zu Verfügung stehen, sie fehlen. Luka überträgt das Schema *Geber-Gabe-Nehmer* (Gropengießer 2007) auf den menschlichen Körper, Nährstoffe und Bakterien.

Maja: „Ich glaube, im Mund werden auch schon irgendwelche Zuckermoleküle zerkleinert, die gleich im Mund und in der Speiseröhre als Energie verarbeitet werden können. Ich glaube, das Zerkleinern geht auch mit Enzymen. Wenn ein Stück Brot da im Agar liegen würde, würde das Bakterium vielleicht da auch seine Enzyme drauf tun und Eiweißmoleküle von lösen, verdauen können“ (Exp 5, Kol 1, Z 715-721, 759-761)

Maja verfügt über bereichsspezifisches Wissen zur menschlichen Ernährung. In ihrer Vorstellung werden „Zuckermoleküle“ „im Mund und in der Speiseröhre“ zerkleinert, die Zuckermoleküle werden dort zu „Energie verarbeitet“. Verdauung durch Enzyme denkt Maja als mechanischen Prozess der Zerkleinerung, aufgrund nicht verfügbaren bereichsspezifischen

Wissens kann Maja nicht sagen, wie die Zerkleinerung von Kohlenhydraten und die Bereitstellung von Energie zusammenhängen. Den Prozess der Energieerzeugung verknüpft Maja gedanklich nicht mit Zellen: Er kann im Mund und in der Speiseröhre stattfinden. Maja wird im Unterricht die Verdauung von Stärke zu Traubenzucker, die schon im Mundspeichel beginnt, kennengelernt haben. Da sie aber die zellbiologischen Zusammenhänge des Energiestoffwechsels nicht kennt, in denen Traubenzucker steht, stellt sie sich vor, dass Zucker zu Energie verarbeitet wird. Maja überträgt ihr Konzept von der Kohlenhydratverdauung im Speichel des Menschen durch Enzyme auf die Bakterien im Agar. Ein Bakterium würde auf ein „Stück Brot“, das im Agar liegt, möglicherweise „auch seine Enzyme drauf tun“ und „Eiweißmoleküle lösen (verdauen)“. Anzunehmen ist, dass Maja über die Vorstellung verfügt, ein Bakterium gebe eine Art Speichel auf das Stück Brot, so wie der Mensch Brot einspeichelt.

Margot: „Bakterien und Mäuse brauchen das gleiche zur Ernährung, genauso wie alle Menschen keine Eiben essen können, wir brauchen alle Grundnahrungsmittel“. (Exp 7, Kol 1, Z 574, 575)

Margot verfügt über die Vorstellung, dass alle Bakterien – wie „Mäuse“ – „das Gleiche zur Ernährung brauchen“. Diese Vorstellung gründet in Erfahrungen mit der menschlichen Ernährung: Ein Mensch benötigt einerseits „alle Grundnahrungsmittel“, kann andererseits aber bestimmte Dinge („Eiben“) nicht essen, weil sie giftig sind.

Marlies: „Wenn die Bakterien fressen, müssten die die Nährstoffe einschließen. Dass die Nährstoffe sich an die Bakterien ran hängen oder eben anders herum und, dass die dann ihre Haut außen um die Nährstoffe rum bilden und dann könnten die Bakterien schon ihr Fressen essen.“ (Exp 12, Kol 1, Z 14-18)

Marlies verfügt einerseits über die Vorstellung fressender Bakterien, andererseits kann sie sich aber auch vorstellen, dass Bakterien „ihre Haut außen um die Nährstoffe rum bilden“. Die bakterielle Außenbegrenzung, die Marlies nicht starr und unnachgiebig, vielmehr als weiche und geschmeidige „Haut“ denkt, wächst um Nährstoffe herum und schließt diese ein. Marlies spricht davon, dass die Bakterien auf diese Weise „ihr Fressen essen“. Der vorgestellte Mechanismus erinnert an die Phagozytose, die Marlies im Unterricht kennengelernt haben dürfte. Auf den ersten Blick überrascht es, dass Marlies das Umwachsen von Nährstoff als „Fressen“ denkt. Geht man aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens aber davon aus, dass die Lernerin über verkörperte Vorstellungen von Essen verfügt, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit der Aufnahme von Nahrung gründen, wird verständlich, dass der von Marlies gedachte Aufnahmemechanismus eine Variante des Vertilgens darstellt. Angenommen werden darf aus diesem Grunde weiterhin, dass Marlies über die Vorstellung verfügt, dass sich die Nährstoffe, die von den Bakterien aufgenommenen wurden, dann in einer Art von bakteriellem Magen befinden.

Monika: „Die Bakterien brauchen den Nähragar zum Leben, was sie fressen ist doch da“. (Exp 4, Kol 2, Z 647, 648)

Monika verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien „fressen“ und im Nähragar die Nahrung vorfinden, die sie „zum Leben brauchen“. Monika stellt sich die bakterielle Ernährung tierlich vor. Die Vorstellung, dass Bakterien im Nähragar die lebensnotwendige Nahrung vorfinden, gründet in den experimentellen Erfahrungen, die sie im mikrobiologischen Praktikum gesammelt hat.

Nourchen: „Dass das Bakterium abbeißt, kann ich mir nicht vorstellen, ich frage mich, womit es das tun sollte“. (Exp 11, Kol 1, Z 309, 312)

Nourchen denkt nicht, dass ein Bakterium isst, weil sie sich nicht vorstellen kann, womit ein Bakterium „abbeißt“. Diese Vorstellung könnte in bereichsspezifischem mikrobiologischem Wissen gründen, das sich Nourchen angeeignet hat, möglicherweise hat sie mikroskopische Aufnahmen von Bakterien gesehen, auf denen sie keine zum Abbeißen geeigneten bakteriellen Strukturen erkennen konnte. Da Nourchen ihre Meinung, dass Bakterien nicht abbeißen, in Frageform vorträgt, scheint sie sich ihrer Sache aber nicht ganz sicher zu sein. Möglicherweise beruht ihre Aussage auf der Vorstellung, dass es in der Welt der Bakterien einfach anders zugeht, als in der vertrauten mesokosmischen Welt: Abbeißende Bakterien können unter dieser Annahme auch ohne genauere Kenntnis der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, ausgeschlossen werden.

7.4.3.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Für den Vorgang der Nährstoffaufnahme durch Bakterien verwenden Lerner verschiedene Verben: Aufnehmen, reingehen, reinkommen, einschleusen, einsaugen, aussaugen, aber an erster Stelle essen, fressen, auffressen, wegfressen. Auch die dem Essen dienenden Strukturen (z.B. Maul, Zähne) samt ihren Funktionen (mechanische Zerkleinerung der Nahrung, Einspeichelung, Verschlucken) können Lerner Bakterien zudenken. Nur ein Lerner stellt die tierliche bakterielle Nahrungsaufnahme infrage, weil er sich nicht vorstellen kann, womit Bakterien beißen sollten. Nach der Aufnahme der Nährstoffe in ein Bakterium kann es zu einer Selektion kommen, nicht brauchbare Stoffe werden ausgeschieden. Die meisten Lerner verstehen also die bakterielle Nahrungsaufnahme metaphorisch, indem sie verkörperte Vorstellungen von Essen, die in Erfahrungen mit der eigenen Ernährung gründen, auf Bakterien übertragen (*Essende Bakterien*). Lerner verfügen über die Vorstellung, dass sich Nahrung nach dem Verschlucken im Inneren ihres Körpers befindet. Der Körper wird als *Behälter* vorgestellt, diese Vorstellung wird auf Bakterien übertragen. Bakterien können als Magen gedacht werden, der Säure enthält. Die fachwissenschaftliche Perspektive, dass der Magen-Darm-Trakt Außenwelt darstellt und sich Nährstoffe erst im Körper befinden, wenn sie von den Zellen der Magen-Darmwandung aufgenommen worden sind, ist lebensweltlich fremd.

Aufgrund des metaphorischen Verständnisses von Bakterien als Tieren, übertragen Lerner auch wissenschaftsorientierte Vorstellungen zur tierlichen Ernährung und Verdauung auf Bakterien. Enzyme können von Bakterien abgegeben werden und Nahrung (Brot, Eiweißmoleküle) ablösen, zerkleinern, zersetzen (*Bakterien verdauen*). Enzyme können auch als Gift gedacht werden, das Eiweißmoleküle in kleinere Teile zersetzt, die vom Bakterium aufgenommen werden können. Ein Bakterium als Ganzes kann als Enzym gedacht werden, es zersetzt. Die mikroskopische Ebene der Zellen und die submikroskopische Ebene der Moleküle werden nicht voneinander unterschieden. Enzymen kann auch die Funktion zugeordnet werden, Nährstoffe einzusammeln. Bakterien geben nach dieser Vorstellung Enzyme ab, die Nährstoffe binden und für das Bakterium einsammeln. Mithilfe von Enzymen sondieren Bakterien in ihrer Umgebung nach Art einer Leimrute nach Nährstoffen. Zum Einsammeln von Nährstoffen können Bakterien auf ihrer Oberfläche auch mit Rezeptoren (Noppen) ausgestattet vorgestellt werden, die Nährstoffe nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip binden (*Klebrige Bakterien*). An der bakteriellen Oberfläche findet eine Selektion zwischen solchen Stoffen, die von den Bakterien benötigt werden und solchen, die nicht benötigt werden. Diese Vorstellung dürfte auf unterrichtliche Vermittlung zurückgehen, Moleküle, die nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip Moleküle spezifisch binden, spielen z.B. bei Antikörper-Antigen-Wechselwirkungen eine Rolle. Eine Vorstellung konnte erhoben werden, wonach Bakterien

Nahrung umwachsen und sich dabei einverleiben: Die bakterielle Zellwand wird als Haut gedacht. Bei dieser Vorstellung handelt es sich um eine Übertagung von wissenschaftsorientierten Vorstellungen, die auf unterrichtliche Vermittlung des Phagozytosevorgangs zurückzuführen sein dürften. Die Phagozytose stellt eine Variante des Vertilgens dar (*Einverleiben*). Lernern können sehr verschiedene Vorstellungen von der Nahrungsaufnahme auf Bakterien übertragen, gemeinsam ist diesen Vorstellungen, dass Bakterien als *Behälter* gedacht werden, in den Nahrung aufgenommen wird.

Lerner können sich vorstellen, dass sich Bakterien von Nährstoffen ernähren. Diese Vorstellung gründet in experimentellen Erfahrungen, die die Lerner in ihrem mikrobiologischen Praktikum gesammelt haben. In Petrischalen, in die sie Agar ohne Nährstoffe gegeben und mit Tümpelwasser zusammengemischt haben, konnten die Lerner – im Gegensatz zu Petrischalen mit Nähragar – nach der Bebrütung keine Bakterienkolonien beobachten. Dass Lerner in erster Linie an Eiweiße als bakteriellen Nährstoff denken, dürfte ebenfalls auf Vorstellungen zurückzuführen sein, die in experimentellen Erfahrungen gründen. Auf dem Etikett des Gefäßes, in dem sich das Nährpulver zur Zubereitung der Bakteriennährböden befunden hat, waren Proteine vom Hersteller als Hauptinhaltsstoff neben anderen Inhaltsstoffen (z.B. verschiedene Ionen, Kohlenhydrate, Vitamine) vermerkt. Die Lerner wurden angehalten, sich Notizen zu den im mikrobiologischen Praktikum verwendeten Chemikalien und Materialien zu machen. Da Lerner über so gut wie kein bereichsspezifisches mikrobiologisches Wissen verfügen und auch Wissen von der Ernährung eukaryotischer Zellen weitgehend nicht verfügbar ist, können die Informationen zur Zusammensetzung des Nährpulvers fachlich nicht richtig gedeutet werden: In den Vorstellungen mehrerer Lerner ernähren sich Bakterien allein von Eiweiß (*Uniforme Bakteriennahrung*). Nur ein Lerner differenziert nach verschiedenen Nährstoffen (Proteine, Kohlenhydrate, Vitamine), die von Bakterien benötigt werden. Es handelt sich um Wissen, das unterrichtlich im Zusammenhang zur menschlichen Ernährung vermittelt wurde und das auf Bakterien übertragen wird.

Lerner können sich die bakterielle Nahrung einerseits als Stoff vorstellen. Mit großer Wahrscheinlichkeit wird mit dem Terminus „Eiweiß“ das geronnene Weiße eines hart gekochten Eies gedanklich verknüpft, mit dem Lerner lebensweltliche Erfahrungen gemacht haben dürften. Andererseits stellen Lerner vor, dass sich Bakterien im menschlichen Körper von Körperzellen (Nervenzellen) ernähren. Bakterien und ihre Nahrung gehörten demnach der gleichen Größenebene an.

Die Lerner können zum einen lebensweltliche Vorstellungen auf Bakterien übertragen, um die biologische Bedeutung der bakteriellen Nährstoffe zu verstehen. Nährstoffe erhöhen beispielsweise die „Lebenschancen (Lebensmöglichkeiten)“, Bakterien brauchen den Nähragar zum „Leben“, Bakterienzellen brauchen Nährstoffe, um „die Fähigkeiten, die sie haben, auszuüben“ oder für die „Kraft“, die für das bakterielle Wachstum erforderlich ist. Zum anderen konnten Vorstellungen zur Funktion von Nährstoffen erfasst werden, die auf unterrichtliche Vermittlung zurückzuführen sein dürften, die sich aber nicht auf Bakterien übertragen lassen. Dabei handelt es sich einerseits um Vorstellungen, die sich auf makroskopische Merkmale des Menschen („Haut“, „Haare“) beziehen, für die „die verschiedenen Sachen“, die „im Eiweiß drin sind“, benötigt werden. Da die Lerner sich das diesbezügliche Wissen außerhalb jeglicher zellbiologischer Zusammenhänge angeeignet zu haben scheinen, können sie die Notwendigkeit von Eiweißen in der Nahrung des Menschen gedanklich nicht mit den Zellen, aus denen der menschliche Körper besteht, verknüpfen. Aus demselben Grund können Lerner diese Vorstellungen auch nicht auf Bakterien übertragen, um durch Imagination ein metaphorisches Verständnis von der Funktion bakterieller Nährstoffe zu erreichen. Eine Vorstellung konnte erfasst werden, wonach Nährstoffe (Zucker) in Mund und Speiseröhre zu

Energie verarbeitet werden. Auch diese Vorstellung lässt sich aufgrund fehlender gedanklicher Verknüpfung mit der Ebene der Zellen ebenfalls nicht auf Bakterien übertragen.

7.4.3.2 Konzepte zur Ernährung von Bakterien

- *Essende Bakterien*

Bakterien essen (fressen, beißen) Nahrung, sie werden als tierliche Lebewesen gedacht. Die bakterielle Nahrung wird einerseits als Stoff gedacht, der makroskopisch groß sein kann (Brot, menschlicher Körper). Als bakterielle Nahrung können andererseits aber auch Zellen (Körperzellen, Nervenzellen) vorgestellt werden. Bakterien können eine Säure enthalten, die mit Enzymen analogisiert wird, die Nährstoffe wie im menschlichen Magen zersetzt: Bakterien werden als Magen vorgestellt. Aus dem aufgenommenen Material werden Nährstoffe herausgenommen, nicht brauchbares Material wird wieder ausgeschieden. Nährstoffe werden von Bakterien zum Leben (für Funktionen, für die erforderliche Kraft für das Wachstum) oder zur Gewinnung des Grundstoffs, der zur Vergrößerung der bakteriellen Zellwand gebraucht wird, benötigt.

- *Bakterien verdauen*

Bakterien können Enzyme auf Nahrung (Brot) geben und diese verdauen (zerkleinern, Eiweißmoleküle davon ablösen). Enzyme können auch als Gift gedacht werden, das Eiweißmoleküle in kleinere Teile zersetzt, die vom Bakterium aufgenommen werden können. Bakterien als Ganzes können die Funktionen aufweisen, die ein Enzym hat.

- *Einverleiben*

Die Wandung eines Bakteriums wird als Haut gedacht, die Nährstoffe umwächst und einverleibt. Bakterien werden als phagozytotisch aktive Zellen gedacht.

- *Uniforme Nahrung*

Alle Bakterien benötigen den gleichen Nährstoff.

- *Klebrige Bakterien*

Die Wandung eines Bakteriums wird als klebrig gedacht, Nährstoffe können an ihr anhaften. Der Haftmechanismus wird auf Rezeptoren (Noppen) beruhend vorgestellt, die sich außen auf der bakteriellen Wandung befinden und die Nährstoffe nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip binden. Aufgrund der Selektivität der Rezeptoren bleiben nur Nährstoffe haften, die vom Bakterium auch benötigt werden.

7.4.4 Lernervorstellungen von der Beweglichkeit der Bakterien

Die meisten Lernerzeichnungen zeigen Bakterien, die mit Anhängen ausgestattet sind (s. Abb. 7.2) und denen Lerner meist die Funktion zudenken, Bakterien mobil zu machen. Im vorangestellten Kapitel konnte erfasst werden, dass Lerner die bakterielle Ernährung tierlich als Essen vorstellen. An dieser Stelle geht es darum zu erfassen, welche Vorstellungen Lerner von der bakteriellen Beweglichkeit haben.

Albert: „Viele Bakterien können sich ja gar nicht so aktiv bewegen, sondern werden einfach nur vom Blut mitgespült und deswegen ist es vielleicht mehr oder weniger Zufall, wenn sich ein Mineral oder ein Nährstoff an dem Bakterium ankettet. Bakterien bewegen sich sehr langsam, und die Frage ist, wenn sie ein Mineral oder Nährstoff bemerkt und sich dann in Bewegung setzt, ob es dann nicht schon wieder weg ist.... Die Frage ist auch noch wie sie das wahrnehmen, weil, die haben ja keine Augen wie wir und können sehen, da ist ein Nährstoff“. (Exp 12, Kol 1, Z 6-9; Z 28-30, 47, 48)

Albert stellt sich Bakterien aktiv beweglich vor. Mit der Aussage „Viele Bakterien können sich ja gar nicht so aktiv bewegen...“ meint Albert keineswegs, dass es Bakterien gibt, die über die Fähigkeit zur aktiven Beweglichkeit verfügen und solche, die nicht darüber verfügen. Wie sich im Verlauf seiner Ausführungen zeigt, denkt Albert die bakterielle Fortbewegung als niedrig („Bakterien bewegen sich sehr langsam...“) und als wenig effektiv, weil sich Bakterien nicht gegen den Strom bewegen können. Bakterien ist es z.B. nicht möglich, durch aktive Fortbewegung an Nährstoff zu gelangen, da letzterer dann „schon wieder weg ist“, also fortgespült wurde, wenn sich das Bakterium „dann... in Bewegung setzt“. Mit „dann“ meint Albert den Zeitraum, nachdem das Bakterium den Nährstoff „bemerkt“ hat und bevor es sich in Bewegung setzt. Weil aber Bakterien in seiner Vorstellung „keine Augen wie wir haben“ und nicht „sehen können“, wo sich der Nährstoff befindet, hält Albert eine gezielte Fortbewegung von Bakterien auf Nährstoffe zu für nicht möglich. Bakterien werden als eine Art Plankton vorgestellt, das von bewegter Flüssigkeit verdriftet wird. Nährstoff und Bakterium kommen zufällig in Kontakt, Nährstoff klettert am Bakterium an.

Harry: „Jede Bakterie kann sich, glaube ich, in einem gewissen Grad bewegen, aber ich glaube, dass die teilweise auch durch Sturm sich an ihre Nährstoffe bewegen. In der Strömung sind auch Nährstoffe drin, und ich glaube, das ist so verschieden von Bakterie zu Bakterie, ob die sich selber dahin bewegen oder ob sie dahin bewegt werden. Ich glaube, die Nährstoffe, Bakterien leben auch in Flüssen oder Seen, das haben wir ja gesehen an der Tümpelwasserprobe, da sind ja auch teilweise Strömungen drin, und wenn da eine Strömung drin ist, bringt die Bewegung relativ wenig, die Bakterien bewegen sich ja so langsam. Während aber zum Beispiel in einem Gewässer das ruhig ist, wo sich nichts bewegt, da bewegen die sich vielleicht eigenständig zu den Mineralien hin. In der Petrischale bewegen die sich hin. Wenn die Nährstoffe in der Petrischale verbraucht sind, dann bewegen die sich weiter, aber die bewegen sich ja so langsam“. (Exp 12, Kol 1, Z 20-26; Z 33-39, 41, 45)

Harry hält eine aktive Fortbewegung von Bakterien auf Nährstoffe zu aufgrund der bakteriellen Langsamkeit in strömenden, bewegten Gewässern für aussichtslos. Er stellt sich Bakterien als eine Art Plankton vor, das mit Wasserströmungen hin und her befördert wird. In stehenden, nicht bewegten Gewässern hingegen kann Harry eine aktive Fortbewegung von Bakterien auf Nährstoff („Mineralien“) zu denken und überträgt diese Vorstellung auch auf Bakterien im Nähragar. Sind die Nährstoffe dort am Standort „verbraucht“, „bewegen“ sich die Bakterien „weiter“. In Harrys Vorstellung sind alle Bakterien aktiv bewegungsfähig, er macht es aber von den ökologischen Bedingungen abhängig, ob diese Bewegungsfähigkeit eine Rolle beim Zusammenkommen von Bakterium und Nährstoff spielt. Bakterien können von Wasserströmungen zum Nährstoff verfrachtet werden. Nährstoffe können sich aber auch in Wasserströmungen befinden, mit denen sie zu den Bakterien verfrachtet werden.

Lena: „Die Bakterie muss irgendwie an das Eiweißteilchen (das Eiweißmolekül) kommen“. (Exp 5, Kol 1, Z 605, 606, 611)

Lena stellt sich vor, dass Bakterien an Nahrung („Eiweißteilchen, Eiweißmoleküle“) kommen müssen. Lena überträgt verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen mit dem eigenen Körper gründen, auf Bakterien: Um eines Gegenstandes, der nicht in Reichweite ist, habhaft zu werden, muss ich mich ihm nähern.

7.4.4.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Lerner können sich Bakterien als aktiv beweglich vorstellen (*Eigenbewegliche Bakterien*). Werden Angaben zur Geschwindigkeit bakterieller Fortbewegung gemacht, sind Bakterien stets langsam. Im Kapitel „*Lernervorstellungen zur Größe von Bakterien*“ konnte erhoben werden, dass Lerner Bakterien unklar klein vorstellen. Dies konnte auf Erfahrungsdefizite mit mikrobiologischen Gegenständen und darauf zurückgeführt werden, dass die Einheiten des metrischen Systems nicht auf mikrobiologische Gegenstände angewendet werden können. Aus den gleichen Gründen sind auch die Lernervorstellungen von den Abmessungen der bakteriellen Umwelt und von der Geschwindigkeit der bakteriellen Fortbewegung unklar (*Unklar kleine Bakterienumwelt*). Lerner wissen nicht, um welche Distanzen es sich handelt, die Bakterien zu überwinden haben und auch nicht, in welcher Zeit Bakterien welche Strecken zurücklegen können. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens übertragen Lerner aufgrund nicht verfügbarer mikrobiologischer Vorstellungen von der bakteriellen Geschwindigkeit lebensweltliche Geschwindigkeitsvorstellungen auf Bakterien: Kleine Tiere werden langsam, große Tiere schnell gedacht. Metaphorisch werden Bakterien als kleine Tiere vorgestellt, sie benötigen viel Zeit, um eine Strecke zurückzulegen (*Klein=langsam*). Die bakterielle Fortbewegung wird als nicht besonders wirkungsvoll vorgestellt, von strömenden Flüssigkeiten werden Bakterien fortgespült, Bakterien werden als eine Art von Plankton gedacht (*Mitbewegte Bakterien*).

Bakterien können sich gezielt auf Nährstoff zu bewegen (*Zielgerichtete Bakterien*). Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird dieser Sachverhalt damit erklärt, dass das Schema *Start-Weg-Ziel* (Lakoff 1987, S. 275) durch Imagination auf Bakterien übertragen wird. Da der Mensch sich bei seinen zielgerichteten Bewegungen auf Gegenstände zu aber in der Regel mithilfe seines Gesichtssinnes orientiert, trifft dies auch auf Bakterien zu. Der Geruchs-, Geschmacks- oder Hörsinn wird nicht in Erwägung gezogen. Aus diesem Grund kann sich beispielsweise Albert eine zielgerichtete bakterielle Fortbewegung auch nicht vorstellen, weil er denkt, dass Bakterien keine Augen aufweisen. Caroline scheint einen bakteriellen Tastsinn zu erwägen. Sie versieht Anhänge des von ihr zeichnerisch erfassten Bakteriums (s Abb. 7.2) mit dem Kommentar „die gelben Fühler sind für die Orientierung, damit die Keime ihren Weg finden“.

7.4.4.2 Konzepte zur Beweglichkeit von Bakterien

- *Eigenbewegliche Bakterien*
Bakterien sind eigenbeweglich, zur Bewegung weisen sie Fortbewegungsorgane auf.
- *Klein=langsam*
Bakterielle Fortbewegungsgeschwindigkeit wird als langsam vorgestellt. Weil Bakterien klein sind, sind sie auch langsam.
- *Zielgerichtete Bakterien*
Bakterien können sich auf Nährstoffe zielgerichtet zubewegen.
- *Mitbewegte Bakterien*
Von strömenden Flüssigkeiten (Blut, Tümpelwasser) werden Bakterien fortgetragen. Der bakterielle Antrieb wird als wenig wirkungsvoll vorgestellt, Bakterien werden als eine Art Plankton gedacht.
- *Unklar kleine Bakterienumwelt*
Die Distanzen, die Bakterien zu überwinden haben, sind unklar. Zu den Abmessungen der bakteriellen Umwelt sind keine Größenordnungen verfügbar.

7.4.5 Lernervorstellungen vom Wachstum der Bakterien

Während es im vorausgegangenen Kapitel um die bakterielle Ernährung ging, geht es an dieser Stelle um bakterielles Wachstum. Aufgrund der Gliederung des Interviewmaterials nach Themenschwerpunkten ist damit zu rechnen, dass es zu Überschneidungen, Ergänzungen oder aber auch Widersprüchen der erfassten Vorstellungen in Abhängigkeit vom Gesprächskontext kommt. Die Lerner denken Bakterien als *Behälter*, diese Vorstellung wurde im Kapitel „*Vorstellungen zur Struktur von Bakterien*“ erfasst. Bakterien nehmen Nährstoff auf, eine Vorstellung, die im vorangegangenen Kapitel erhoben werden konnte. Da die meisten Lerner Bakterien als tierliche Lebewesen denken, wird die Aufnahme von Nährstoffen meist als Fressen (Essen) vorgestellt. In diesem Kapitel geht es um die Frage, wie sich Lerner bakterielles Wachstum vorstellen. Sie geben Auskunft über ihre Vorstellungswelten, die in erster Linie nicht einer thematischen Gliederung analog geordnet sind. Vielmehr wird kontextabhängig ein Gesamtbild des Gegenstands gezeichnet, dessen Facetten unter der Perspektive des Themenschwerpunktes gespiegelt werden. Diese Facetten werden bei den Interviewschwerpunkten „*Ernährung*“ und „*Wachstum*“ nahe beieinanderliegen, da zwischen beiden Themen lebensweltlich aber auch in der unterrichtlichen Vermittlung zahlreiche Korrespondenzen bestehen. Die Befragungen zum Thema „*Bakterielles Wachstum*“ finden vor dem experimentellen Hintergrund statt, dass die Lerner in ihrem mikrobiologischen Praktikum Nähragar und Tümpelwasser miteinander vermischt und die Petrischalen dann 24 Stunden im Brutschrank gehalten haben. Nach der Bebrütung konnten sie im Nähragar Bakterienkolonien wahrnehmen, die in der Zwischenzeit aufgewachsen waren.

Albert: „Erst mal muss das Bakterium den Grundstoff für die Materie bilden, es muss den Grundstoff geben. Die Bakterie muss irgendwas fressen oder irgendwelche Mineralien aufnehmen, so dass sich die Zellwand überhaupt vergrößern kann. Wachsen bedeutet, aus klein wird groß, dafür braucht man Eiweiße. Die bakterielle Zellwand ist fest und nicht dehnbar....Oder es kommt ein Protein von außen und macht ein sehr kleines Loch in die Zellwand rein, es darf nichts verloren gehen. Ein kleines Loch, das dann von diesem Baustoff wieder gefüllt wird. Aber dann ist es auch nicht größer. Man muss ein kleines Loch rein machen und durch eine große Menge Material auffüllen. Aber dann müsste die Zellwand dehnbar sein und das geht nicht“. (Exp 9, Kol 1, Z 13-15, 21, 25, 28, 145-158)

Albert verfügt über die Vorstellung biologischen Wachstums als *Größer-Werden* („Wachsen bedeutet, aus klein wird groß“). Über verkörperte Vorstellungen von Wachstum als *Größer-Werden* verfügt jeder Mensch, sie gründen in den Erfahrungen mit dem *Größer-Werden* des eigenen Körper oder dem Wachstum von anderen Lebewesen des Mesokosmos. Albert versucht diese Vorstellung auf ein Bakterium zu übertragen. Alberts Vorstellung von der bakteriellen Zellwand, die er als „fest und nicht dehnbar“ denkt, ist aber unvereinbar mit der Vorstellung des Größerwerdens eines Bakteriums. Die Vorstellung, dass Eiweiße in die bakterielle Zellwand von außen ein „kleines Loch“ machen, in das „Baustoff gefüllt wird“ oder das „durch eine große Menge Material“ aufgefüllt wird, wodurch die bakterielle Zellwand vergrößert wird, lässt sich auf eine bakterielle Zellwand, die als nicht dehnbar gedacht wird, nicht übertragen.

Alex: „Die Zellschubstanz teilt sich in der Zellmembran und dazwischen teilt sich dann das Bakterium und so entsteht dann ein weiteres. Die Zellschubstanz wird immer weniger, irgendwann kann sich dieses Bakterium nicht mehr weiter teilen, weil es selbst nicht mehr genügend Zellschubstanz hat. Dann ist dieser Vorgang angehalten. Als Allererstes müsste sich die Erbschubstanz teilen, es muss immer beim Erbgut anfangen, beim Erbgut sind diese Stoffe, um die

Zellmembran und die Zellwand zu bilden. ...Ich habe mir vorgestellt, dass sich die Zellwand teilt und die Erbsubstanz trennt“. (Exp 6, Kol 1, Z 61-74, 306-318, 391, 392)

Alex verfügt über die Vorstellung bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden*. Die „Zellsubstanz“ teilt sich in Alex Vorstellung „in der Zellmembran“, wodurch ein weiteres Bakterium entsteht. Alex denkt, dass ein Bakterium bei der Vermehrung in zwei Teile geteilt wird. Alex stellt sich ein Bakterium als *Behälter* vor, dessen Wandung der Lerner kontextabhängig als Zellmembran oder Zellwand bezeichnet, die beiden Termini sind austauschbar. Da er nicht über das Schema bakteriellen Wachstums als *Größer-Werden* verfügt, stellt er sich vor, dass die „Zellsubstanz“ durch die bakterielle Teilungsaktivität „immer weniger“ wird: Die Bakterien werden von Teilung zu Teilung kleiner, bis die Zellsubstanz so gering ist, so dass sich die Bakterien nicht mehr weiter teilen („Dann ist dieser Vorgang angehalten“). Da Alex davon ausgeht, dass es eine bestimmte Bakteriengröße gibt, die nicht unterschritten werden kann, würde die bakterielle Vermehrungstätigkeit auf kurz oder lang darauf hinauslaufen, dass sämtliche Bakterien teilungsaktiv werden. Bezüglich der Rolle, die das genetische Material bei der bakteriellen Vermehrung spielt, konnten bei Alex zwei Vorstellungen erfasst werden: Zum einen stellt er sich vor, dass die bakterielle Vermehrung beim Erbgut anfängt, indem sich die Erbsubstanz teilt, woraufhin sich die Zellwand teilt und die „Erbsubstanz“ trennt. Zum anderen verfügt Alex über die Vorstellung, dass „beim Erbgut“ diejenigen Stoffe seien, „um die Zellmembran und Zellwand zu bilden“. Alex Vorstellung von der Rolle des Erbguts beim bakteriellen Wachstum dürften auf unterrichtliche Vermittlung des Themas Genetik zurückzuführen sein, er überträgt Vorstellungen von der Zellteilung und der Proteinbiosynthese eukaryotischer Zellen auf Bakterien.

Caroline: „Die abgetöteten Bakterien können nichts zerstören oder auffressen. Mit Alkohol behandelte Bakterien sind nicht mehr ansteckend, weil sie abgestorben sind, nicht mehr leben, sich nicht mehr vermehren“. (Exp 1, Kol 3, Z 371, 394-398)

Caroline stellt sich vor, dass abgetötete Bakterien keine Wirkung mehr haben. Abgetötete Bakterien zerstören nichts mehr, wobei Caroline die zerstörerische bakterielle Wirkung auch als Fressen denken kann. Caroline denkt, dass mit Alkohol behandelte Bakterien nicht mehr ansteckend sind, weil sie sich nicht mehr vermehren. Die Wirkung von Bakterien wird gedanklich mit einer großen Zahl an Bakterien verknüpft und diese wird von der Lernerin auf die bakterielle Vermehrungsfreudigkeit (*Mehr-Werden*) zurückgeführt. Die Vorstellung sich vermehrender Bakterien ist wissenschaftsorientiert und dürfte auf unterrichtliche Vermittlung, z.B. im Zusammenhang mit bakteriellen Infektionskrankheiten, zurückzuführen sein. Die Fähigkeit der Bakterien, sich in kürzester Zeit rasant vermehren zu können, wird in diesem Zusammenhang z.B. anhand von Kurven, die die exponentielle Vermehrung von Bakterien veranschaulichen, thematisiert und als Problem des Immunsystems dargestellt, wenn Bakterien in den menschlichen Körper eingedrungen sind. Carolines Vorstellung, dass Alkohol Bakterien abtötet, gründet in Erfahrungen, die sie im mikrobiologischen Praktikum gesammelt hat. Die Nährböden der bebrüteten Petrischalen hat sie mit Alkohol überschichtet, in der Versuchsanleitung wurde darauf hingewiesen, dass dieser Schritt unbedingt notwendig ist, um jegliche gesundheitliche Gefährdung auszuschließen, weil Bakterien durch hochprozentigen Alkohol abgetötet werden. Auf Basis dieser Information dürfte sich Caroline Bakterien als prinzipiell gefährlich vorstellen, Vorstellungen von Bakterien als Nützlinge sind der Lernerin im Zusammenhang mit den durchgeführten Versuchen nicht verfügbar.

Dietrich: „Durch den Nähragar haben die Bakterien Nährstoffe, um sich zu vermehren“. (Exp 3, Kol 3, Z 33, 34)

Dietrich denkt, dass Bakterien „Nährstoffe“ benötigen, um sich zu vermehren. Er verfügt also über die Vorstellung bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden*. Die gedankliche Verknüpfung zwischen Nährstoffen und der Vermehrung von Bakterien gründet in Erfahrungen, die Dietrich im mikrobiologischen Praktikum gesammelt hat.

Gerhard: „Die Bakterien teilen sich in zwei Teile auf, wenn sie groß genug sind. Es muss sich abspalten, auf der Außenhaut, auf der Zellwand bildet sich diese neue Bakterie. Ich habe es so in Erinnerung, dass die Bakterien laufend heranwachsen und sich teilen, wenn sie eine bestimmte Größe erhalten haben. Wenn sie immer kleiner würden, würde das System nicht lange durchhalten. Ich habe in einem Buch gelesen, dass sich auf dieser Zellwand Nährstoffe ablagern und da eine neue Bakterie entsteht. Wenn wir davon ausgehen, dass eine Bakterie im normalen Zustand eine bestimmte Form hat, die weiß ja, wie sie auszusehen hat, dass dann der Befehl vom Erbgut ausgeht, dass sich eine neue Zelle bildet, dass das hier geschlossen wird, und, dass das Ding auch komplett umgeben ist. Deswegen passiert das Ganze.“ (Exp 6, Kol 1, Z 40-51, 84-91, 219-223, 433-442)

Gerhard denkt, dass sich Bakterien „in zwei Teile aufteilen“, wenn „sie groß genug sind“. Er verfügt über die beiden Wachstumsschemata *Größer-Werden* und *Mehr-Werden*. Gerhard geht davon aus, dass die Bakteriengröße nach „oben“ begrenzt ist, weil er annimmt, dass sich Bakterien teilen, wenn sie auf eine bestimmte Größe herangewachsen sind. Nach „unten“ stellt sich Gerhard die Größe von Bakterien ebenfalls als begrenzt vor, nach einer Teilung nimmt die Größe von Bakterien wieder zu, weil Bakterien ansonsten immer kleiner werden würden und das nicht lange durchhalten würden. Die Entstehung der neuen „Bakterie“ denkt der Lerner als Ablagerung von Nährstoffen „auf“ der bakteriellen Zellwand. Die Teilung denkt Gerhard als „Abspalten“ eines „neuen“ Bakteriums, das sich auf der „Zellwand (Außenhaut)“ gebildet hat. Gerhards Vorstellung erinnert an die Sprossung von Zellen der Backhefe *Saccaromyces cerevisiae*, es handelt sich um eine Übertragung von Vorstellungen zu eukaryotischen Zellen auf Bakterien.

Gerhard denkt, dass bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden* unter der Kontrolle des genetischen Materials („Erbsubstanz (Erbgut)“ stehe, letzteres habe in beiden Wachstumsphasen die Kontrolle über die Zelle. Zunächst verdoppelt sich das genetische Material, dann übernimmt es die Kontrolle über die Zelle, „dass dann der Befehl vom Erbgut ausgeht, dass sich eine neue Zelle bildet“, „der Aufbau“ einer „Zelle (Bakterien)“ „geht vom Erbgut aus“. Gerhard denkt das genetische Material im Sinne eines Veranlassers, wobei unklar ist, wie das Wachstum veranlasst wird. Nur in der teilungs- und wachstumsinaktiven Phase übt das Bakterium und nicht das genetische Material in Gerhards Vorstellung die Kontrolle aus, ist also „*Herr im eigenen Haus*“. Ein Bakterium „weiß“, wie es im „normalen Zustand (gemeint ist: Nicht in Zellteilung begriffen) „auszusehen hat“. Diese Vorstellung erinnert an die lebensweltlich vertraute Situation eines Menschen, der in den Spiegel schaut, um sein Äußeres zu kontrollieren und nötigenfalls auch zu korrigieren. Bakterien werden mit dem Vorsatz versehen, ihren „*Ist-Zustand*“ mit einem „*Soll-Zustand*“ zu vergleichen und bei Abweichungen den „*Ist-Zustand*“ dem „*Soll-Zustand*“ anzugleichen, dem Bakterium wird eine Intentionalität zgedacht.

Lilli: „Die Bestimmung der Bakterienzahl in der Tümpelwasserprobe ist dann schwierig, weil sich schon mehrere Bakterien herausgebildet haben, die Bakterien spalten (teilen) sich doch. ...das Bakterium zersetzt die aufgenommen Nährstoffe weiter und benutzt es, um zu wachsen (sich zu teilen), dafür braucht man Kraft und dafür werden die Nährstoffe benutzt. Man wird dick, weil der Körper die Fette nicht abbauen kann, wenn die im Überschuss kommen, mehr

als der Körper braucht, dann sammeln die sich an und man lagert sie an den typischen Stellen ab“ (Exp 1, Kol 3, Z 177-182, 556-561, 647, 649-651).

Die Bestimmung der Bakterienzahl in Wasserproben ist Lillis Meinung nach deswegen „schwierig“, weil sich die Zahl der Bakterien während der Bestimmung in der Tümpelwasserprobe stetig erhöht („weil sich schon mehrere Bakterien herausgebildet haben“). Lilli denkt Bakterien vermehrungsfreudig. Lilli dürfte die bakterielle Fähigkeit, sich in kürzester Zeit enorm vermehren zu können, beim Thema „*Infektionskrankheiten*“ oder „*Biotechnologie*“ unterrichtlich kennengelernt haben. Lilli denkt, dass sich Bakterien „teilen (spalten)“, sie verfügt über das Konzept bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden*, nicht aber über das Konzept *Größer-Werden*. Dass Lilli aber durchaus über die Vorstellung biologischen Wachstums als *Größer-Werden* verfügt, konnte erfasst werden. Sie denkt nämlich, man werde „dick“, weil sich Nährstoffe („Fette“) im menschlichen Körper ansammeln und „an typischen Stellen“ ablagern können. Lilli kann diese Vorstellung nicht auf Bakterien, die sie sich als Zellen vorstellt, übertragen, weil sie das Dickwerden des menschlichen Körpers gedanklich nicht mit den Zellen, aus denen der menschliche Körper besteht, verknüpft.

Lisa: „Aus den Aminosäuren bilden die Bakterien neue Zellen. In der Zelle bildet sich durch die Aminosäure alles weiter und dadurch wird die Zelle größer. Die toten Bakterien vermehren sich nicht. Sie sind da, aber müssen nichts essen, weil sie tot sind“. (Exp 4, Kol 2, Z 531, 535, 536, Exp 4, Kol 3, Z 160, 161)

Lisa verfügt über die Vorstellung bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden*. Sie denkt, dass Bakterien aus Nährstoffen („Aminosäuren“) einerseits „neue Zellen bilden“, andererseits „bildet sich in der Zelle alles weiter“, die Zelle „wird größer“. In Lisas Vorstellung stellt bakterielles Wachstum ein Merkmal lebendiger Bakterien dar, „tote Bakterien vermehren sich nicht“. Lisa hatte schon ihre Bakterienzeichnung intern auffällig reichhaltig ausgestattet (s. Abb. 7.2), sie verfügt über die Vorstellung eines Bakteriums als *Behälter*, der intern strukturiert ist. Die Aminosäuren bewirken einerseits ein *Größer-Werden* schon bestehender zellulärer Strukturen. Da Lisa über die Vorstellung verfügt, dass in einem Bakterium mehrere Zellen enthalten sein können (s. Lisa Kap. 7.4.2), kann sie in ein Bakterium aufgenommene Nährstoffe gedanklich mit der Bildung neuer Zellen verknüpfen. Bei den in ihrer Zeichnung in einem Bakterium befindlichen kugelförmigen Gebilden (s. Abb. 7.2) wird es sich – eine Konsistenz der Vorstellungen voraussetzend – um „neue Zellen“ handeln, die das Bakterium „aus den Aminosäuren“ gebildet hat. Da Lisa die zellbiologischen Zusammenhänge nicht kennt, in denen Aminosäuren und bakterielles Wachstum stehen, kann sie sich den eigentlichen Wachstumsprozess aus fachlicher Perspektive nicht angemessen vorstellen.

Luka: „Zur Koloniebildung kommt es dadurch, dass die Bakterien die Nährstoffe haben, die sie aufnehmen, und dadurch wachsen und teilen sie sich“. „Die Zellwand außerhalb der Zelle wird von Enzymen aufgebaut, die Zelle macht Zellwandmoleküle raus und Enzyme fügen die Zellwandmoleküle zusammen und dadurch entsteht die Zellwand“. (Exp 3, Kol 1, Z 147-148. Exp 3, Kol 3, Z 491-494)

Luka denkt die bakterielle Nährstoffaufnahme als Essen und stellt einen Bezug zum bakteriellen Wachstum her. Bakterien nehmen Nährstoffe auf, „dadurch wachsen und teilen sie sich“. Luka stellt sich ein Bakterium als *Behälter* vor, der Nährstoffe aufnimmt und größer wird. Dass Luka aber auch das *Mehr-Werden* von Bakterien durch Teilung mit der Nährstoffaufnahme verknüpft, überrascht auf den ersten Blick, da die in lebensweltlichen Erfahrungen gründende Vorstellung, dass Essen mit einer Zunahme der Körpermasse verbunden

sein kann, zwar auf bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* übertragen werden kann, nicht aber auf bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden*. Lukas überträgt das Schema *Teil-Ganzes* (Winston et al. 1987) auf Bakterien: Ein Ganzes kann unter Umständen in Teile zerlegt werden. Seine Vorstellung, dass die bakterielle Zellwand von „Enzymen“ aufgebaut wird, die von den Bakterien abgegebene „Zellwandmoleküle“ „zusammenfügen“, wodurch die Zellwand entsteht, verknüpft Luka nicht mit dem *Größer-Werden* eines Bakteriums. Da Luka aber bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* denken kann und zudem über die Behältervorstellung von einem Bakterium verfügt, darf vorausgesetzt werden, dass er auch über die Vorstellung verfügt, dass es die Zellwand eines Bakteriums ist, die größer wird, wenn ein Bakterium größer wird.

Maja: „Ich weiß nicht, ob Bakterien auch sterben. Es sind immer neue Bakterien da, wenn die Bakterien sich ständig teilen. Dann teilen sich die Bakterien noch mal und dann sind wieder neue Bakterien da, dann sind beide Bakterien neu. Es gibt keine alten Bakterien. Aber das ist eine komische Vorstellung, dass diese Bakterien, wenn nichts passiert, praktisch ewig leben könnten. Aber wenn die Alte zu fressen hat, würde sie auch noch in 100 Jahren leben. Meinetwegen teilt sie sich auch, aber es ist ja immer noch die alte Bakterie, man kann ja nicht sagen, das Leben hört für eine Bakterie auf, wenn sie sich geteilt hat, das sind dann zwei neue Leben“. (Exp 5, Kol 1, Z 1082, 1086, 1099, 1102, 1104, 1107, 1119, 1124, 1126-1128, 1131-1134, 1142-1144, 1147-1150)

Maja verfügt über die Vorstellung, dass sich Bakterien durch Teilung vermehren und deswegen „praktisch ewig leben können“. Sie findet diesen Umstand befremdlich („komisch“), er widerspricht ihrer in lebensweltlichen Erfahrungen gründenden Vorstellung, dass Menschen sterben, kurz: Menschen können nicht als sich durch Zweiteilung vermehrende *Behälter* gedacht werden. Bakterien kann Maja unter der Bedingung als ewig lebend denken, als kein bakterieller Tod durch Nährstoffmangel bedingtes Absterben eintritt („Wenn die Alte zu fressen hat, würde sie auch noch in 100 Jahren leben“). Diese Vorstellung gerät in Widerspruch zur Vorstellung, dass das „Leben einer Bakterie“ nicht „besonders lang“ sei, weil es sich bereits nach kürzester Zeit wieder teilt. Bei ihrer Einschätzung, dass das Leben einer Bakterie nicht lang sei, wird Maja als Vergleichsmaßstab die Lebenszeit eines Menschen oder anderer lebensweltlich vertrauter Lebewesen gedient haben. Maja findet eine Lösung für ihr Problem indem sie denkt, dass ein Bakterium bei der Teilung nicht zu existieren aufhört. Das Bakterium ist nach der Teilung vielmehr in zweifacher Ausfertigung vorhanden („...das sind dann zwei neue Leben“).

Monika: „Es klingt logisch, dass ein Pilz eher eine Pflanze ist. Vielleicht wächst der Pilz auch nicht durch Zellteilung, dass der Unterschied ist, Bakterien wachsen durch Zellteilung und der Pilz nicht durch Zellteilung, sondern er wächst als Ganzes“. (Exp 4, Kol 3, Z 192, 194-198)

Monika verfügt zwar über das Schema biologischen Wachstums als *Größer-Werden*, überträgt es aber nicht auf Bakterien, sondern auf Pilze, die ihrer Meinung nach „als Ganzes“ wachsen, womit das lebensweltlich vertraute makroskopische Wachstum der Fruchtkörper von Hutpilzen gemeint sein dürfte, deren „*Schießen*“ sprichwörtlich ist. Da Monika bereichsspezifisches Wissen zu Pilzen weitgehend nicht verfügbar ist, kann sie die lebensweltliche Erfahrung des *Größer-Werdens* von Pilzen nicht auf die zelluläre Ebene übertragen, weil sie sich Pilze in diesem Kontext nicht als aus Zellen bestehend vorstellt. Bakterien hingegen wachsen in ihrer Vorstellung nur durch „Zellteilung“, also durch *Mehr-Werden*. Die Vorstellung, dass Bakterien mehr werden, dürfte in bereichsspezifischem Wissen gründen, das sich Monika unterrichtlich beim Thema Infektionskrankheiten oder Biotechnologie angeeignet hat.

Philis: „Vielleicht brauchen die Bakterien 37 Grad aus dem Brutschrank, damit die sich vermehren. Das Tümpelwasser hat wohl kaum 37 Grad und deswegen vermehren die Bakterien sich nicht“. „Zur Koloniebildung kommt es dadurch, dass die Bakterien wachsen und sich wieder teilen. Wenn sich Bakterien vermehren, dann muss die Information kommen, was genau bei der Teilung bei der einzelnen Zelle sein muss“. (Exp 2, Kol 1, Z 79-81. Exp 2, Kol 2, Z 114; Exp 2, Kol 3, Z 296-298)

Philis stellt sich vor, dass 37°C für die bakterielle Vermehrung notwendig seien. Sie verfügt über die Vorstellung, dass bakterielles Wachstum Bedingungen braucht. Sie hält es nicht für möglich, dass sich Bakterien bei den niedrigeren Temperaturen im Tümpel, aus dem das Probenwasser für die mikrobiologischen Versuche entnommen wurde, überhaupt vermehren können. Einen Widerspruch zu ihrem experimentellen Befund, dass in den Petrischalen mit Nähragar und Tümpelwasser zahlreiche Bakterienkolonien aufgewachsen sind, das Tümpelwasser also voll von Bakterien gewesen sein muss, sieht sie nicht. Möglicherweise geht sie davon aus, dass Bakterien kein natürlicher Bestandteil eines Tümpels sind und eine Art Verunreinigung darstellen. An dem anderen Ort, an dem sich die Bakterien vermehren können, den Philis aber nicht benennt, müssten 37°C herrschen, also diejenige Temperatur, die sie bei der Bebrütung ihrer Nährböden gewählt hat. Philis verfügt über die beiden Schemata bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden*: Sie stellt sich vor, dass es zur Bildung von Bakterienkolonien dadurch kommt, dass Bakterien „wachsen“ und „sich teilen“. Philis denkt, dass bei der bakteriellen Teilung Informationen zu der Entscheidung benötigt werden, welche Zellkomponenten auf die beiden Teilzellen verteilt werden. Sie dürfte sich eine Art von Plan vorstellen, in dem festgehalten ist, wie die Komponenten eines Bakteriums bei dessen Teilung auf die beiden Teilzellen verteilt werden. Dabei ist unklar, welche Vorstellungen Philis davon hat, in welcher Form dieser Plan in einem Bakterium vorliegt und wie dieser Plan realisiert wird.

Robert: „Ich stell mir vor, dass es hauptsächlich die Zellwand ist, die wächst, so ähnlich wie bei der menschlichen Haut. Für das Wachstum werden Milcheiweiße, Eiweiße benötigt. Aus was für einem Material die Zellwand besteht, weiß ich nicht, vielleicht ist sie so ähnlich wie bei Käfern der Chitinpanzer.... Ich zeichne das mal auf, das ist die Bakterie, das ist die Zellmembran, da drum ist die Zellwand. Das Baumaterial gelangt da raus, ich stelle es mir so vor, dass die Zellwand an einer Stelle kurz aufbricht, dann ist das Baumaterial dazwischen und dadurch wird es immer größer. Dieses Loch wird von dem entstandenen Baumaterial gefüllt, dann müsste die Zellwand aber in gewisser Weise dehnbar sein“. (Exp 9, Kol 1, Z 8, 9, 11, 16, 17, 31, 128-144)

Robert verfügt über die Vorstellung bakteriellen Wachstums als *Größer-Werden*. Der Lerner stellt sich ein Bakterium als *Behälter* vor („.... Ich zeichne das mal auf, das ist die Bakterie, das ist die Zellmembran, da drum ist die Zellwand“), aus diesem Grund denkt er in erster Linie an die bakterielle Wandung („Zellwand“), die wächst, wenn ein Bakterium größer wird. Dass Robert die bakterielle Zellwand aber nicht nur mit der menschlichen Haut, sondern auch mit dem Chitinpanzer von Käfern analogisieren kann, dürfte darauf zurückzuführen sein, dass er auch letzteren als Wandung eines *Behälters* denkt. Bei der Behältervorstellung von Lebewesen spielen die Materialeigenschaften der Wandung und auch die Frage, ob diese zellulär strukturiert ist oder nicht, zunächst einmal keine Rolle. Der Chitinpanzer von Käfern dürfte aber aufgrund seiner Festigkeit in Roberts Vorstellung der bakteriellen Zellwand ähnlicher sein, als die menschliche Haut. Offensichtlich verfügt Robert über bereichsspezifisches Wissen von Insekten und ihren Häutungen. Die darauf basierenden Vorstellungen von *Größer-Werden* überträgt er auf Bakterien. Er stellt sich vor, dass die bakterielle Zellwand an einer Stelle „aufbricht“, das entstandene Loch werde dann „von dem entstandenen Baumaterial

gefüllt“. Eine Vergrößerung der Zellwand hält er aber nur unter der Bedingung für möglich, dass diese „dehnbar“ ist.

This: „Die Bakterienvermehrung hat auch etwas mit der Erbsubstanz zu tun, dass die Substanz beim Teilen in Päckchen weitergegeben wird.... Gerhard meinte, wenn die Zellwand einreißt, dann sei das Erbgut in Gefahr. Aber da noch eine Membran da drüber ist, stelle ich mir die Frage, ob es immer noch in Gefahr ist, wenn die Zellwand reißt. Es bildet sich eine neue Zellwand, weil dieses Bakterium erkennt, dass zwei Erbsubstanzen da sind“. (Exp 6, Kol 1, Z 53-59, 236-240, 423-425)

This verfügt über die Vorstellung bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden*, Bakterien vermehren sich durch Teilung. Er stellt sich ein Bakterium als *Behälter* vor, bei dessen Teilung ein Ausgangsbakterium in zwei Bakterien aufgeteilt wird. Da This diese Aufteilung gedanklich mit einem Öffnen der Zellwand verknüpft, ist die Integrität des *Behälters* in Gefahr, da das Bestehen der Behälterwandung konstitutiv für die Behältervorstellung ist. Bei einer Öffnung der bakteriellen Wandung sieht This das genetische Material des sich teilenden Bakteriums in Gefahr. Da er sich Bakterien aber als doppelwandigen Behälter vorstellen kann, dessen Begrenzung aus einer Zellwand und einer Zellmembran besteht, kann er denken, dass die bakterielle Zellmembran das genetische Material zu schützen vermag, wenn die Zellwand bei der bakteriellen Teilung „reißt“. This denkt, dass das genetische Material („Erbsubstanz“) beim Teilen „in Päckchen weitergegeben wird“. Er wird dabei mit großer Wahrscheinlichkeit an Chromosomen eukaryotischer Zellen gedacht haben, deren Sichtbarkeit unter dem Lichtmikroskop durch den hohen Packungsgrad („Päckchen“) bei der Kondensation der DNA erklärt wird. In This` Vorstellung wird das genetische Material „weitergegeben“, Bakterienzellen sind eine Art Kondukteur. This überträgt das Schema *Geber-Gabe-Nehmer* (Gropengießer 2007) auf Bakterien und ihre Erbsubstanz. Da es aber zu keiner Vervielfältigung des Materials kommt, würde sich dessen Masse mit jeder Teilung um die Hälfte reduzieren. This denkt, dass sich eine „neue Zellwand bildet“, weil das Bakterium „erkennt, dass zwei Erbsubstanzen da sind“. Ein Bakterium kontrolliert den Teilungsprozess, für den die in zwei Portionen aufgeteilte Erbsubstanz lediglich eine Voraussetzung darstellt. This überträgt das Schema *Person* (Lakoff, Johnson 2000, S. 45) auf Bakterien: Nur ein Mensch kann erkennen, in welchem Zustand sich der eigene Körper befindet und aufgrund dieses Wissens auch bestimmte Handlungen vornehmen, die den Zustand des Körpers gezielt verändern oder stabilisieren.

7.4.5.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Lerner können sich Bakterien vermehrungsfreudig vorstellen (*Vermehrungsfreudig Bakterien*). Diese Vorstellung dürfte auf unterrichtliche Vermittlung zurückzuführen sein: Die exponentielle Vermehrung von Bakterien in Kultur wird im Zusammenhang mit biotechnologischen Verfahren herausgestellt, der bakteriellen Vermehrung muss aber auch das Immunsystem des Menschen Herr werden, um eine bakterielle Infektion erfolgreich bekämpfen zu können (s. z.B. Claus u.a. 1991, S. 209, 214).

Bakterielles Wachstum können sich mehrere Lerner als *Mehr-Werden* durch Teilung vorstellen. Die Lerner übertragen das Schema *Mehr-Werden* (Lakoff 1987, S. 273). Lerner können die Vorstellung, dass Gegenstände beim Teilen kleiner werden, auf Bakterien übertragen: Durch fortwährende Teilungen werden diese zwar mehr, aber auch immer kleiner, bis sie so klein geworden sind, dass sie ihre Teilungsaktivitäten einstellen (*Begrenztes Wachstum*). Eine Vorstellung konnte erfasst werden, nach der sich Bakterien durch Teilung vermehren und

deswegen als unsterblich gedacht werden¹³. Dem Lerner ist dieser Umstand nach eigenem Bekunden befremdlich, er widerspricht Vorstellungen von Leben, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Lebewesen wie dem Mensch gründen, die nach einer bestimmten Lebenszeit sterben. Menschen geben ihre Individualität bei der Fortpflanzung nicht auf, mit der Zeit altern sie und sterben irgendwann auch altersbedingt. Das Aufmerken des Lerners geht darauf zurück, dass ihm bewusst geworden ist, dass sein Personenkonzept auf Bakterien nicht übertragen werden kann. Den Widerspruch, der darin liegt, dass Bakterien einerseits unsterblich sind, sich andererseits durch Teilung entindividualisieren, löst der Lerner dahingehend auf, dass ein Bakterium bei der Teilung nicht zu existieren aufhört, sondern in zwei neuen Leben aufgeht.

Lerner können denken, dass die Wandung eines Bakteriums auch während der Teilung geschlossen sein muss, weil ansonsten z.B. das Erbgut in Gefahr wäre. Bakterien werden als *Behälter* gedacht, dessen Wandung auch während seiner Teilung geschlossen bleiben muss, da der *Behälter* ansonsten seine Integrität verlieren würde (*Behälterteilung*).

Einige Lerner stellen sich vor, dass Bakterien auch größer werden. Innerhalb der Behältervorstellung von einem Bakterium ist es in erster Linie die bakterielle Wandung, die größer wird, wenn ein Bakterium wächst (*Behältervergrößerung*). Das Wachstum der bakteriellen Zellwand kann als Ablagerung von Nährstoffen gedacht werden. Der Größenzunahme der Zellwand kann deren Öffnen vorausgehen. Da die Vorstellung *Bakterien als Behälter* die Integrität der Behälterwandung voraussetzt, wird das Zellwandloch als klein und nur für eine kurze Zeit bestehend gedacht. In das Zellwandloch wird Baumaterial eingebracht, eine Vergrößerung der bakteriellen Zellwand kann aber nur unter der Bedingung vorgestellt werden, dass die Zellwand, die das Loch umgibt, plastisch oder elastisch ist und beim Einfüllen des Materials nachgibt. Eine Vorstellung erfasst das Wachstum des bakterieninternen Bereichs, der größer wird, wodurch ein Bakterium insgesamt an Größe zunimmt, wobei der Lerner die bakterieninternen Komponenten aufgrund nicht verfügbaren bereichsspezifischen Wissens zur Bakterienstruktur nicht benennen kann.

Lerner können das Schema *Größer-Werden* mit dem Schema *Mehr-Werden* kombinieren. Bakterien werden größer und teilen sich, die beiden Teilzellen wachsen erneut heran und teilen sich wieder (*Wachsen und teilen*). Ein Lerner denkt, dass sich Bakterien, die auf eine bestimmte Größe herangewachsen sind, teilen. Die bakterielle Größe wird als nach „oben“ hin begrenzt gedacht (*Begrenztes Wachstum*). Da Bakterien aufgrund ihrer geringen Größe nicht mit bloßem Auge sondern nur mithilfe des Mikroskopes wahrgenommen werden können, variiert ihre Größe auch nur auf der mikroskopischen Ebene. Dass bezüglich bakterieller Wachstumsprozesse bei mehreren Lernern das Schema *Mehr-Werden* erfasst werden konnte, nicht aber zugleich auch das Schema *Größer-Werden*, ist auf den ersten Blick etwas verwunderlich, da die Lerner Wachstum von Tieren, Pflanzen und Pilzen als deren *Größer-Werden* und eben nicht als deren *Mehr-Werden* erlebt haben dürften. Da dieses Wachstum aber nicht auf zellulärer, also mikroskopischer, sondern auf makroskopischer, ohne technische Hilfsmittel zugänglicher Ebene erlebt wird, stellt die Übertragung des Schemas auf die zelluläre Größenebene der Bakterien für viele Lerner offensichtlich eine Schwierigkeit dar. Eine Vorstellung konnte erhoben werden, nach der sich Bakterien ausschließlich durch Zellteilung

¹³ Stewart et al. (2005) verfolgen das Wachstum von Bakterien der Art *Escherichia coli* mithilfe des Mikroskopes. Obwohl Bakterien keine juvenile Phase aufweisen und sich Bakterien der Art *E.coli* morphologisch symmetrisch teilen, können die Mikrobiologen den Befund erheben, dass es Zelllinien gibt, deren Bakterien schlechter wachsen als andere und auch absterben. Die Autoren interpretieren diesen Sachverhalt als Alterungserscheinung. Sie nehmen an, dass bei der bakteriellen Zellteilung „altes Zellmaterial“ ungleich auf die beiden Teilzellen verteilt würde und führen darauf die Alterungserscheinungen der Bakterien zurück.

vermehrten, nicht aber an Größe zunehmen, makroskopische Lebewesen (z.B. Fruchtkörper von Pilzen) hingegen nehmen an Größe zu, werden aber nicht mehr.

Eine bakterielle Zelle kann sich nach Meinung eines Lerners auch auf der bakteriellen Zellwand bilden, Nährstoffe werden auf der Zellwand abgelagert werden. Diese Vorstellung erinnert an das Sprossen von Zellen der Backhefe *Saccharomyces cerevisiae*. Wissenschaftsorientierte Vorstellungen, die in medialen Erfahrungen mit dem Wachstum pilzlicher Zellen gründen, werden auf Bakterien übertragen (*Behältersprossung*).

Die Lernervorstellungen, in denen das bakterielle Wachstum gedanklich mit dem genetischen Material verknüpft wird, dürften auf unterrichtliche Vermittlung zurückgehen. Lerner übertragen Vorstellungen von der Genetik eukaryotischer Zellen auf Bakterien. Es könnte die Vorstellung erfasst werden, dass die Erbsubstanz geteilt und von Bakterium zu Bakterium weitergegeben wird (*Weitergegebene Erbsubstanz*). Das Schema *Geber-Gabe-Nehmer* (Gropengießer 2007) wird auf Bakterien und ihre Erbsubstanz übertragen. Auch eine Verdoppelung des genetischen Materials vor der Teilung kann gedacht werden. Erst teilt (verdoppelt) sich das genetische Material, dann erfolgt die Teilung des Bakteriums. Vom Erbgut kann auch ein Befehl ausgehen, dass sich die Zelle teilen soll (*Genetische Wachstumskontrolle*). Lerner übertragen das Schema *Peripherie-Zentrum* auf Bakterien. Die Vorstellung gründet nach Lakoff (1987, S.274) darin, dass wir die inneren Organe unseres Körper als dessen Zentrum und z.B. die Extremitäten oder die Haut als Peripherie wahrnehmen. Dem Zentrum wird eine größere Bedeutung zugeordnet als der Peripherie. Auch bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* kann mit dem Erbgut gedanklich verknüpft werden, beim Erbgut befinden sich dann Stoffe, um die Zellmembran (Zellwand) zu bilden (*Genetische Wachstumskontrolle*). Diese Vorstellung erinnert an die Proteinbiosynthese, bei der in einem ersten Schritt m-RNA-Moleküle gebildet werden, die für die Translation notwendig sind. Wird bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* oder *Mehr-Werden* gedanklich mit dem Erbgut verknüpft, übt ein Bakterium – und nicht das genetische Material – Kontrolle nur dann aus, wenn es weder wächst noch sich teilt. Die Kontrollfunktion des Bakteriums kann als Aufrechterhaltung der bakteriellen Struktur gedacht werden, ein Bakterium „weiß“ wie es auszusehen hat. Lerner übertragen das Schema *Person* (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) auf Bakterien.

Lerner können sich vorstellen, dass für bakterielles Wachstum bestimmte Bedingungen erforderlich sind. Nährstoffe werden in diesem Zusammenhang an erster Stelle genannt, aber auch eine Temperatur von 37°C (*Wachstum braucht Bedingungen*). Diese Vorstellungen gründen in Erfahrungen, die die Lerner im mikrobiologischen Praktikum gesammelt haben.

7.4.5.2 Konzepte zum bakteriellen Wachstum

- *Vermehrungsfreudige Bakterien*
Bakterien vermehren sich ständig.
- *Wachstum braucht Bedingungen*
Bakterien wachsen unter bestimmten Bedingungen. In erster Linie sind Nährstoff dafür notwendig, aber auch eine ausreichend hohe Temperatur.
- *Behälterteilung*
Bakterien wachsen, indem sie sich teilen (spalten). Die Wandung einer bakteriellen Zelle muss bei der Teilung geschlossen bleiben, weil ansonsten das genetische Material gefährdet wäre. Da Bakterien bei der Teilung in zwei „neuen“ Bakterien aufgehen, können sie als unsterblich vorgestellt werden.

- *Behältervergrößerung*
Bakterien wachsen, indem sie an Größe zunehmen. Das Wachstum kann als Vergrößerung der bakteriellen Wandung gedacht werden. Der Wachstumsmechanismus kann als Ablagerung von Baumaterial (Zellwandmaterial) vorgestellt werden: In die bakterielle Zellwand wird kurz ein kleines Loch gemacht, in das Material gefüllt wird. Da die bakterielle Zellwand dehnbar ist, kann sich das Loch vergrößern, wenn Baustoff abgelagert wird. Auch Strukturen innerhalb eines Bakteriums können wachsen, wodurch das Bakterium größer wird.
- *Behältersprossung*
Auf der bakteriellen Zellwand lagern sich Nährstoffe ab, es bildet sich ein neues Bakterium. Bakterien vermehren sich durch Sprossung.
- *Wachsen und teilen*
Bakterien wachsen, indem sie an Volumen zunehmen und sich dann teilen.
- *Begrenztes Wachstum*
Teilen sich Bakterien, ohne an Größe zuzunehmen, werden sie immer kleiner. Ist eine minimale Größe erreicht, stellen sie ihre Teilungsaktivitäten ein.
- *Weitergegebene Erbsubstanz*
Genetisches Material wird von Bakterium zu Bakterium weitergegeben. Das genetische Material kann geteilt oder verdoppelt werden bevor es weitergegeben wird.
- *Genetische Wachstumskontrolle*
Von der Erbsubstanz (Erbgut) geht der Befehl zum bakteriellen Wachstum aus. Beim Erbgut können sich auch Stoffe befinden, mit der die bakterielle Zelle ihre Zellmembran (Zellwand) bildet.
- *Bakterien als Person*
Ein Bakterium weiß, wie es auszusehen hat. Es übt die Kontrolle über seinen Zustand aber nur aus, wenn es „ausgewachsen“ ist und sich nicht teilt. In Wachstumsphasen unterliegt es nämlich der Kontrolle des genetischen Materials.

7.4.6 Lernervorstellungen vom Antibiotikum Penicillin

Im mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner Tümpelwasser und flüssigen Nähragar mit Penicillinpulver in einer Petrischale zusammengemischt. Welche Vorstellungen Lerner mit ihrem penicillinhaltigen Ansatz 2 verbinden, wurde zu zwei verschiedenen Zeitpunkten erhoben: Zum einen unmittelbar nach dem Praktikum, also noch bevor die Lerner die bebrüteten Ansätze in Augenschein genommen hatten, zum anderen nachdem die Lerner ihre Ansätze ausgewertet haben. Nach 24-stündiger Bebrütung konnten die Lerner im penicillinhaltigen Ansatz – im Gegensatz zum Ansatz mit Nähragar und Tümpelwasser ohne Penicillin – keine Bakterienkolonien beobachten.

Lernervorstellungen, die vor Auswertung der Versuchsansätze verfügbar sind

Benno: „In Petrischale 2 ist am wenigsten, weil das Antibiotikum, wie der Name schon sagt – anti – gegen die Keime, die Bakterien wirkt“. (Exp 3, Kol 1, Z 7, 8)

Benno leitet seine Erwartung, dass in Ansatz 2 „am wenigsten ist“, womit die Bakterien gemeint sein dürften, rein sprachlich von dem Begriff Antibiotikum ab, „anti“ bedeutet „gegen“, Penicillin wirkt gegen „Keime (Bakterien)“.

Caroline: „Wenn das Antibiotikum wirkt, zerstört es die Nährstoffe und dann ist das so ähnlich wie beim Agar und der Wasserprobe“. (Exp 1, Kol 1, Z 13, 14)

Caroline stellt sich vor, dass das Antibiotikum die „Nährstoffe zerstört“. Die Äußerung „dann ist das so ähnlich wie beim Agar und der Wasserprobe“ bezieht sich auf den Ansatz mit Agar und Tümpelwasser, dem kein Nährpulver beigemischt wurde. Da Caroline die bakterielle Nahrungsaufnahme tierlich als fressen denkt („Die abgetötete Bakterien können nichts auf-fressen“, Caroline; Exp 1, Kol 3, Z 371), wird sie über die Vorstellung verfügen, dass Bakte-rien im Nährboden mit Penicillin verhungern. Das Antibiotikum Penicillin würde aufgrund des von Caroline vorgestellten Mechanismus – es zerstört die Nährstoffe – unspezifisch wir-ken, weil es alle Lebewesen beträfe, die auf Nährstoffe angewiesen sind.

Katja: „Die meisten Bakterien, würde ich sagen, sind in Petrischale 1, weil da kein Antibioti-kum drin ist und weil da der Nährboden ist, und das Tümpelwasser nicht gefiltert ist. In Petri-schale 2 erwarte ich kaum Bakterien. Würden die Bakterien in Ansatz 2 nicht abgetötet, würde das Medikament nicht helfen, wenn man krank ist.... Wenn Penicillin auch auf Pilze wirkt, dann würde der Pilz sich selbst kaputt machen. Es bildet sich so ein kleiner Champig-non aus der Dose. Nein, ich weiß nicht, was Pilze für Lebewesen sind“. (Exp 4, Kol 1, Z 24, 25, 53, 56, 76, 79, 83)

Katja erwartet in ihrem penicillinhaltigen Nährboden „kaum Bakterien“. Sie stellt sich vor, dass Penicillin Bakterien abtötet. Katja kennt Penicillin als Medikament, das gegen Infektio-nen eingenommen wird. Sie analogisiert das Antibiotikum im Körper und im Nähragar und schließt, dass es auch die Bakterien im Nähragar abtötet, sonst „würde das Medikament nicht helfen, wenn man krank ist“. Dass Penicillin ein pilzliches Antibiotikum ist, konnte sie der Anleitung zum mikrobiologischen Praktikum entnehmen. Da sie der Meinung ist, dass sich der Pilz „selber kaputt“ machen würde, wenn Penicillin auch beim Pilz Wirkung hätte, denkt sie, dass Penicillin nur auf Bakterien abtötend wirkt. Katja verfügt über die Vorstellung einer selektiven Penicillinwirkung.

Lilli: „Im zweiten Ansatz werden nicht so große Kolonien sein, da das Antibiotikum, wenn es wirkt, also noch haltbar ist, die Kolonien gleich bekämpft. Das Antibiotikum vernichtet die Bakterien“. (Exp 1, Kol 1, Z 9, 10, 15)

Lilli denkt Penicillin als Medikament, da sie die Wirksamkeit des Antibiotikums von dessen Haltbarkeit abhängig macht („...da das Antibiotikum, wenn es wirkt, also noch haltbar ist...“). Lilli weiß offensichtlich, dass das auf Medikamentenverpackungen angegebene Min-desthaltbarkeitsdatum eine wichtige Information für den Patienten darstellt, die Auskunft dar-über gibt, ob ein Medikament noch Wirksamkeit besitzt oder nicht. Die Annahme, dass die Vorstellung haltbarer Medikamente in lebensweltlichen Erfahrungen im Umgang mit Medi-kamenten gründet, wird auch dadurch gestützt, dass die Haltbarkeit der übrigen Chemikalien, die in den mikrobiologischen Schülerversuchen eingesetzt wurden, für Lilli keine Rolle spielt. Lilli stellt sich vor, dass Penicillin im Kampf mit Bakterien stehe, die von ihm „vernichtet“ würden. Sie erwartet, dies daran erkennen zu können, dass die Bakterienkolonien nicht so groß seien. Lillis Erwartungshaltung, dass Bakterienkolonien im Nähragar zu beobachten sind, wenn dieser mit Tümpelwasser vermischt und bebrütet wurde, dürfte auf die Versuchs-anleitung zum mikrobiologischen Praktikum zurückzuführen sein. Der Anleitung zu den mikrobiologischen Versuchen konnte sie diese Information entnehmen. Verkörperte Vorstel-lungen von „kämpfen“, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, die jedes Kind z.B. bei Rangeleien mit anderen Kindern macht, werden auf das Antibiotikum Penicillin übertragen, das im Kampf mit Bakterien stehend vorgestellt wird.

Lina: „In Petrischale 2 erwarte ich keine Bakterien, wegen des Antibiotikums. In Petrischale 3 könnten schon Bakterien sein, nur werden sie sich wahrscheinlich nicht vermehren, weil sie keine Nährstoffe haben“. (Exp 2, Kol 1, Z 18, 45, 46)

Lina erwartet „wegen des Antibiotikums“ im penicillinhaltigen Ansatz „keine Bakterien“. Während Lina im Ansatz mit Penicillin keine Bakterien erwartet, verhält es sich in Ansatz 3 (Agar ohne Nährstoffe mit Tümpelwasser) anders: Dort könnten Linas Meinung nach durchaus Bakterien vorhanden sein, allerdings können diese sich nicht vermehren, weil ihnen dazu die notwendigen Nährstoffe fehlen. Über den Verbleib der Bakterien, die mit dem Tümpelwasser auch in den penicillinhaltigen Ansatz gelangen, macht Lina keine Angaben.

Lisa: „In Petrischale 2 erwarte ich auch keine Bakterien, weil sie alle abgetötet werden. In Petrischale 2 könnten vielleicht Pilze sein. Es bildet sich ein Pilz, aber keine Bakterien“. (Exp 4, Kol 1, Z 52, 55, 61, 77, 80)

Lisa denkt, dass Bakterien im penicillinhaltigen Ansatz „abgetötet werden“. Bakterien können ihrer Vorstellung nach also durchaus z.B. mit dem Tümpelwasser in den Nährboden gelangen, dort allerdings werden sie vom Penicillin abgetötet. Aufgrund dessen erwartet Lisa, dass sich im Ansatz mit Penicillin keine Bakterien bilden, da Lisa über die Vorstellung verfügt, dass sich nur lebendige Bakterien vermehren können (s. Lisa Kap. 7.4.5). Lisa erwartet im Nähragar mit Penicillin also keine makroskopisch wahrnehmbaren Veränderungen, angenommen werden darf allerdings, dass sie sich vorstellt, im Nähragar befänden sich die mikroskopischen Überbleibsel der abgetöteten Bakterien. Lisa stellt sich vor, dass vom Penicillin zwar alle Bakterien „abgetötet werden“, wohingegen Pilze von der Wirkung des Penicillins verschont bleiben, „Pilze („ein Pilz“) könnten sich Lisas Meinung zufolge im Nährboden „bilden“. Lisa denkt die Wirkung des Penicillins selektiv.

Monika: „Das Antibiotikum tötet alles ab, sowohl den Nährboden als auch die Bakterien und den Pilz“. (Exp 4, Kol 1, Z 69-72)

Monika denkt, dass das Antibiotikum „alles“ abtötet, darunter Bakterien und Pilze, aber auch der Nährboden. Die Lernerin unterscheidet nicht zwischen belebten und nicht belebten Zielen des Antibiotikums Penicillin. Monika dürfte sich die Wirkung des Penicillins als eine Art Verheerung vorstellen.

Philis: „Die Bakterien werden durch das Antibiotikum abgewehrt oder sollten sie jedenfalls, und daher werden da auch keine Bakterien drin sein. Nein, ich weiß nicht, wie Penicillin wirkt“. (Exp 2, Kol 1, Z 50, 51, 53)

Philis denkt, dass Bakterien „durch“ das Antibiotikum „abgewehrt werden“. Aus diesem Grund erwartet sie in ihrem Ansatz mit Penicillin auch keine Bakterien. Verkörperte Vorstellung von *Abwehren* gründen in lebensweltlichen Erfahrungen, die z.B. in Mannschaftsspielen gesammelt werden, in denen es darum geht, den Angriff der gegnerischen Partei zu vereiteln. Bei der Abwehr kann es zum einen darum gehen, das Vordringen des Gegners in die eigene Spielhälfte zu verhindern oder, wenn dies scheitert, darum, seine Wirksamkeit zu unterbinden. Philis dürfte verkörperte Vorstellungen von *Abwehren* im ersteren Sinne auf ihren penicillinhaltigen Nähragar übertragen, da sie erwartet, dass dort keine Bakterien drin seien.

Lernervorstellungen, die nach Auswertung der Versuchsansätze verfügbar sind

Nachdem die Lerner den experimentellen Befund erhoben haben, dass in Petrischalen, in denen sie Nähragar, Tümpelwasser und das Antibiotikum Penicillin zusammengemischt haben, nach der Bebrütung keine Bakterienkolonien zu beobachten gewesen waren, reden sie erneut über ihre Vorstellungen zum Antibiotikum Penicillin. Zum Verständnis der erfassten Vorstellungen muss bemerkt werden, dass die Lerner beobachtet haben, dass im penicillinhaltigen Nähragar – im Gegensatz zum Ansatz mit Nähragar und Tümpelwasser ohne Antibiotikum – keine Bakterienkolonien gewesen sind. Zudem haben sich in diesem Ansatz Mycelien eines Schimmelpilzes befunden, nicht aber in den Petrischalen ohne Penicillin. Allein in Philis` und Linas` Petrischalen haben sich keine Mycelien befunden.

Benno: „Wenn Penicillin den Pilz nicht tötet, muss man sagen, dass er wahrscheinlich immun dagegen ist“. (Exp 3, Kol 2, Z 700-704)

Benno zieht aus seinen experimentellen Befunden den Schluss, dass Penicillin Pilze nicht tötet und verknüpft diese Aussage mit dem Gedanken, dass der Pilz gegen das Antibiotikum „immun“ sei. Vorstellungen von *Immunsein* gründen in lebensweltlichen Erfahrungen, dass Menschen von bestimmten widrigen Einflüssen unbeeinflusst bleiben, resistent sind. Benno überträgt diese Vorstellung auf Pilze, die resistent gegenüber den Wirkungen des Antibiotikums Penicillin sind.

Dietrich: „Das Penicillin macht dem Pilz nichts, weil er die toten Bakterien nehmen kann, ich weiß nicht, weil der Pilz keine Zellwand bildet. Der Pilz ist immun gegen das Penicillin, sonst wäre er nicht gewachsen. Vielleicht zerstört Penicillin irgendwas in der Zelle, das die Zellwände bildet und beim Pilz nicht. Im Pilz gibt es eine andere Sache, die die Zellwand bildet und die kann das Penicillin nicht zerstören“. (Exp 3, Kol 2, 696, 705, 710, 716-718)

Dietrich denkt, dass der Pilz – im Gegensatz zu den Bakterien – „immun gegen das Penicillin“ sei, da er ansonsten nicht „gewachsen“ wäre. Dietrich verfügt über zwei verschiedenen Vorstellungen diesen Sachverhalt betreffend: Der Pilz weist im Gegensatz zu den Bakterien keine Zellwand auf. Oder: Sowohl Bakterien als auch Pilze besitzen Zellwände, aber Penicillin „zerstört irgendwas“ in der „Zelle“, das zwar „die Zellwände“ der Bakterien, nicht aber die der Pilze „bildet“. Penicillin wirkt auf Bakterien ein, weil diese sich qualitativ von Pilzen unterscheiden. Während es in der Vorstellung, dass Bakterien, nicht aber Pilze eine Zellwand aufweisen, die bakterielle Wandung ist, die sich Dietrich als Ziel des Antibiotikums Penicillin denkt, ist dieses Angriffsziel des Antibiotikums im zweiten Fall im Inneren des Bakteriums lokalisiert, das an der Bildung der bakteriellen Zellwand beteiligt ist. Dietrich denkt die Penicillinwirkung innerhalb der Vorstellung von Bakterien als *Behälter*, für diese Vorstellung ist die Integrität der Wandung konstitutiv, wird sie zerstört, existiert der Behälter nicht mehr.

Katja: „Im Nähragar müsste alles drin sein, Bakterien, Pilze und sonstiges. Entspricht doch unseren Erwartungen. Ich glaube, in Petrischale 2 sind Pilze und die kleinen Dinger sind keine Bakterien. Es sind in Petrischale 1 wahrscheinlich auch Pilze dabei, aber in dem Antibiotikum in Petrischale 2 konnten sie sich verbreiten.... Unsere Erwartungen haben sich bestätigt. Allerdings haben wir bei Antibiotika gedacht, dass es besser wäre, weniger Pilze... Wahrscheinlich nehmen die Bakterien den Pilzen die Nährstoffe weg. Ich glaube, Bakterien und Pilze sind ein Unterschied. Die Pilze werden von den Bakterien nicht bedrängt und können sich ausbreiten bis sie keine Lust mehr haben...Im Ansatz mit Penicillin sind zumindest keine Bakterien gewachsen. Penicillin entzieht den Bakterien die Nährstoffe, nein, es hindert

Bakterien an der Teilung. Ich meine, die nicht geteilten Bakterien können wir nicht sehen, weil wir sie im Wasser auch nicht sehen können“. (Exp 4, Kol 2, Z 6, 9, 12, 13, 15, 16, 27, 31, 32, 47, 48, 50, 56, 57, 797, 801, 804, 809, 810)

Katja denkt, dass „Bakterien Pilzen die Nährstoffe wegnehmen“. Pilze können sich im Gegensatz zu Bakterien im Antibiotikum „verbreiten“ („bis sie keine Lust mehr haben“) und werden wegen der durch das Antibiotikum ausgeschalteten Bakterien von diesen „nicht bedrängt“. Den Mechanismus der Penicillinwirkung denkt Katja als Hemmung der bakteriellen Teilung („Penicillin... hindert Bakterien an der Teilung“). Bakterien, die sich nicht geteilt haben, kann man Katjas Meinung nach nicht sehen, sie bleiben dem bloßen Auge wie im Tümpelwasser verborgen („...die nicht geteilten Bakterien können wir nicht sehen, weil wir sie im Wasser auch nicht sehen können“).

Lilli: „Der Pilz stellt das Gift her, damit die Bakterien abgetötet werden, er schützt sich selbst dadurch. Vielleicht lebt der Pilz von den Bakterien. Der Pilz setzt das Penicillin frei, die Bakterien machen das auch, nicht extra, dass sie Giftstoffe freisetzen und sich dann vergiften. Das passiert einfach, die wollen sich nicht vergiften. Der Penicillinum Pilz ernährt sich auch von den Nährstoffen und dann scheidet er die verbrauchten Nährstoffe (den Müll) aus... Die Bakterien und Pilze streiten sich um die Nährstoffe. Das Penicillin könnte die Nährstoffe vergiften, aber nicht für den Pilz, sondern für die Bakterien. Aber dann hätte der Pilz auch nichts davon. Wenn Penicillin nicht die Nährstoffe vergiftet, könnte es von außen angreifen, die Hülle eines Bakteriums ist eine harte Schale, ein Gitter, die Zellwand, die bakterielle Zellwand hat irgendwo ein Loch, oder Penicillin greift an der Geißel an“. (Exp 1, Kol 2, Z 335, 339-342, 344, 351, 359-362, 366, 367)

Lilli denkt zum einen, dass Bakterien und Pilze in Konkurrenz um Nährstoffe stehen („sie streiten sich um Nährstoffe“), zum anderen, dass Pilze „von den Bakterien“ leben oder Bakterien Pilze angreifen. Sowohl Bakterien als auch Pilze können Giftstoffe freisetzen. Lilli denkt nicht, dass es sich bei der Freisetzung von Gift durch Bakterien und Pilze um einen intentionalen Vorgang handelt, das Gift fällt vielmehr als eine Art Müll an und wird ausgeschieden. Lilli kann sich mehrere Wirkmechanismen des Antibiotikums Penicillin vorstellen: 1. Vergiftung der Nährstoffe, 2. Durchlöcherung der bakteriellen Zellwand 3. Angriff auf die bakterielle Geißel. Mechanismus 1 ist nicht mit Lillis Vorstellung, dass Penicillin nur auf Bakterien einwirkt, verträglich, weil sich Bakterien und Pilze von den gleichen Nährstoffen ernähren. Die Mechanismen 2, 3 hingegen sind für Lilli mit der Vorstellung einer selektiven Penicillinwirkung offensichtlich verträglich: Eine Durchlöcherung der Wandung eines Bakteriums käme seiner Zerstörung gleich, da Lilli sich Bakterien als *Behälter* vorstellt; ein Angriff auf die bakterielle Geißel dürfte mit der Bewegungsunfähigkeit eines Bakteriums verknüpft sein. Während davon auszugehen ist, dass Lilli über die Vorstellung verfügt, dass die vergifteten Nährstoffe erst wirken, wenn sie von Bakterien aufgenommen worden sind, wirkt das Antibiotikum in Mechanismus 2, 3 direkt und von außen auf Bakterien ein.

Lina: „Penicillin kommt aus dem Schimmel. Vielleicht hat der Schimmel Penicillin, um die Bakterien abzuwehren, damit sie ihn nicht angreifen. Wenn in Petrischale 1 Pilzsporen rein gekommen wären, dann wären die Bakterienkolonien wahrscheinlich genauso wie in Petrischale 2“. (Exp 2, Kol 2, Z 314-321)

Lina stellt sich vor, dass „Penicillin aus dem Schimmel“ kommt. Der Schimmel setzt Penicillin ein, um Bakterien „abzuwehren“, „damit sie ihn nicht angreifen“. Lina denkt, dass die Bakterienkolonien, die sie im Nähragar mit Tümpelwasser ohne Penicillin (Ansatz 1) gesehen hat, „genauso wären“ wie in Ansatz 2 (Nähragar und Tümpelwasser mit Penicillin), wenn dort

„Pilzsporen reingekommen wären“. Pilzsporen dürfte sie als eine Art Starter von Schimmel vorstellen, der Penicillin erzeugt. Da Lina in ihrem Ansatz mit Penicillin keine Bakterienkolonie gesehen hat, aber dennoch im Zusammenhang mit diesem Ansatz von dort befindlichen „Bakterienkolonien“ spricht, wird sie über die Vorstellung verfügen, dass es mit bloßem Auge wahrnehmbare Kolonien gibt und solche, die unter dem Einfluss des Antibiotikums Penicillin so klein bleiben, dass sie mit bloßem Auge nicht wahrgenommen werden können. Letztere würden der mikroskopischen Größenebene biologischer Gegenstände angehören.

Lisa: „Aber das Antibiotikum ist auch noch da, das ist ein Pilz und vielleicht frisst das Antibiotikum die toten Bakterien, um zu leben. Das Antibiotikum ist aus dem Pilz zusammengesetzt. Im Antibiotikum sind Anti-Bakterien drin“. (Exp 4, Kol 3, 166-168, 171, 176, 178)

Lisa denkt, das „Antibiotikum“ sei ein „Pilz“ („aus dem Pilz zusammengesetzt“) und kann sich vorstellen, dass das Antibiotikum „tote Bakterien frisst“, „um zu leben“. Sie denkt die Beziehung zwischen Pilzen und Bakterien in Art einer Räuber-Beute-Beziehung. Da Lisa den vorgestellten Sachverhalt, dass Pilze tote Bakterien fressen, offensichtlich für erklärungsbedürftig hält, äußert sie, dass im Antibiotikum „Anti-Bakterien“ enthalten („drin“) sind. Pilze würden Lisas Vorstellungen zufolge in einem ersten Schritt Bakterien mit ihren „Anti-Bakterien“ abtöten und sie daraufhin fressen.

Luka: „Das ist der Antibiotikum Pilz. In Petrischale 2 sind keine Bakterienkolonien. Dass Penicillin beim Pilz nicht viel bringt, könnte daran liegen, dass die Zellwand des Pilzes dicker ist, Penicillin zerstört die Zellwände der Bakterien“. (Exp 3, Kol 2, Z 17, 712, 714)

Luka identifiziert das Geflecht, das er in seinem penicillinhaltigen Nährboden nach der Bebrütung beobachtet hat, als Pilz. Er spricht von „Antibiotikums Pilz“, wobei zunächst nicht klar ist, ob er zwischen einem Pilz als Lebewesen und dem Antibiotikum als Stoff zu unterscheiden weiß. Im Verlaufe des Gesprächs aber differenziert er zwischen dem Antibiotikum Penicillin als wirksamer Substanz und einem Pilz als Lebewesen. Er kann sich vorstellen, dass Penicillin einem Pilz nichts anhaben kann, weil dessen Zellwand „dicker“ als die der Bakterien sei. Bakterielle Zellwände würden vom Penicillin aufgrund ihrer geringen Dicke „zerstört“. Luka denkt den Unterschied zwischen Pilz und Bakterium quantitativ, pilzliche und bakterielle Zellwände unterscheiden sich nicht prinzipiell, sondern nur hinsichtlich ihrer Dicke. Penicillin dürfte aufgrund dessen sowohl pilzliche als auch bakterielle Zellwände von außen angreifen, aber nur Bakterien werden aufgrund ihrer Dünnwandigkeit zerstört. Luka denkt Bakterien und Pilze als *Behälter*, für die Behältervorstellung ist das Bestehen der Behälterwandung aber konstitutiv, wird sie zerstört, existiert der *Behälter* nicht mehr.

Monika: „In Petrischale 2 sieht man, das Antibiotikum hat die Bakterien abgetötet, aber weil es selbst ein Pilz ist, kann es die anderen Pilze nicht abtöten...In Petrischale 2 haben sich keine Bakterien gebildet, die Bakterien haben sich nicht weiter geteilt, sondern es sind nur Pilze entstanden, weil das Antibiotikum die Bakterien abgetötet hat. Aber da das Antibiotikum selber ein Pilz ist, hat es die anderen Pilze nicht gestört und es wurde den Pilzen von den Bakterien der Platz nicht weggenommen. Deswegen haben sich Pilze gebildet. Vielleicht sind die Bakterien aggressiver und schneller als Pilze. Unser Argument war, dass sich die Bakterien schneller teilen und schneller Kolonien aufbauen und dadurch dem Pilz, der auch im Wasser ist, den Platz wegnehmen. Es ist deswegen kein Pilz in Petrischale 1 drin, weil das Bakterium sich schneller vermehrt und deswegen da kein Platz mehr für Pilz ist. In Petrischale 2 ist der Pilz ungestört, weil keine Bakterien drin sind“. (Exp 4, Kol 2, Z 53-55, 242-248, 253, 270-272, 275-278)

Monika denkt, dass das Antibiotikum Penicillin ein Pilz sei. Die Lernerin hat in ihrem penicillinhaltigen Nähragar einen Schimmelpilz wahrgenommen. Monika denkt das Penicillinpulver, das sie dem Nähragar beigemischt hat, als Starter des Pilzgeflechtes. Sie unterscheidet nicht zwischen dem Pilz als Lebewesen und dem Pilz als Produzent der Substanz Penicillin. Der Pilz hat Monikas Meinung nach die Bakterien abgetötet, so dass sie auch keine Bakterienkolonien beobachten konnte. Bakterien sind Monikas Meinung nach Pilzen aufgrund ihrer Vermehrungsgeschwindigkeit überlegen, „Bakterien teilen sich schneller (bauen schneller Kolonien auf)“ und nehmen Pilzen den „Platz weg“. Die Vorstellung, dass Pilze langsamer als Bakterien wachsen, dürfte auf lebensweltliche und unterrichtliche Erfahrungen zurückgehen: Pilzliches Wachstum wird lebensweltlich als Verschimmeln von Lebensmitteln oder als Wachstum der Fruchtkörper von Hutpilzen wahrgenommen. Das *Größer-Werden* wird in beiden Fällen als Prozess vorgestellt, der eine gewisse Zeit benötigt. Bakterielleres Wachstum hingegen wird aufgrund der Vorstellung bakterieller Vermehrungsfreudigkeit als schneller Prozess gedacht. Monikas Vorstellung vom schnellen bakteriellen Wachstum und vom langsamen pilzlichen Wachstum dürfte nicht auf ihre experimentellen Erfahrungen zurückgehen, denn nach 24-stündiger Bebrütung der Petrischalen waren sowohl in Ansatz 1 zahlreiche Bakterienkolonien als auch in Ansatz 2 Schimmelpilze zu beobachten. Ob aber innerhalb der Zeitspanne von 24 Stunden zuerst die Bakterienkolonien oder die Schimmelpilze zu sehen waren, weiß die Lernerin nicht, weil die Veränderungen, die in den Petrischalen innerhalb der Bebrütungszeit stattgefunden haben, nicht dokumentiert wurden. Monika denkt die Konkurrenz zwischen Bakterien und Pilzen als Verdrängungswettbewerb. Da sie das Antibiotikum aber als Pilz und nicht als wirksame Substanz eines Pilzes denkt, muss sie davon ausgehen, dass es sich dabei um einen Pilz handelt, der Bakterien in Konkurrenz nicht unterlegen ist. Monika verfügt über die Vorstellung, dass der Pilz in ihrem penicillinhaltigen Ansatz zwar Bakterien, nicht aber andere Pilze abtötet, untereinander fügen sich Pilze keinen Schaden zu. Die Lernerin verfügt über die Vorstellung einer selektiven Penicillinwirkung.

Nina: „Der Pilz sendet sein Penicillin aus, nicht um sich selber zu schützen, sondern damit er selber die Nährstoffe kriegt. Die Bakterien sterben ab, das heißt, der Pilz ist am Ziel“. (Exp 1, Kol 2, Z 352-354)

Nina stellt sich vor, dass ein Pilz Penicillin aussendet, um damit die Bakterien abzutöten und die bakterielle Nahrungskonkurrenz auszuschalten („...damit der Pilz selber die Nährstoffe kriegt“). Der Pilz wehrt in ihrer Vorstellung keinen Angriff der Bakterien ab. Nina stellt sich dieses Aussenden des Penicillins final vor, der Pilz vollzieht die Handlung um des Ergebnisses willen („Die Bakterien sterben ab, das heißt, der Pilz ist am Ziel“), sie überträgt das Schema *Person* auf Pilze. Das Ziel ist das Absterben der Bakterien, ob dieses willentlich oder unbewusst erfolgt, muss offen bleiben.

Philis: „Im Agar mit Penicillin ist gar nichts passiert, ich glaube, die Kolonien kann man nicht genau erkennen. Ich glaube nicht, dass man etwas kolonienartiges sieht. Vielleicht fressen die Bakterien die Nährstoffe, die der Pilz auch braucht. Und damit dem Pilz das nicht passiert, bildet er den Giftstoff, damit die Bakterien nicht die Nährstoffe fressen, die der Pilz braucht“. (Exp 2, Kol 2, Z 310, 312, 323, 325)

Philis hat bei der Auswertung ihres penicillinhaltigen Nährbodens zunächst Schwierigkeiten zu entscheiden, ob sich darin „Kolonien“ befinden oder nicht. Sie entscheidet sich schließlich dafür, dass nichts „kolonienartiges“ zu sehen sei. Sie denkt, dass Pilze Bakterien mithilfe des Penicillins abwehren. Sie gibt auch einen Grund dafür an, warum sie sich den Pilz Bakterien gegenüber in der Defensive vorstellt: Sie kann sich vorstellen, dass Bakterien in Nahrungs-

konkurrenz zu Pilzen stehen, und diesen die Nährstoffe wegfressen. Der Pilz schützt seine Nahrungsressourcen mithilfe des Penicillins gegen Bakterien. Der Pilz wehrt also keinen direkten Angriff der Bakterien auf sich selber ab, sondern schützt mithilfe des Penicillins, das Pilze als „Giftstoff“ denken kann, seine Nahrung.

7.4.6.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Lerner denken, dass Bakterien vom Antibiotikum Penicillin „abgetötet“, „vernichtet“, „bekämpft“, „zerstört“ oder „abgewehrt“ werden, Penicillin wird als Waffe vorgestellt (*Penicillin als Waffe*). Die Vorstellungen der Lerner zum Antibiotikum Penicillin unterscheiden sich vor und nach der Auswertung der Versuchsansätze. Vor der Auswertung der Petrischalen wurde Penicillin als gegen Bakterien gerichteter Wirkstoff gedacht, wobei Pilze in den auf Penicillin bezogenen Vorstellungen der Lerner keine Rolle spielen. Von der vorgestellten Wirksamkeit des Medikaments Penicillin bei der Behandlung bakterieller Infektionskrankheiten des Menschen können Lerner auf die Wirksamkeit des Penicillins im Versuch mit Bakterien schließen. Die Haltbarkeit des Penicillins kann zeitlich begrenzt gedacht werden, es handelt sich um eine Übertragung von Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen im Umgang mit Medikamenten gründen, die vom Hersteller mit einer Information bezüglich ihrer Haltbarkeit versehen werden. Nach Auswertung ihrer Versuchsansätze können die Lerner Penicillin als Mittel eines Pilzes, der im Kampf mit oder in Konkurrenz zu Bakterien steht, denken (*Kämpfende Bakterien und Pilze*).

Dieser Unterschied im Denken der Lerner kann darauf zurückgeführt werden, dass in den Petrischalen, in denen sich Nähragar, Tümpelwasser und das Antibiotikum Penicillin befunden haben, nach der Bebrütung keine Bakterienkolonien, in den meisten Fällen wohl aber Pilzmycelien zu beobachten waren.

Die nach Auswertung der Versuchsansätze identifizierten Lernervorstellungen lassen sich nach zwei Kategorien gruppieren, nämlich „*wie*“ Penicillin auf Bakterien wirkt und „*warum*“ Pilze überhaupt Penicillin aufweisen. Im ersten Fall geht es um Vorstellungen zum konkreten Mechanismus der Penicillin-Wirkung, im zweiten Fall um die Frage, welchen Vorteil Penicillin dem Pilz verschafft. Aus evolutionsbiologischer Perspektive könnten die beiden Fragen der von Mayr (1961) für den Bereich der Biologie vorgenommenen Differenzierung nach proximativen (proximate causes) und ultimativen (ultimate causes) Ursachen entsprechen, die im deutschsprachigen Raum auch als Nahursachen und Fernursachen bezeichnet werden (s. Kattmann 1995). Die von den Lernern gedachten Ursachen der Penicillinwirkung, die am ehesten der wissenschaftsorientierten Kategorie „*ultimat*“ entsprechen, betreffen allesamt die mikroökologische Situation eines Bakteriums, das in Konkurrenz zu Pilzen vorgestellt wird. Da diese Konkurrenz innerhalb der Denkfigur *Kampf* aber rein aktualistisch aus der Perspektive zweier Konkurrenten gedacht wird, fehlt die Grundlage dafür, die von Lernern genannten Gründe als „*ultimat*“ zu kategorisieren.

Mehrere Lerner verfügen über Vorstellungen „*warum*“ Pilze das Antibiotikum Penicillin aufweisen. Die ökologische Beziehung von Bakterien und Pilzen kann als Kampf ohne Konkurrenz um Ressourcen gedacht werden. Schimmelpilze können Penicillin einsetzen, um einen bakteriellen Angriff abzuwehren. Aber auch der Pilz kann als Aggressor gedacht werden, er ernährt sich von Bakterien, Penicillin kommt die Aufgabe zu, Bakterien abzutöten, die dann dem Pilz als Nahrung dienen können. Es handelt sich um Vorstellungen von einer Räuber-Beute-Beziehung. Die ökologische Beziehung zwischen Bakterien und Pilzen kann aber auch als Konkurrenz um Ressourcen vorgestellt werden. Bakterien fressen (nehmen weg, streiten um) die gleichen Nährstoffe wie Pilze, die mithilfe des Antibiotikums keinen Angriff auf sich selber, sondern auf ihre Nährstoffe abwehren. In der Konkurrenz um Nahrung können

aber auch Bakterien Giftstoffe gegen Pilze einsetzen. Pilze und Bakterien können auch um Lebensraum konkurrieren, Bakterien nehmen Pilzen in einer Art Verdrängungswettbewerb den Platz weg. Bakterien aber sind Pilzen in ihrer Vermehrungsgeschwindigkeit überlegen, der Pilz setzt zur Ausschaltung der bakteriellen Konkurrenten Penicillin ein. Der Penicillineinsatz kann einerseits final gedacht werden, der Pilz sendet sein Penicillin aus, um damit Bakterien zu töten (*Pilze als Person*). Andererseits kann es sich beim Penicillin auch um giftigen Müll handeln, der vom Pilz als Abfall abgegeben wird (*Penicillin als Gift*).

Ein Teil der Lerner verfügt über Vorstellungen, „wie“ das Antibiotikum Penicillin wirkt. Der Pilz kann mit Penicillin die Nährstoffe vergiften, seine Wirkung wäre indirekter Art, das Gift würde erst nach Aufnahme von Nährstoffen innerhalb der Bakterien wirksam werden. Penicillin kann auch als direkt auf Bakterien wirkendes Kampfmittel gedacht werden. Es greift dann entweder Bakterien von außen an, Angriffsorte können die bakterielle Zellwand oder Geißel sein oder es hindert Bakterien an der Teilung. Die Penicillinwirkung kann selektiv vorgestellt werden (*Selektives Penicillin*). Sind Lernern Vorstellungen von der strukturellen Unterschiedlichkeit von Pilzen und Bakterien verfügbar, kann die selektive Penicillinwirkung darauf zurückgeführt werden. Zur strukturellen Unterschiedlichkeit von Bakterien und Pilzen konnten drei Vorstellungen erfasst werden. Die pilzliche Zellwand kann dicker als die bakterielle Zellwand vorgestellt werden, die pilzliche Zellwand hält aus diesem Grund dem Penicillin stand, nicht aber die bakterielle Zellwand. Lerner können den Unterschied zwischen Pilzen und Bakterien quantitativ vorstellen. Aber auch qualitative Unterschiede, die Bakterien nicht aber Pilze Penicillin vulnerabel machen, können gedacht werden: Pilze besitzen im Gegensatz zu Bakterien keine Zellwand, da Penicillin Zellwände zerstört, sind nur Bakterien betroffen. Die Bildung der Zellwand von Pilzen und Bakterien kann unterschiedlich vorgestellt werden, Penicillin wirkt auf eine Komponente im Bakterium zerstörerisch ein, die an der Zellwandbildung beteiligt ist. Pilze weisen diese Komponente nicht auf, deswegen hat das Antibiotikum Penicillin bei ihnen keine Wirkung.

Lerner denken die Beziehung zwischen Pilzen und Bakterien metaphorisch meist als Kampf. Verkörperte Vorstellungen von *Kämpfen* gründen in lebensweltlichen Erfahrungen, die z.B. bei Rangeleien mit Gleichaltrigen oder bei Mannschaftsspielen gesammelt werden können. Die Denkfigur *Kampf* liegt als leitende Grundvorstellung mehreren Lernerkonzepten zugrunde:

1. Bei einem Kampf müssen sich mindestens zwei Parteien als Gegner begreifen. Nach dem mikrobiologischen Praktikum denken die meisten Lerner Pilze und Bakterien als Kontrahenten (*Kämpfende Bakterien und Pilze*)
2. Bei einem Kampf handelt es sich um einen finalen Prozess, man kämpft, um einen Gegner zu besiegen. Bei einem Kampf kann die Feindschaft zwischen den Kampfparteien meist auf eine Konkurrenz um Ressourcen, die von den beiden Parteien zugleich beansprucht werden, zurückgeführt werden. Lerner denken, Bakterien und Pilze konkurrieren um Nährstoffe oder um Lebensraum.
3. In Abhängigkeit davon, wer einen Kampf eröffnet, fungiert eine Partei als Angreifer, die andere wird zum Verteidiger. Stellen Lerner den menschlichen Körper als Kampfarena vor, denken sie den Bakterien die Rolle des Angreifers zu. In den Nährböden der Petrischalen, die die Lerner im mikrobiologischen Praktikum angelegt haben, können Lerner sowohl Bakterien als auch Pilze als Angreifer denken.
4. Ein Kampf kann ohne oder mithilfe von zusätzlichen Mitteln ausgetragen werden. Lerner denken, Pilze setzen Penicillin als Kampfmittel ein, aber auch Bakterien können über vergleichbare Kampfmittel verfügen. Lerner können auch denken, dass Bakterien Pilze aufgrund ihrer Vermehrungsfreudigkeit verdrängen. Lerner, die den

menschlichen Körper als Schlachtfeld denken, können Antibiotika als Medikamente und zugleich als Kampfmittel des Menschen gegen Bakterien denken.

5. Ein Kampf kann direkt (Mann gegen Mann) oder indirekt gegen die Ressourcen des Gegners geführt werden. Lerner stellen sich vor, dass Pilze mit Penicillin z.B. die bakterielle Zellwand oder Geißel angreifen. Indirekt kann Penicillin aber auch zur Vergiftung der bakteriellen Nährstoffe eingesetzt werden.
6. Bei einer Anwendung von Kampfmitteln und beim Angriff auf die Ressourcen des Gegners kommt es darauf an, dass nur die gegnerische Partei betroffen ist, da ansonsten auch die eigene Kampfkraft geschwächt würde. Lerner denken, dass sich Bakterien und Pilze strukturell unterscheiden. Insbesondere werden Unterschiede im Bereich der bakteriellen und pilzlichen Wandung vorgestellt. Bakterien besitzen aufgrund ihrer besonderen Wandung Pilzen gegenüber eine Achilles-Verse, die sie durch Penicillin angreifbar macht.
7. Ein Kampf kann unmittelbar und schnell den Tod oder die Kampfunfähigkeit des Gegners oder seine Schwächung durch Beschädigung bewirken, die mehr oder weniger schleichend auch zum Tode oder zu einer Verdrängung des Gegners führen kann. Die schwächere Kampfpartei unterliegt, dabei kann es sich sowohl um den Angreifer als auch um den Verteidiger handeln. Die Lerner haben in ihrem mikrobiologischen Praktikum die experimentelle Erfahrung gemacht, dass in ihrem penicillinhaltigen Nährboden nach 24 Stunden keine Bakterienkolonien zu beobachten waren. Der Kampf zwischen Bakterien und Pilzen wird von Lernern also maximal 24 Stunden dauernd vorgestellt.
8. Der Ausgang eines Kampfes kann entweder als Sieg einer Kampfpartei über die andere, bei gleicher Kampfkraft auch als Pattsituation oder als ein im beiderseitigem Einvernehmen erreichtes Kampfgedacht werden. Lerner stellen sich vor, dass Bakterien Pilzen im Kampf immer unterliegen. Diese Vorstellung kann zum einen auf die experimentellen Erfahrungen der Lerner, dass in ihren Nährböden mit Penicillin keine Bakterienkolonien zu beobachten waren, zurückgeführt werden. Zum anderen könnte diese Vorstellung aber auch in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, die mit Medikamenten gemacht wurden. Dass ein Medikament seine Wirkung hat, ist selbstverständlich.

7.4.6.2 Konzepte zur Penicillinwirkung

- *Penicillin als Waffe*
Penicillin tötet (vernichtet, bekämpft, zerstört, wehrt ab) Bakterien. Penicillin wird als tödliche Waffe gedacht.
- *Penicillin als Gift*
Pilze geben Penicillin als Müll ab. Seine Wirkung als Gift, das auf Bakterien wirkt, ist vom Pilz nicht intendiert, es handelt sich um eine Nebenwirkung.
- *Kämpfende Bakterien und Pilze*
Bakterien und Pilz bekämpfen einander. Der Kampf kann mit und ohne gegenseitig streitig gemachte Ressourcen gedacht werden. Die Rollen, die die Kontrahenten bei diesem Kampf haben, können von einzelnen Lernern unterschiedlich besetzt werden. Geht der Kampf auf eine Konkurrenz um Ressourcen zurück, beanspruchen Bakterien und Pilze identische Nährstoffe (streiten sich um, nehmen, fressen sich Nährstoffe gegenseitig weg) oder Bakterien machen dem Pilz aufgrund ihrer Vermehrungsfreudigkeit den Lebensraum streitig. Bakterien können den Pilz direkt mit oder ohne Kampfmittel angreifen, woraufhin sich der Pilz als Angegriffener mithilfe des Penicillins verteidigt (schützt, wehrt). Aber auch der Pilz kann als Angreifer fungieren, er setzt Penicillin ein, um Bakterien abzutöten, um sie dann als Nahrung zu nutzen. Penicillin

kann als Kampfmittel direkt gegen Bakterien geführt werden. Es greift die bakterielle Zellwand (Geißel) an und zerstört diese.

- *Pilze als Person*
Pilze senden Penicillin aus, um damit die Bakterien abzutöten und die bakterielle Nahrungskonkurrenz auszuschalten. Dann ist der Pilz an seinem Ziel. Beim Penicillineinsatz handelt sich um einen zielgerichteten Prozess.
- *Selektives Penicillin*
Penicillin wirkt bei Bakterien, nicht aber bei Pilzen, weil Pilze und Bakterien strukturell verschieden sind. Die Unterschiede können quantitativ oder qualitativ gedacht werden: Zum einen kann die pilzliche Zellwand dicker als die bakterielle Zellwand vorgestellt werden, sie hält aus diesem Grund dem Penicillin stand, wohingegen die bakterielle Zellwand zerstört wird. Zum anderen können Pilze im Gegensatz zu Bakterien ohne Zellwand vorgestellt werden. Da Penicillin Zellwände zerstört, werden nur Bakterien abgetötet. Penicillin kann aber auch intrazelluläre Komponenten, die an der Bildung der Zellwand beteiligt sind, zerstören, wodurch die Ausbildung der Zellwand verhindert wird. Da diese Komponenten bei Pilzen und Bakterien unterschiedlich vorgestellt werden und Penicillin nur die bakteriellen Komponenten zerstört, sind nur bakterielle Zellwände vom Penicillin betroffen.

7.4.7 Lernervorstellungen von Bakterienkolonien

Nachdem es in den vorangegangenen Kapiteln um die Erfassung von Lernervorstellungen zur Größe, Struktur und Physiologie von Bakterien ging, beschäftigt sich dieses Kapitel auf dieser Grundlage damit, welche Vorstellungen Lerner mit den Bakterienkolonien, die sie experimentell im Rahmen ihres mikrobiologischen Praktikums dargestellt haben, verknüpfen. Nach 24-stündiger Bebrütung konnten die Lerner in Petrischalen, in denen sie Nähragar und Tümpelwasser zusammengemischt hatten, mit bloßem Auge Bakterienkolonien wahrnehmen. Den Begriff „Bakterienkolonie“ kennen die Lerner aus der Anleitung zum mikrobiologischen Praktikum (s. Anhang, Praktikumsanleitung). In der Anleitung ist auch eine Abbildung zu finden, die eine Petrischale mit zahlreichen Kolonien zeigt (s. Abb. 7.3). Es wird ermittelt, über welche Vorstellungen Lerner vom Prozess der Koloniebildung verfügen und wie sie sich die Struktur einer Bakterienkolonie vorstellen.



Abb. 7.3: Bebrüteter Nähragar mit und ohne Bakterienkolonien. Die Lerner haben in einer Petrischale Tümpelwasser und handwarmen Nähragar zusammen gemischt und das Ganze nach dem Gelieren 24 Stunden bei 37°C im Brutschrank gehalten. Nach der Bebrütung sind mit bloßem Auge zahlreiche Bakterienkolonien wahrnehmbar, die sich deutlich vom Nähragar abheben (linke Abbildung). Im Agar ohne Nährstoffe sind keine Bakterienkolonien zu beobachten (rechte Abbildung).

Anngrit: „Jeweils eine Kolonie geht von einer einzigen Bakterie aus...Wahrscheinlich war es erst eine Bakterie, dann waren es zwei, und die können sich dann jeweils wieder teilen. Und dadurch werden es viel schneller mehr Bakterien, als wenn immer nur die Mutter sich teilen würde“. (Exp 7, Kol 1, Z 41, 42, 267, 271)

Anngrit stellt sich ein einzelnes Bakterium als Begründer einer Kolonie vor („Jeweils eine Kolonie geht von einer einzigen Bakterie aus“). Die Lernerin denkt, dass sich dort, wo im Nähragar eine Kolonie zu beobachten ist, ein Bakterium geteilt hat, woraufhin sich die beiden aus der Teilung hervorgegangenen Bakterien ebenfalls geteilt haben. Anngrit gibt auch einen Grund dafür an, warum es vorteilhaft ist, dass sich nicht nur ein Stammbakterium („die Mutter“) teilt, sondern beide aus einer Teilung hervorgegangenen Bakterien. Sie denkt, dass es dadurch „viel schneller mehr Bakterien werden“. Anngrit verfügt über das Schema bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* nicht aber über das Schema *Größer-Werden*. Eine Koloniebildung durch alleiniges Teilen (Halbieren) von Bakterien kann nicht erklären, wie es zu mit bloßem Auge sichtbaren Bakterienkolonien im Nähragar kommt, weil die Zellbiomasse der Kolonien gleich bleiben würde.

Benno: „Wenn die Kolonien eine bestimmte Größe erreicht haben, würden die Bakterien doch irgendwann, ich weiß nicht wie der Wert heißt, ich weiß nicht, ob das nur bei Viren war, aufhören sich zu teilen, dann ist dieser Wert erreicht und dann werden sie schädlich. Das fällt mir gerade nicht ein. Die Kolonien können nicht unendlich dick werden. Die Zeit, in der sich die Bakterien ausdehnen, heißt Inkubationszeit. Irgendwann hören die Bakterien auf, und dann bilden sich die Bakterien nicht mehr. Es gibt bestimmt einen Kern, und von dem aus vermehren sich die Bakterien in alle Richtungen. Es gibt ein Kernbakterium, das teilt sich immer in alle Richtungen, damit es sicherer ist, damit der Kern, die Steuerzentrale, im Inneren und sicherer ist. Ja, das Kernbakterium ist so ähnlich wie ein Zellkern, der Bakterienkern. Man fühlt sich ja auch viel sicherer, wenn man in einer Gruppe ist und nicht fünf Meter auseinander steht. Wenn da ein Bakterium ist, dann vermehrt das sich. Es ist doch nicht so wie beim Magnetismus, dass die Bakterien sich abstoßen und anziehen, die sitzen dort, wo sie hingeworfen wurden und manchmal finden sie zusammen. Das Problem, dass Bakterienkolonien zusammen wachsen kann man auch nicht lösen, indem man einen Tropfen Wasserprobe nimmt, den in ein Glas füllt und da Wasser ohne Bakterien rein tut, damit man sicher ist, dass sie nicht ganz dicht liegen, weil im Wasser sind immer ein paar Bakterien. Das ist ein reines Glücksspiel, ob die Bakterien im Nähragar genau nebeneinander liegen, man kannst sie ja nicht sehen. Die Bestimmung der Bakterienzahl in Wasserproben ist für mich nicht möglich“. (Exp 3, Kol 2, Z 422, 426, 432, 442, 443; Exp 3, Kol 3, Z 390, 420-441, 596-646)

Benno stellt sich vor, dass Bakterien durch Teilung mehr werden. Den Zeitraum des bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden*, in dem Bakterienkolonien in Bennos Vorstellung größer werden, bezeichnet er als „Inkubationszeit“. Als Inkubationszeit stellt sich Benno den Zeitraum vor, in dem sich „Viren“ teilen. Wenn sie aufhören sich zu teilen, werden Viren Bennos Meinung nach „schädlich“. Benno ist sich zunächst nicht sicher, ob Bakterien ebenfalls eine Inkubationszeit aufweisen. Er kommt dann aber zu dem Schluss, dass sich Bakterien in der Inkubationszeit „ausdehnen“. Ist die bakterielle Inkubationszeit beendet, bilden sich keine weiteren Bakterien mehr. Benno überträgt das wissenschaftsorientierte Konzept *Inkubationszeit* auf Bakterienkolonien in seinen Petrischalen und führt das Konzept darauf zurück, dass Bakterienkolonien „nicht unendlich dick werden“.

Benno denkt, dass es in einer Kolonie nur ein Bakterium („Kernbakterium“) gibt, das sich fortwährend („immer in alle Richtungen“) teilt. Das „Kernbakterium“ befindet sich immer im

Zentrum einer Kolonie, so dass es sich durch die Teilungen einen Kranz von peripheren Bakterien zulegt. Benno denkt die durch Teilung aus dem Kernbakterium hervorgegangenen teilungsinaktiven Bakterien als eine Art Schutzwall, im „Inneren“ sei das Kernbakterium „sicherer“. Benno denkt das „Kernbakterium“ einer Bakterienkolonie als „Steuerzentrale (Kern)“. Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens überträgt Benno das Schema *Peripherie-Zentrum* (Lakoff 1987, S.274) auf Bakterienkolonien. Demgemäß stellt sich Benno das Zentrum einer Kolonie als sehr verletzlich vor, es wird von der Peripherie abgeschützt.

Benno hält es nicht für möglich, die Zahl der Bakterien in einer Wasserprobe mithilfe des Gussplattenverfahrens, das er im mikrobiologischen Praktikum kennengelernt hat, zu bestimmen. Er denkt zwar, dass ein Bakterium eine Kolonie begründet, stellt sich aber vor, dass Bakterien im Nähragar so dicht nebeneinander liegen, dass die durch die Wachstumsaktivität der Bakterien je gebildeten Kolonien zusammenwachsen. Auch eine Verdünnung der bakterienhaltigen Wasserprobe durch Hinzufügen von Wasser, wodurch die Bakteriendichte im Nähragar verringert werden würde, kann Bennos Meinung nach dieses Problem nicht lösen, da er denkt, dass es Wasser ohne Bakterien nicht gibt. Benno stellt sich vor, dass mit dem zur Verdünnung zugefügten Wasser Fremdbakterien in die Wasserprobe eingetragen würden. Die Zahl der Bakterienkolonien nach Bebrütung der Petrischalen wäre dann höher und entspräche nicht mehr der Zahl der Bakterien in der zu bestimmenden Wasserprobe.

Caroline: „Das Wasser war vielleicht voll von Bakterien, es sind aber keine sichtbaren Bakterien aufgetreten... Die Nährstoffe kommen nicht mehr in das Innere der Kolonie, so dass sich die Bakterien nicht mehr teilen können, weil da die Nährstoffe fehlen, also können sie sich nicht mehr ausbreiten. Die Bakterien teilen sich jede 24 bis 48 Stunden und sind dann eine Kolonie. Vielleicht könnte man, um die Bakterienzahl in einer Tümpelwasserprobe zu bestimmen, einfach die einzelnen Kolonien zusammen zählen, weil die aus den Bakterien, die sich teilen, entstanden sind und die noch zusammen hängen. Und dann entstehen diese Kolonien und die Bakterien hängen immer noch zusammen. Dann kann man die Kolonien einfach zählen und man weiß, wie viele Bakterien es am Anfang gewesen sein müssten“. (Exp 1, Kol 2, Z 27, 28, 321, 323, 325; Exp 1, Kol 3, 197-200, 204-207)

Caroline denkt, Wasser könne voll von Bakterien sein, die aber nicht wahrgenommen werden können. In metaphorischer Redeweise sagt sie, dass keine sichtbaren Bakterien auftreten („Das Wasser war vielleicht voll von Bakterien, es sind aber keine sichtbaren Bakterien aufgetreten,...“). Dies erinnert an eine Theatervorstellung, in der Schauspieler solange für das Publikum unsichtbar bleiben, bis sie vom Licht eines Scheinwerfers erfasst werden. Wie sich Caroline aber den Auftritt von Bakterien als sichtbare Kolonien in den Petrischalen vorstellt, ist an dieser Stelle unklar. Im Zusammenhang mit der Frage, ob die Zahl der Bakterien in Wasserproben mit der Methode des Gussplattenverfahrens bestimmt werden kann, präzisiert Caroline ihre Vorstellungen dazu, wie Bakterien als Kolonie wahrnehmbar werden: Sie denkt, dass sich Bakterien teilen und in der Kolonie „zusammenhängen“ und in ihrer Vielzahl sichtbar sind. Anhand der Zahl der aufgewachsenen Kolonien kann auf die Zahl der Bakterien in der Wasserprobe zurückgeschlossen werden. Da dies aber nur möglich ist, wenn ein Bakterium Koloniegründer ist, wird Caroline über diese Vorstellung verfügen. Ein bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* durch Teilung ohne *Größer-Werden* führt zwar zur Vermehrung von Bakterien, nicht aber zu einer Zunahme der Zellbiomasse. Carolines Vorstellung kann also das Sichtbarwerden von Bakterienkolonien aus fachlicher Perspektive nicht befriedigend erklären. Caroline stellt sich vor, dass diejenigen Bakterien, die in einer kompakten Kolonie im Zentrum liegen, keine Nährstoffe aus dem Nähragar bekommen und sich deswegen nicht

mehr „teilen und ausbreiten“ „weil da die Nährstoffe fehlen“. In Carolines Vorstellung dürften also nur die äußeren Bakterien einer Kolonie zu deren Vergrößerung beitragen.

Clara: „Vielleicht ist die Zellwand ein bisschen ungleichmäßig, dass sich die Bakterien aneinander verhaken... Die Bakterien saugen sich mit ihren Poren fest“. (Exp 11, Kol 1, Z 374-377, 405-407)

Clara denkt, dass die bakterielle Zellwand „ein bisschen ungleichmäßig ist“ und sich Bakterien aufgrund dessen „aneinander verhaken“. Diese Vorstellung erinnert an den Mechanismus eines Klettverschlusses. Andererseits kann Clara denken, dass sich Bakterien „mit ihren Poren“ aneinander „festsaugen“. Diese Vorstellung erinnert an angefeuchtete Saugnapfe, die auf Oberflächen gedrückt werden und anhaften.

Karolina: „Die Bakterien halten sich fest. Wie, weiß ich nicht, Hände und Füße haben sie nicht. Wenn die Bakterien irgendetwas fressen (aufnehmen) können, setzen sie sich vielleicht an den Blättern fest, sie halten sich nicht fest“. (Exp 11, Kol 1, Z 394, 396, 402-404)

Karolina verfügt über die Vorstellung, dass sich Bakterien im Tümpel an ihrer Nahrung („Blätter“) festbeißen, wenn sie diese „fressen“. Ausdrücklich sagt sie, dass sich Bakterien dabei „nicht festhalten“, also neben den Beißwerkzeugen keine dem Festhalten dienenden weiteren Strukturen einsetzen. Im Nähragar ihrer Petrischalen hat sich zwar kein pflanzliches Material befunden, jedoch könnte Karolina ihre Vorstellung auf die Bakterien im Nähragar übertragen, indem sie sich vorstellt, dass diese sich am verfestigten Nähragar festbeißen.

Katja: „Wenn die Bakterien nicht aneinander kleben, dann müssten sie sich verteilen. Und das tun sie nicht, die Bakterien mögen sich viel zu sehr, die nehmen sich vielleicht an die Hand“. (Exp 4, Kol 2, Z 671-677)

Katja stellt sich Bakterien als einzelne Zellen vor, die sich „verteilen“, wenn sie nicht „aneinanderkleben“. Da Katja die experimentelle Erfahrung gemacht hat, dass Bakterien nach der Bebrütung in ihren Nährböden Kolonien gebildet haben, die sie als Ansammlungen von Bakterien denkt, stellt sie sich vor, dass sich Bakterien vielleicht „an die Hand“ „nehmen“, um in der Kolonie zusammenzubleiben. Katja denkt, dass sich Bakterien „mögen“ und aus diesem Grunde aneinander kleben. Katja überträgt das Schema *Person* (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) auf Bakterien.

Kristina: „Bakterienkolonien kann man sehen, weil die Bakterien sich nicht verteilen können. Die sind da im Nähragar und kommen da nicht weg, wo sie sich vermehrt haben. Dadurch sind die Bakterien alle auf einem Fleck konzentriert und man sieht sie. Im Wasser können sich die Bakterien vermischen. Wenn ich die Tümpelwasserprobe mit dem noch flüssigen Nähragar zusammen mische, dann sind da im Nähragar die Bakterien und die vermehren, teilen sich. Aus ganz wenigen Bakterien werden auf einem Punkt ganz viele. Die Bakterien werden an der Stelle immer dichter und irgendwann sieht man dann so einen Punkt, weil da so viele Bakterien sind. Ich denke, dass sich die Bakterien im Tümpel um irgendetwas, was sie fressen können, rum legen, sich festmachen können. Das sieht dann wie eine Kolonie aus. Aber da drin ist irgendetwas, das sie fressen, das nicht aus Bakterien besteht, dadurch bildet sich dann so eine Menge. Die Bakterien halten sich mit irgendwelchen Fangarmen fest. Ich denke, irgendwie können sie sich da schon fest halten. Die Bakterien bewegen sich zu einem Punkt hin und bleiben dann immer zusammen. Ich denke, es kann eigentlich immer nur eine Bakterie auf dem Nähragar sein, sonst bekommt die obere keine Nährstoffe, also kann eine Kolonie auf dem Nähragar eigentlich nur flächig sein. Die Bakterien in der Mitte einer flächig-

gen Kolonie bekommen ihre Nährstoffe von unten, die können nach unten. Die Bakterien einer Kolonie im Agar müssen sich nach außen fressen können, deswegen ist es ein bisschen komisch. Wenn sich die Bakterien in der Mitte einer Kolonie, die oben auf dem Nähragar ist, von unten ernähren können, dann müssten sich doch eigentlich die Bakterien, die im Agar drin sind und überall Agar haben, auch ernähren und teilen können. Die Bakterien im Nähragar haben genau das gleiche Problem, sie müssen sich in alle Richtungen in den Nähragar rein fressen, um an neue Nährstoffe zu gelangen. Sie können sich genauso viel oder wenig bewegen. Vielleicht sterben die Bakterien in der Mitte einer Kolonie im Nähragar auch einfach ab, Bakterien sind dann nur noch außen“. (Exp 5, Kol 1, Z 320-323, 326-329, 816-826, 844, 845, 1158, 1160, 1167-1169, 1174, 1182, 1196, 1197, 1204, 1205, 1216-1227)

Kristina denkt, dass sich Bakterien durch Teilung vermehren. Sie verfügt über zwei Konzepte zur Bildung von Bakterienkolonien, eins davon bezieht sich auf die Situation im Nähragar, das andere auf Kolonien im Tümpel, aus dem die in den Versuchen verwendete Wasserprobe stammt. Kristina denkt, dass sich Bakterien im Nähragar nicht „verteilen können“, von der Stelle, an der sie sich „vermehrt haben“ nicht „weg kommen“, im Wasser hingegen können Bakterien „sich vermischen“. In Kristinas Vorstellung ist der Nähragar unverzichtbar bei der Darstellung von Bakterienkolonien, weil die sich vermehrenden Bakterien von ihm zusammengehalten und deswegen auch nur als Kolonie sichtbar werden. Mithilfe dieses Konzeptes kann Kristina ihre Erfahrung, dass sie Bakterien lebensweltlich als Kolonien nicht wahrgenommen hat, erklären. Aufgrund ihrer experimentellen Erfahrungen mit der Bakterienkultur entwickelt Kristina ein Konzept, wie es auch im Tümpel zur Bildung von Bakterienkolonien kommen könnte. Während es im Nähragar der Petrischalen gerade die mangelnde bakterielle Beweglichkeit ist, die Bakterien als Kolonien wahrnehmbar macht, verhält es sich im Tümpel ihrer Meinung nach umgekehrt: Dort spielt bakterielle Mobilität die entscheidende Rolle, weil Kristina denkt, dass sich die Bakterien „zu einem Punkt hin“ „bewegen“ und dann „immer zusammen“ „bleiben“. Diesen Punkt denkt Kristina als Nahrungspartikel, um die herum sich Bakterien formieren. Dem Zusammenhalt der Bakterien können Anhänge („Fangarme“) dienen, mit deren Hilfe sie sich festhalten. Eine Bakterienkolonie im Tümpel besteht in Kristinas Vorstellung also aus einem nicht bakteriellen Nahrungskern, an dessen Oberfläche sich Bakterien befestigen. Kristina fasst die Bakterienkolonien im Tümpel nicht als richtige Kolonien auf, weil sie in ihrer Vorstellung Chimären aus einer bakteriellen und einer nicht bakteriellen Komponente darstellen.

In Kristinas Vorstellung hängt die Struktur und Größe einer Bakterienkolonie eng mit der Ernährungsweise der Bakterien zusammen. Weil Bakterien Nahrung fressen, müssen sie in direktem Kontakt zum Nähragar stehen. Kristina denkt, dass Bakterienkolonien nur „flächig“ sein können. In dreidimensionalen Kolonien, die sich auf der Oberfläche des Nähragars befinden, würden die nicht in Kontakt zum Nähragar stehenden Bakterien keine Nahrung bekommen. Für Bakterien von Kolonien, die sich im Nähragar befinden, gilt das Gleiche, sie müssen ebenfalls in Kontakt zum Nähragar stehen, um an ihre Nahrung zu kommen, sie fressen sich in den Nähragar rein. Aus diesem Grund stellt sich Kristina Bakterienkolonien im Nähragar zwar ebenfalls einschichtig aber dreidimensional als Hohlkugeln vor.

Lena: „Pantoffeltierchen zum Beispiel haben draußen ganz kleine Fortsätze, damit können sie sich fortbewegen. Ich nehme an, daran können sie sich auch fest halten. Wenn sich die Bakterien an der Nahrung festhalten können, dann können sie sich auch untereinander festhalten. Oder diese Zellwände hängen zusammen, Zellen sind nicht alle einzeln, sondern hängen auch zusammen. Wie das genau funktioniert, weiß ich nicht, aber die Bakterien haben gemeinsame Zellwände, wenn zwei Zellen nebeneinander sind, dann haben die nicht zwei Zellwände, son-

dern eine. Besonders viele Bakterien bilden sich da, wo besonders viele Nährstoffe sind. Man könnte sagen, an der Stelle, wo sich eine Kolonie befindet, sind besonders viele Nährstoffe, aber eigentlich müsste es im Nähragar überall gleich viel sein. Das heißt, das kann es in der Petrischale nicht sein. Aber wenn sich die Bakterien teilen, dann schwimmen die nicht erst mal hier rüber und bewegen sich dahin, sondern bleiben an dieser einen Stelle. Weil es da genauso viele Nährstoffe gibt, können sie auch da bleiben. In den Petrischalen ist es etwas anderes, wenn sich die Bakterien im Nähragar gar nicht bewegen können. Aber die Bakterien haben keinen Anlass sich zu bewegen, weil es an dieser Stelle Nährstoffe gibt. Wenn die Nährstoffe verbraucht sind, müssen sich die Bakterien weiter bewegen oder sich weiter durchfressen. Ich denke, oben auf dem Nähragar haben die Bakterien mehr Platz, dass sie sich deswegen vielleicht noch öfter teilen als sie es innerhalb des Nähragars tun. Die Bakterien in der Mitte einer Kolonie haben keine Nährstoffe mehr, es entsteht praktisch ein Ring, weil die Bakterien in der Mitte wieder absterben... Wenn die Kolonie wie ein Ball wäre, würden die Bakterien in der Mitte (innen drin) keine Nährstoffe mehr abkriegen, das geht eigentlich nicht. Eine Kolonie ist also nicht dreidimensional. Die Bakterien in der Mitte einer Kolonie bekommen ihre Nährstoffe von unten und oben. Im Tümpelwasser bilden sich Bakterienkolonien um einen Nährstoff rum, wenn etwas ins Wasser gefallen ist. Dann ist es etwas anderes, es bildet sich wahrscheinlich eine Art Ball um die Nahrung herum, dann ist das eine Bakterienkolonie. Aber hier auf dem Nähragar ist es eine Fläche, die Bakterien können sich von unten aus diesem Nähragar ihre Nährstoffe herausholen, auch die Bakterien in der Mitte einer Kolonie auf dem Nähragar, wenn die Kolonie eine Fläche ist. Die Kolonien im Agar können sich nach außen fressen. Aber wir haben festgestellt, dass die Bakterienkolonien nur auf der Oberfläche sind. Wenn sich die äußeren Bakterien einer Kolonie teilen, dann gibt es wieder neue Bakterien und die Kolonie dehnt sich dann weiter aus. Das Problem ist dann nur, dass da dann kein Platz mehr ist, wenn sich die Bakterien in der Mitte einer Kolonie teilen“. (Exp 5, Kol 1, Z 827-829, 833, 834, 849-860, 882-894, 902, 903, 910-915, 942, 943, 945, 954-956, 1155, 1162, 1163, 1165, 1170-1172)

Lena stellt sich vor, dass Bakterien „Fortsätze“ wie „Pantoffeltierchen“ haben, die diesen nicht nur zur Fortbewegung sondern auch zum Aneinanderfesthalten dienen. Lena überträgt wissenschaftsorientierte Vorstellungen von der Struktur der Pantoffeltierchen auf Bakterien und führt diese Vorstellung durch Imagination auf die lebensweltliche Vorstellung zurück, dass sich Bakterien aneinander festhalten. Lena kann aber auch die gesamte Zellwand als dem Zusammenhalt dienende Struktur denken: Bakterien besitzen eine gemeinsame Zellwand, die sie in einer Kolonie zusammenhält. Mit großer Wahrscheinlichkeit überträgt Lena wissenschaftsorientierte Vorstellungen von pflanzlichen Zellen im Gewebeverband auf die Bakterien einer Kolonie. Unterrichtlich lernen Schüler Zellen meist am Beispiel pflanzlicher Präparate (z.B. Zwiebelschalenepidermis) kennen und machen oft auch mikroskopische Erfahrungen damit.

Lena denkt, dass sich „viele Bakterien“ dort „bilden“ wo „besonders viele Nährstoffe sind“. Sie versucht diese Vorstellung zunächst auch auf die Bakterien in ihren Petrischalen zu übertragen. Da sie sich aber vorstellt, die Nährstoffe im Nähragar der Petrischale seien nicht ungleich verteilt, verwirft sie diese Idee zur Erklärung des Verteilungsmusters der Bakterienkolonien in den Petrischalen. Sind die Nährstoffe gleich verteilt, sieht Lena keinen Grund dafür, dass sich Bakterien nach der Teilung von der Stelle bewegen.

Lena stellt sich die bakterielle Ernährung als Fressen vor. Da die Vorstellung von der tierlichen bakteriellen Ernährungsweise einen direkten Kontakt der Bakterien zur Nahrung erforderlich macht, denkt Lena, dass Bakterienkolonien auf dem Nähragar eine einschichtige Fläche bilden. Im Nähragar haben Bakterienkolonien Lenas Meinung nach die Form einer Hohl-

kugel, deren Wandung aus nur einer Lage von Bakterien besteht. Lena denkt Bakterienkolonien im Nähragar als eine Art Hohlkugel, deren Volumen ständig zunimmt, weil ihre äußere Begrenzung aus einer einschichtigen Lage sich in den Nähragar fressender Bakterien besteht. Lena verknüpft die bakterielle Nahrungsaufnahme gedanklich mit einer bakteriellen Bewegung. Die Bakterien einer Kolonie fressen sich in Art eines Schaufelradbaggers in den Nähragar rein, wodurch die Kolonie größer wird. In Lenas Vorstellung wird die ernährungsbedingte Bewegung der äußeren Bakterien einer Kolonie von einer Teilungsaktivität überlagert. Die äußeren Bakterien „teilen“ sich, es gibt „wieder neue Bakterien“, die Kolonie „dehnt sich dann weiter aus“. Da aber bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* ohne *Größer-Werden* mit keinem Zuwachs an bakterieller Zellbiomasse verbunden ist, sollte die an Umfang zunehmende Wandung der Hohlkugel einer Bakterienkolonie vielzelliger und zugleich auch dünner werden. Im Tümpel, also dort, wo die in den Versuchen verwendeten Wasserproben herkommen, haben Bakterienkolonien Lenas Meinung nach eine kugelige kompakte Form („Ball“). Die Bakterien formieren sich im Tümpel um Nahrung herum, aber auch nur in einzelliger Lage um den Nährstoffkern herum, mit dem sie in direktem Kontakt stehen müssen, um fressen zu können.

Lina: „In dem Agar werden die Bakterien vielleicht festgesetzt. Ich hab mir gerade überlegt, dass sich die Bakterien nicht vermehren können, wenn sie festgesetzt sind“. „Im Agar sind die Bakterien auf solchen Haufen, dann können wir sie sehen. Vielleicht können sich die Bakterien im Agar nicht so gut bewegen, wenn die Bakterien sich teilen, kommen die nicht so gut weg. Vielleicht haben die Bakterien wie die Blutzellen solche Teile, so Schlüssel-Schloss-Prinzip mäßig. Nicht unbedingt Antikörper, aber vielleicht funktioniert das auch so. Aber ich weiß nicht, was das den Bakterien bringen sollte, Kolonien zu bilden. Vielleicht können die Bakterien mehr bewirken, wenn sie zusammen bleiben. Nicht direkt Antikörper, vielleicht passen die Bakterien ja Schlüssel-Schloss mäßig ineinander“. (Exp 2, Kol 1, Z 68, 69, 71, 72. Exp 2, Kol 2, Z 220-229, 235-242)

Lina verfügt über mehrere Konzepte den Zusammenhalt von Bakterien in Kolonien betreffend. Einerseits stellt sie sich vor, dass der Nähragar aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften die Bakterien einer Kolonie zusammenhält. Lina hat die experimentelle Erfahrung gemacht, dass der Nähragar nach dem Aufkochen beim Abkühlen von einer flüssigen in eine feste Form übergegangen ist. In dieser Erfahrung gründen ihre Vorstellungen vom festen Nähragar. Der Nähragar stellt in Linas Vorstellung eine mechanische Barriere dar, der die Bakterien an der Ausbreitung hindert und somit auch das Größenwachstum der Bakterienkolonien einschränkt. Lina denkt den Nähragar einerseits als Hemmnis für das Wachstum der Bakterien einer Kolonie, andererseits aber auch als Bedingung für das Sichtbarwerden von Kolonien, weil er die Bakterien zusammenhält. Diese Vorstellung ermöglicht der Lernerin zugleich auch ein Verständnis davon, warum sie Bakterienkolonien wohl im Labor, nicht aber außerhalb des Labors wahrnehmen kann. Lina verfügt über eine weitere Vorstellung den Zusammenhalt von Bakterien in Kolonien betreffend, bei der die mechanischen Eigenschaften des Nähragars keine Rolle spielen. Sie denkt, dass Bakterien aufgrund ihrer Form wie der Schlüssel in das Schloss zueinander passen oder über Moleküle verfügen, die wie der Schlüssel in das Schloss zueinander passen und Bakterien zusammenhalten. Lina überträgt wissenschaftsorientierte Vorstellungen von adhäsiven Molekülen auf Bakterien und führt diese darauf zurück, dass Bakterien aneinanderhaften.

Lina verknüpft ihre Vorstellungen von Bakterienkolonien mit der Frage, welchen Vorteil es für Bakterien haben könnte, Kolonien zu bilden. Sie denkt, dass Bakterien „mehr bewirken können“, wenn sie „zusammenbleiben“. Dabei könnte es sich einerseits um Vorstellungen handeln, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen und die Lina auf Bakterien überträgt.

Jeder Mensch macht die Erfahrung, dass er in einer Gruppe wirkungsvoller sein kann, z.B. bei Mannschaftsspielen, beim Musizieren oder bei der Durchsetzung gemeinsamer Interessen. Andererseits könnte Lina aber auch über bereichsspezifisches Wissen, z.B. von sozial lebenden Insekten, verfügen und die darin gründenden Vorstellungen von der Wirksamkeit von Individuen im Verband auf die Bakterien einer Kolonie übertragen.

Lilli: „Die Bestimmung der Bakterienzahl in der Tümpelwasserprobe ist dann schwierig, weil sich schon mehrere Bakterien herausgebildet haben, die Bakterien spalten (teilen) sich doch, man kann dann die Grundzahl nicht raus finden. Es sind dann nach der Bebrütung der Petrischalen schon mehr Bakterien als am Anfang. Wenn sich die Bakterien teilen, ist das Problem, dass man doch die ursprüngliche Anzahl der Keime in der Wasserprobe wissen will. Wenn die Bakterien sich teilen, sind es doch mehr, es ist nicht die ursprüngliche Zahl. Dann muss man die Hälfte nehmen, aber man weiß nicht, wie oft sie sich geteilt haben“. (Exp 1, Kol 3, Z 177, 178, 182, 184, 186, 189, 190, 192, 194, 195)

Lilli stellt sich Bakterien als vermehrungsfreudig vor. Bakterien „spalten (teilen)“ sich ihrer Meinung nach, werden also mehr, aber nicht größer. Die Vorstellung vermehrungsfreudiger Bakterien hindert Lilli daran, denken zu können, dass die Bestimmung der Bakterienzahl in Wasserproben möglich sei. Da sich die Bakterien im Nähragar der Petrischalen während der Bebrütung vermehren, entspricht ihre Zahl nicht mehr derjenigen in der zu testenden Wasserprobe, weil es mehr Bakterien geworden sind. Da Lilli nicht über die Vorstellung verfügt, dass ein Bakterium Begründer einer Kolonie ist, kann sie nicht denken, dass anhand der Bakterienkolonien auf die Zahl der Bakterien in der Wasserprobe, die sie dem Nähragar beigegeben hat, geschlossen werden kann.

Lisa: „Die äußeren Bakterien einer Kolonie können sich immer weiter entwickeln, die Inneren sterben irgendwann mal ab. Die Inneren kriegen gar keine Nährstoffe mehr, vielleicht können die Bakterien von außen Nährstoffe nach innen weiter reichen. So viele Bakterien sind nicht eine neben der anderen, die sind auch übereinander. Sie können sich nicht zu doll stapeln, weil die Bakterien in der Mitte sonst gar keine Nährstoffe kriegen. Vielleicht ist es so, dass die Bakterien durch diesen Nähragar nicht wegtreiben wie im Wasser, weil dieser Nähragar relativ fest ist, dass sie da nicht einfach weggehen, sondern an dem Ort bleiben. Und wenn sie sich teilen, dann ist die nächste Bakterie genau daneben. Die Bakterien wollen möglichst nah sein oder sie drücken sich nicht gegenseitig weg“. „Wenn da Nähragar ist und Bakterien drin sind, ernähren die sich von dem Nähragar. Irgendwann ist der Nähragar alle, vielleicht fressen sich die Bakterien und Pilze gegenseitig auf, um dann zu überleben“. (Exp 4, Kol 2, Z 347, 349-352, 355-359, 368-371, 375, 376, 378, 380, 382, 633, 634, 681-684. Exp 4, Kol 3, Z 486-489)

Lisa denkt zwar einerseits, dass Bakterien innerhalb einer kompakten, dreidimensionalen Kolonie aufgrund von Nährstoffmangel „irgendwann absterben“, was zu einer dreidimensionalen aber hohlen Koloniestruktur führen würde, kann aber andererseits auch denken, dass die äußeren Bakterien einer Kolonie Nährstoffe an Bakterien im Inneren einer Kolonie „weiterreichen“. Diese Vorstellung ermöglicht es ihr, Bakterienkolonien als kompakte, dreidimensionale Struktur zu denken. Lisa überträgt das Schema *Geber-Gabe-Nehmer* (Gropengießer 2007) auf die äußeren und inneren Bakterien einer Kolonie. Lisa führt die Organisation von Bakterien zu Kolonien auf Eigenschaften des Agars zurück. Sie denkt, dass Bakterien im Nähragar nicht „einfach weggehen (wegtreiben)“ können, sondern „an dem Ort bleiben“, weil der Nähragar „relativ fest“ sei. Lisa geht von ihren Beobachtungen im mikrobiologischen Praktikum aus, der flüssige Nähragar ist nach dem Aufkochen in den Petrischalen beim Abkühlen geliert, also fest geworden. Im Widerspruch zur Vorstellung vom festen, mechanisch

widerständigen Nähragar steht die Vorstellung der Lernerin, dass Kolonien auf ein einziges oder wenige Bakterien zurückgehen, die sich im Nähragar vermehrt haben, was nur möglich ist, wenn der Nähragar keine starre Barriere für das Wachstum der Bakterien darstellt, die Bakterien vom umgebenden Nähragar also nicht „eingemauert“ werden. Da Lisa über die Vorstellung verfügt, dass Bakterien „fressen“ (s. Lisa Kap. 7.4.3), könnte dieser Widerspruch von ihr dahingehend aufgelöst werden, dass sich Bakterien in den Nähragar hineinfressen, Platz schaffen und dadurch eine Vergrößerung ihrer Kolonie ermöglichen. Lisas Äußerung „Wenn da Nähragar ist und Bakterien drin sind, ernähren die sich von dem Nähragar. Irgendwann ist der Nähragar alle, ...“ zielt genau in diese Richtung, sie belegt, dass sich Lisa die bakterielle Ernährung in ihren Petrischalen als ein Verzehren des Nähragars vorstellen kann. Lisa denkt, dass Bakterien Kolonien bilden, weil sie sich „möglichst nah sein wollen“. Sie überträgt das Schema *Person* (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) auf Bakterien.

Luka: „Zur Koloniebildung kommt es dadurch, dass die Bakterien die Nährstoffe haben, die sie aufnehmen und dadurch wachsen und teilen sie sich. Die Geteilten machen das gleiche und dadurch werden es immer mehr. In der Kolonie ist es in der Mitte am engsten, die Zellen sind auf engstem Raum und nach außen hin dehnen sie sich aus, immer ein bisschen heraus.“ „Das Problem besteht darin, dass sich die Bakterien ständig vermehren. Wenn man um drei Uhr anfängt zu zählen und schätzt, es werden eine Million Bakterien sein, dann zählt man auch noch um zehn nach drei, und dann sind es schon fünf Millionen Bakterien. Wenn der Nähragar hart geworden ist, fangen die Bakterien da drin an zu fressen, so lange bis sie sich teilen und mehr werden. Und dann fängt jedes neue Bakterium auch an zu fressen, solange, bis sie sich auch teilen können. Eine Kolonie geht zurück auf die Anfangsbakterie aus dem Tümpel. Da, wo in dem hart gewordenen Nähragar ein Bakterium zu liegen gekommen ist, bildet sich eine Kolonie. Und wenn ich 10 Keime in einem Milliliter Wasser habe, den ich in den Nähragar rein gegeben habe, erwarte ich 10 Kolonien, weil ich davon ausgehe, dass die Bakterien in diesem einen Milliliter verteilt sind und dann kriegen die Bakterien was zu essen, und jeder isst an seinem Platz und teilt sich auch an seinem Platz. Wenn die Bakterien allerdings so viel zu essen kriegen, dass irgendwann der ganze Milliliter voller Bakterien ist, dann sieht man halt nur eine riesige Kolonie“. (Exp 3, Kol 2, Z 147-149, 475, 476. Exp 3, Kol 3, Z 369-372, 375-377, 473, 475-478, 482-497)

Luka stellt sich vor, dass Bakterienkolonien durch bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden* zustande kommen. Bakterien essen Nährstoffe, wachsen und teilen sich („jeder teilt sich auch an seinem Platz“). Die „Geteilten“ teilen sich erneut, dadurch werden es immer mehr Bakterien. Da Luka sich größer und mehr werdende Bakterien ortstreu vorstellt, kommt es an den Stellen im Nähragar, an denen sich ein Bakterium („Anfangsbakterie“) befindet, zur Ausbildung einer Kolonie. Luka stellt sich eine Bakterienkolonie als kompakt und dreidimensional vor, in einer Kolonie ist es seiner Meinung nach „in der Mitte am engsten“, die Bakterien („Zellen“) sind dort auf „engstem Raum“. Nach „außen hin dehnen“ sich die Bakterienkolonien in Lukas Vorstellung aus („immer ein bisschen heraus“), sie werden größer. Aufgrund seiner Erfahrungen mit der Bakterienkultur verfügt Luka über die Vorstellung, dass die sich in der Wachstumsphase einer Kolonie vermehrenden Bakterien nach einer bestimmten Bebrütungszeit, die maximal 24 Stunden betragen kann, wahrgenommen werden können. Luka hält es zunächst nicht für möglich, mit der Gussplatten-Methode, die er im mikrobiologischen Praktikum kennengelernt hat, die Zahl der Bakterien in einer Wasserprobe zu bestimmen. Weil er sich Bakterien als vermehrungsfreudig vorstellt („Das Problem besteht darin, dass sich die Bakterien ständig vermehren“), erhöht sich die Zahl der Bakterien während des Zählens ständig. Im Verlauf des Gesprächs entwickelt der Lerner aber die Vorstellung, dass Bakterien im fest gewordenen Nähragar einzeln liegen, auf Basis dieser Vorstel-

lung ist es Luka möglich, aufwachsende Bakterienkolonien als distinkte Gebilde denken zu können. Dementsprechend erwartet Luka 10 Bakterienkolonien nach der Bebrütung im Nähragar, wenn sich in der dem Nähragar beigemischten Tümpelwasserprobe 10 Bakterien („Keime“) befunden haben. Aufgrund seiner experimentellen Erfahrungen kann sich Luka vorstellen, dass Bakterienkolonien so groß werden können, dass sie zusammenwachsen. Luka denkt das *Größer-Werden* der Bakterienkolonien im Nähragar also als nicht begrenzt.

Maja: „Ich glaube, die Bakterien haben kleine Ärmchen. Wenn sich die Bakterien nach der Teilung nicht untereinander fest halten können, dann halten sie sich an der Nahrung fest. Wenn zwei Bakterien nebeneinander sind, sind beide Bakterien eigenständige Zellen mit Zellwand. Aber vielleicht haben die nur eine Membran und nicht diese feste Zellwand. Da ist was dazwischen, woran sich die Bakterien gut fest halten können. Obwohl ich nicht glaube, dass in unserem Körper irgendwelche Zellen mit Beinchen sind, die die Leber bilden. Nicht an jeder Stelle im Nähragar ist Tümpelwasser, die Bakterien haben wir vermischt. Dann hat sich wahrscheinlich jedes Bakterium kräftig vermehrt und die, die oben auf dem Nähragar waren, sind wahrscheinlich ein Stück weiter gewandert und haben da auch noch mal ihre kleine Bakterienkultur entwickelt und das sieht vielleicht wie eine große Bakterienkultur aus. Man sieht ganz, ganz kleine Kolonien, wenn man in die Petrischalen rein guckt und oben auf dem Nähragar sind größere. Vielleicht konnten sich die Bakterien oben drauf bewegen und es haben sich da nicht nur diese einzelnen Kolonien gebildet, sondern die Bakterien sind weiter gewandert und kleine Kolonien haben ganz nahe nebeneinander eine große Kolonie gebildet. Meine Theorie ist, dass es oben auf dem Agar einfacher für Bakterien ist, sich fortzubewegen und sie deswegen nach oben gehen. Im Nähragar sind Bakterien, die sich vermehren. Wenn an dem Punkt die ganzen Nährstoffe verbraucht sind, können die Bakterien im Nähragar nicht ein paar Millimeter weiter ziehen, weil der Agar geliert ist. Aber an der Oberfläche können sie das und dann gehen sie ein paar Mikrometer (Millimeter) weiter und bilden einen neuen Punkt. Deswegen sind die Punkte oben auf dem Nähragar größer als im Nähragar. Die Kolonie geht nicht weiter, da ist eine Kolonie und einige Bakterien sterben ab, weil sie nichts mehr zu fressen haben. Einige Bakterien gehen ein paar Millimeter weiter und haben da neue Nährstoffe, die sie noch nicht verbraucht haben. Diese Gruppe von Bakterien wird größer, weil diese Bakterien sich weiter vermehren können“. (Exp 5, Kol 1, Z 825, 830, 839, 840, 861-869, 923-938, 1006, 1007, 1009, 1011, 1015, 1016, 1043-1050, 1059, 1061-1064, 1067)

Maja verfügt über mehrere Konzepte zum Zusammenhalt von Bakterien in Kolonien. Sie kann sich vorstellen, dass Bakterien „kleine Ärmchen“ haben, mit denen sie sich „nach der Teilung“ „untereinander oder an der „Nahrung“ „festhalten können“. Wobei Maja auch zu erkennen gibt, dass sie von der Vorstellung, dass sich Zellen untereinander festhalten, nicht sehr überzeugt ist. Andererseits denkt Maja, dass die Bakterien in Kolonien keine „feste Zellwand“ sondern „nur eine Membran“ haben. Offensichtlich assoziiert sie mit einer Membran andere Eigenschaften als mit einer Zellwand, möglicherweise eine gewisse Klebrigkeit. Dass sie dieses Konzept innerhalb der Denkfigur Bakterien als *Behälter* entwickelt, also Bakterien als eigenständige Zellen denkt, belegt Majas Äußerung: „Wenn zwei Bakterien nebeneinander sind, sind beide Bakterien eigenständige Zellen mit Zellwand“. Möglicherweise geht diese Vorstellung auf bereichsspezifisches mikrobiologisches Wissen zurück, das sich Maja unterrichtlich angeeignet hat, wonach es bestimmte Bakterien gibt, die Schleimkapseln ausbilden und aufgrund deren Klebrigkeit aneinander haften können. Maja denkt, dass die Verteilung der Nährstoffe vorgibt, an welcher Stelle sich im Nähragar Bakterienkolonien bilden. Maja hat nach der Bebrütung große und kleine Bakterienkolonien in ihren Petrischalen wahrgenommen. Sie nimmt an, dass sich die großen Kolonien auf dem Nähragar, die kleinen Kolonien hingegen im Nähragar befinden. Sie stellt sich vor, dass, nachdem die Bakterien einer Kolonie die Nährstoffe an einer Stelle verbraucht haben, einige Bakterien absterben,

„weil sie nichts mehr zu fressen haben“. Andere Bakterien, die nicht abgestorben sind „gehen“ ein „paar Millimeter“ weiter zu einer Stelle, an der noch Nährstoffe vorhanden sind. Diese Zusammenkunft von ausgewanderten Bakterien denkt Maja als „Kolonien“, die „größer werden“, weil sich die Bakterien aufgrund der Nährstoffe „weiter vermehren können“. In Majas Vorstellung ist das Muster der Kolonien auf dem Nähragar veränderlich. Die kleinen Kolonien, die Maja im Nähragar ihrer bebrüteten Nährböden beobachtet hat, sind ihrer Meinung nach klein geblieben, weil die Bakterien sich, nachdem die Nährstoffe verbraucht waren, nicht an Standorte begeben konnten, an denen es Nährstoffe gibt, weil sie vom Nähragar daran gehindert werden. Die kleinen Kolonien innerhalb des Nähragars dürfte sich Maja in einer Art von Hungerzustand vorstellen, in dem sich Bakterien nicht vermehren.

Margot: „Wenn wir davon ausgehen, dass es nur ein Bakterium ist, das sich durch das Essen vergrößert hat, nimmt es dann so einen Raum ein. Ich glaube nicht, dass ein Bakterium eine Kolonie gründet. Überall im Wasser sind Bakterien, die sehen noch nicht wie eine Kolonie aus, das sind keine Kolonien. Ich weiß nicht, warum sich Kolonien an einem Punkt und nicht zwei Zentimeter weiter links im Nähragar befinden. Aber, wenn die Bakterien dann alle merken, zwei Bakterien schließen sich zusammen und dann größer sind, gehen sie da hin und haben da Unterkunft, sie bilden dann eine Kolonie, die wir erst mit dem bloßen Augen sehen können. Das sind die zwei Möglichkeiten“. (Exp 7, Kol 1, Z 143-145, 153-158, 160)

Margot denkt, dass sich ein Bakterium „durch das Essen“ so stark vergrößern kann, dass es die Größe einer Bakterienkolonie einnehmen kann. Bakteriellles Wachstum als *Größer-Werden* ohne *Mehr-Werden* führt dazu, dass ein mikroskopisch kleines Bakterium zu einem Gegenstand des Makrokosmos wird. Das Konzept impliziert, dass Bakterien in Abhängigkeit von ihrem Entwicklungsstadium verschiedene Größen aufweisen. Margot überträgt das Schema *Größer-Werden* auf ein Bakterium. Margot verfügt über eine weitere Vorstellung vom Zustandekommen der Kolonien, die sie der oben analysierten Vorstellung gegenüber zu bevorzugen scheint. Sie stellt sich die Bildung einer Kolonie als einen Zusammenschluss von Bakterien vor. Wenn sich zwei Bakterien „zusammenschließen“ und dann „größer sind“, werden sie von anderen Bakterien bemerkt. Diese Bakterien „gehen“ dann zu den beiden bereits Zusammengeschlossenen, um „Unterkunft“ zu „haben“. Dadurch kommen Bakterienkolonien zustande („...die Bakterien bilden dann eine Kolonie“), die man mit bloßem Auge sehen kann. In Margots Konzept wird die Bildung einer Bakterienkolonie als zweiphasiger Prozess dargestellt. Der Erstzusammenschluss zweier Bakterien kann als ein zufälliges Ereignis aufgefasst werden („Ich weiß nicht, warum sich die Kolonien an einem Punkt und nicht zwei Zentimeter weiter links befinden“). Die durch den Erstzusammenschluss, der dem bloßen Auge des Menschen noch verborgen bleibt, ausgelöste Bewegung anderer Bakterien auf die beiden zusammengeschlossenen Bakterien zu, ist nicht zufällig, die Bakterien „bemerken“, dass sich zwei Bakterien „zusammen“ schließen“.

Nina: „Der Kleister hat nur eine bestimmte Kraft, um die Kolonie halten zu können, die Kolonie fällt auseinander und dann bildet sich eine neue Kolonie“. (Exp 1, Kol 2, Z 292, 293, 295)

Nina stellt sich vor, dass die Bakterien einer Kolonie von einer Art „Kleister“ zusammengehalten werden. Sie überträgt lebensweltliche Vorstellungen von Kleben auf Bakterienkolonien. Da der bakterielle Klebstoff Ninas Meinung nach aber nur „eine bestimmte Kraft“ hat, kann eine Kolonie „auseinander“fallen, die Kolonie fragmentiert. Nina überträgt das Schema *Teilen* (s. Winston et al. 1987) auf Bakterienkolonien.

Nourchen: „Vielleicht sind nicht die Bakterien aber die Pflanzen, auf denen sie sitzen, klebrig. Vielleicht haben die Pflanzen einen Film auf der Oberfläche“. (Exp 11, Kol 1, Z 409-423)

Nourchen stellt sich vor, dass nicht die Bakterien, sondern vielmehr „die Pflanzen, auf denen die Bakterien sitzen“, aufgrund eines „Films auf der Oberfläche“ „klebrig“ sind. Bakterien haften nicht aneinander, zur Koloniebildung käme es nur an Oberflächen, an denen Bakterien festgeheftet werden. Nourchen überträgt lebensweltliche Vorstellungen von Kleben auf Bakterien.

Philis: „Zur Koloniebildung kommt es dadurch, dass die Bakterien wachsen und sich wieder teilen. Wenn es kalt ist, können sich die Bakterien in der Kolonie gegenseitig wärmen“. „Wenn man feststellen wollte, wie viel Bakterien in der Tümpelwasserprobe sind, könnte man vielleicht erst mal die Kolonien zählen und vielleicht noch nach Größe der Kolonien unterscheiden. Man müsste es mit Funktion ausrechnen, wie viel Bakterien in der Tümpelwasserprobe sind. Wenn sich zwei Kolonien zusammentun, dann ist es eine größere Kolonie“. (Exp 2, Kol 2, Z 114, 233. Exp 2, Kol 3, Z 168, 171, 175, 189, 202)

Philis denkt, dass es durch bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden* zur Koloniebildung kommt. Bakterien werden größer („wachsen“) und „teilen“ „sich dann wieder“. Philis denkt, dass sich Bakterien „in der Kolonie gegenseitig wärmen“. Es könnte sich dabei um eine Übertragung verkörperter Vorstellungen handeln, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, z.B., dass Menschen in der Kälte zusammenrücken, um sich gegenseitig Wärme zu spenden. Es könnte sich aber auch um eine Übertragung bereichsspezifischen Wissens von sozial lebenden Tierarten (Insekten, Säugetiere) handeln, die im Verband leben und sich Wärme spenden. Philis denkt, dass ein Bakterium eine Kolonie begründet, daher hält sie es auch für möglich, anhand der Zahl der Kolonien, die nach der 24-stündigen Bebrütung im Nähragar zu beobachten sind, auf die Zahl der Bakterien in der Tümpelwasserprobe zu schließen. Aufgrund ihrer experimentellen Erfahrungen mit dem *Größer-Werden* von Bakterienkolonien stellt sich Philis das Wachstum von Bakterienkolonien im Nähragar als unbegrenzt vor. Kolonien können zusammenwachsen („Wenn sich zwei Kolonien zusammentun, dann ist es eine größere Kolonien“), aufgrund dessen würde sie bei der Bestimmung der Bakterienzahl mithilfe des Gussplattenverfahrens auch nach der Größe der Bakterienkolonien unterscheiden, um für größere – also konfluente Kolonien – bei der Auswertung zwei Bakterien zu zählen.

Vieth: „Ich denke, ein Bakterium hat diese Kolonie gegründet. Ja, dann kommen entweder andere Bakterien dazu oder dieses Bakterium vermehrt sich. Ich glaube, dass sich die Bakterien wirklich vermehren. Ich kann mir nicht vorstellen, dass ein Bakterium so viel wächst, dass man es erkennen kann. Wenn hier ein Bakterium ist, dann kommt da noch ein zweites dazu, ein drittes und ein viertes. Irgendwann ist der Punkt so groß, dass man ihn eben mit dem Auge sehen kann, weil es mehr geworden sind“. (Exp 7, Kol 1, Z 59, 62, 175-199).

Vieth verfügt über die Vorstellung, dass ein einziges Bakterium eine Kolonie gründet. Von der Gründungsphase einer Bakterienkolonie unterscheidet Vieth die Phase ihres *Größer-Werdens*. Dieses *Größer-Werden* führt er entweder darauf zurück, dass sich das Gründungsbakterium vermehrt oder darauf, dass „andere Bakterien“ dazu kommen. Bei letzterer Vorstellung ist unklar, wodurch sich das Gründungsbakterium den anderen Bakterien gegenüber auszeichnet, so dass sich die anderen Bakterien auf das Gründungsbakterium zubewegen. Vieth denkt, dass zu einem Bakterium andere („ein zweites, ein drittes, ein viertes“) „hinzukommen“ und die Kolonie („der Punkt“) dann so groß sei, dass sie mit bloßem Auge wahrgenommen werden könne, „weil es mehr geworden sind“. Die Zahl der Bakterien in Kolonien

durch Zusammenkommen kann Vieths` Vorstellung gemäß also sowohl gerade als auch ungerade sein.

7.4.7.1 Strukturierung der Lernervorstellungen

Die Lerner haben in ihrem mikrobiologischen Praktikum die Erfahrung gemacht, dass Bakterien mithilfe mikrobiologischer Methoden zu Kolonien aufgezogen werden können, darin gründet die Vorstellung *Kultivierbare Bakterien*. Die Lernervorstellungen zur Entwicklung von Bakterienkolonien können nach dem Schema *Start-Weg-Ziel* (Lakoff 1987, S.275) strukturiert werden. Das Schema *Start-Weg-Ziel* (engl. source-path-goal) gründet nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Erfahrungen mit unserer Fortbewegung als Veränderung des Aufenthaltsortes. Wir machen uns von einem bestimmten Ort auf und erreichen einen anderen Ort, die Start- und Zielorte unserer Bewegungen werden durch unsere Bewegungsrichtung miteinander verbunden.

Gründung, Wachstum und Struktur von Bakterienkolonien

Die Startphase einer Bakterienkolonie bleibt dem bloßen Auge aufgrund der Vorstellung, dass einzelne Bakterien mikroskopisch klein sind, verborgen. Dies trifft auch auf die Phase ihres *Größer-Werdens* zu, die zu dem Zeitpunkt des Sichtbarwerdens der Kolonien abgeschlossen ist, womit der Endzustand erreicht ist. Die Lerner haben Bakterienkolonien nach der Bebrütung der Nährböden mit bloßem Auge wahrgenommen, sie gehören also der makroskopischen Größenebene biologischer Gegenstände an. Von dieser Vorstellung ausgehend rekonstruieren die Lerner die Phase des *Größer-Werdens* und die Phase der Gründung einer Bakterienkolonie ex post. Zeitlich belaufen sich diese beiden Phasen zusammen auf maximal 24 Stunden. Dabei handelt es sich um die Zeitspanne, in der die Lerner ihre Petrischalen im Brutschrank gehalten haben. Die Startphase beginnt zu dem Zeitpunkt, an dem die Lerner Nähragar und Tümpelwasser in ihren Petrischalen zusammengemischt haben.

Die erfassten Lernervorstellungen unterscheiden sich insbesondere darin, ob eine Kolonie von einem Bakterium oder von mehreren Bakterien begründet wird und darin, wie das Wachstum einzelner Bakterien und das Wachstum einer Kolonie gedanklich verknüpft wird. Die erfassten Lernervorstellungen wurden grafisch veranschaulicht (s. Abb. 7.4):

1. *Kolonie=Bakterium* (Abb. 7.4a): Ein einzelnes, mikroskopisch klein gedachtes Bakterium wächst auf eine Größe heran, in der es mit bloßem Auge wahrgenommen werden kann. Ein einzelnes Bakterium kann sowohl der mikroskopischen als auch der makroskopischen Größenebene angehören. Verkörperte Vorstellungen von biologischem Wachstum als *Größer-Werden* werden auf ein Bakterium übertragen.
2. *Teilen* (Abb. 7.4b): Bakterien teilen sich, werden mehr und als Kolonie sichtbar. Bakterienkolonien bestehen aus vielen Bakterien, weil letztere mehr geworden sind. Lerner übertragen das Schema *Teil-Ganzes* (s. Winston et al. 1987) auf Bakterien und Bakterienkolonien. Werden Bakterien durch Teilung mehr, bleibt das Ganze aber gleich groß, da durch alleiniges Teilen die Zellbiomasse nicht größer wird. Bakterienkolonien bleiben Gegenstände des Mikrokosmos. Aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens gründet das Schema *Teil-Ganzes* in Erfahrungen mit dem eigenen Körper, den wir als Ganzes mit Teilen wahrnehmen (Lakoff 1987, S. 273). In Abhängigkeit davon, welche Bakterien einer Kolonie sich teilen, kann das Grundschema weiter differenziert werden. Teilen sich alle Bakterien einer Kolonie, handelt es sich um ein Bakterium, das sich teilt, die aus dieser Teilung hervorgehenden beiden Bakterien teilen sich

- ihrerseits. Diese Vorstellung impliziert, dass die Individuenzahl einer Bakterienkolonie gerade ist und die Bakterien einer Kolonie gleichaltrig sind, wenn sich die Bakterien synchron teilen. Teilt sich nur ein Bakterium einer Kolonie, sondert ein „Kernbakterium“ durch fortwährende Teilungen Zellen ab, die aber teilungsinaktiv bleiben. Diese Vorstellung impliziert, dass die Individuenzahl einer Bakterienkolonie gerade als auch ungerade sein kann, die Bakterien einer Kolonie sind ungleichaltrig. Das Schema *Peripherie-Zentrum* wird auf Bakterienkolonien übertragen. Das Schema gründet nach Lakoff (1987, S.274) darin, dass wir die inneren Organe unseres Körper als dessen Zentrum und z.B. die Extremitäten oder die Haut als Peripherie wahrnehmen. Dem Zentrum wird eine größere Bedeutung zugebracht als der Peripherie. Das sich teilende Bakterium kann auch als „Mutter“ gedacht werden (s.a. Nina, Lisa Kap. 9.7). Vorstellungen, die in Erfahrungen mit Familie und Geburt gründen, werden auf Bakterien übertragen.
3. *Wachsen und teilen* (Abb. 7.4c): Bakterien werden größer und durch Teilung mehr. Lerner kombinieren die beiden Schemata bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden*. Lerner übertragen das Schema *Teil-Ganzes* (s. Winston et al. 1987) auf Bakterien und Bakterienkolonien. Werden Bakterien durch Teilung mehr und dann größer, wird auch das Ganze größer. Bakterienkolonien können Gegenstände des Makrokosmos werden. Die Vorstellung impliziert, dass die Individuenzahl der Bakterienkolonien gerade ist, die Bakterien einer Kolonie sind alle gleichaltrig, vorausgesetzt, die Bakterien wachsen und teilen sich synchron.
 4. *Versammlung* (Abb. 7.4d): Bakterien versammeln sich zu einer Kolonie. Lerner übertragen das Schema *Teil-Ganzes* (s. Winston et al. 1987) auf Bakterien und Bakterienkolonien. Während ein einzelnes Bakterium aufgrund seiner mikroskopischen Größe nicht mit bloßem Auge wahrgenommen werden kann, resultiert aus der Addition mikroskopischer Bakterien eine Menge, die Gegenstand des Makrokosmos ist. Die Versammlung der Bakterien kann sehr differenziert gedacht werden. Zwei Bakterien treffen sich zufällig, Bakterien, die diesen Zusammenschluss im Umfeld bemerken, bewegen sich auf die beiden Bakterien zu, um Unterkunft zu haben. Bakterien können auch alte Standort im Nähragar aufgeben, wenn dort die Nährstoffe verbraucht sind. Alte Bakterien sterben ab, jüngere aber begeben sich auf Wanderung. Sie sammeln sich an nährstoffreichen Stellen an. Die Migration der Bakterien führt zu einer satellitenartigen Anordnung von ausgegründeten Bakterienkolonien um aufgegebene Standorte herum. In Gewässern können sich Bakterien auf Nahrung zu bewegen, legen sich um diese herum und halten sich daran fest. Bakterienkolonien bestehen aus einem nichtbakteriellen Nahrungskern und einer Ummantelung aus Bakterien. Lerner übertragen Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen zusammen kommender Menschen gründen, auf Bakterien. Auf Attraktoren in seiner Umwelt hat sich jeder Mensch unzählige Male zu bewegt, dabei spielt die Ressource Nahrung eine herausragende Rolle. Zum Essen kommt man zu Tisch zusammen und schart sich um die Schüsseln.

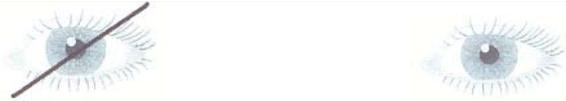
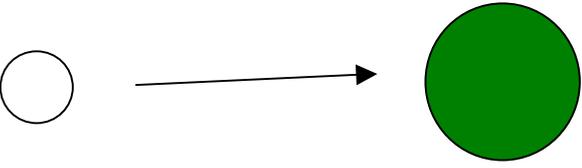
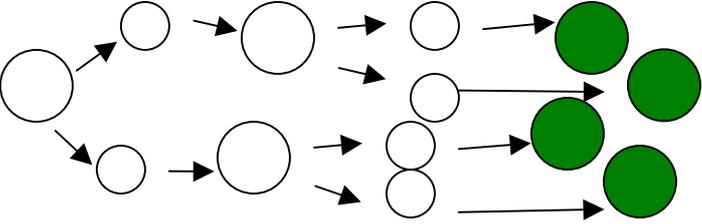
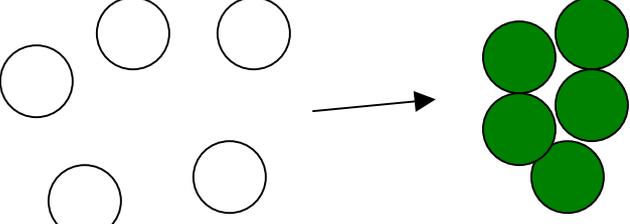
Konzeptbezeichnung	Konzeptinhalt	
(a) <i>Kolonie= Bakterium</i>	Ein Bakterium wächst auf makroskopische Größe heran.	
(b) <i>Teilen</i>	Bakterien vermehren sich durch Teilung und werden als Kolonie wahrnehmbar.	
(c) <i>Wachsen und Teilen</i>	Bakterien werden größer und teilen sich, sie werden als Kolonie wahrnehmbar.	
(d) <i>Versammlung</i>	Bakterien kommen zusammen und werden als Kolonie wahrnehmbar.	

Abb. 7.4 a-e: Veranschaulichung der ermittelten Lernervorstellungen von Bakterienkolonien. Aufgrund der Lernerassagen wurden die Vorstellungen von Bakterienkolonien grafisch rekonstruiert. Bakterien, die mit bloßem Auge wahrgenommen werden können, sind gefüllt dargestellt.

Mehrere Vorstellungen konnten ermittelt werden, in denen Lerner die Wachstumsphase einer Bakterienkolonie genauer beschreiben. Die Vorstellungen vom Wachstum einer Kolonie sind davon geprägt, wie die Nährstoffversorgung einer Kolonie gedacht wird (s. Abb. 7.5).

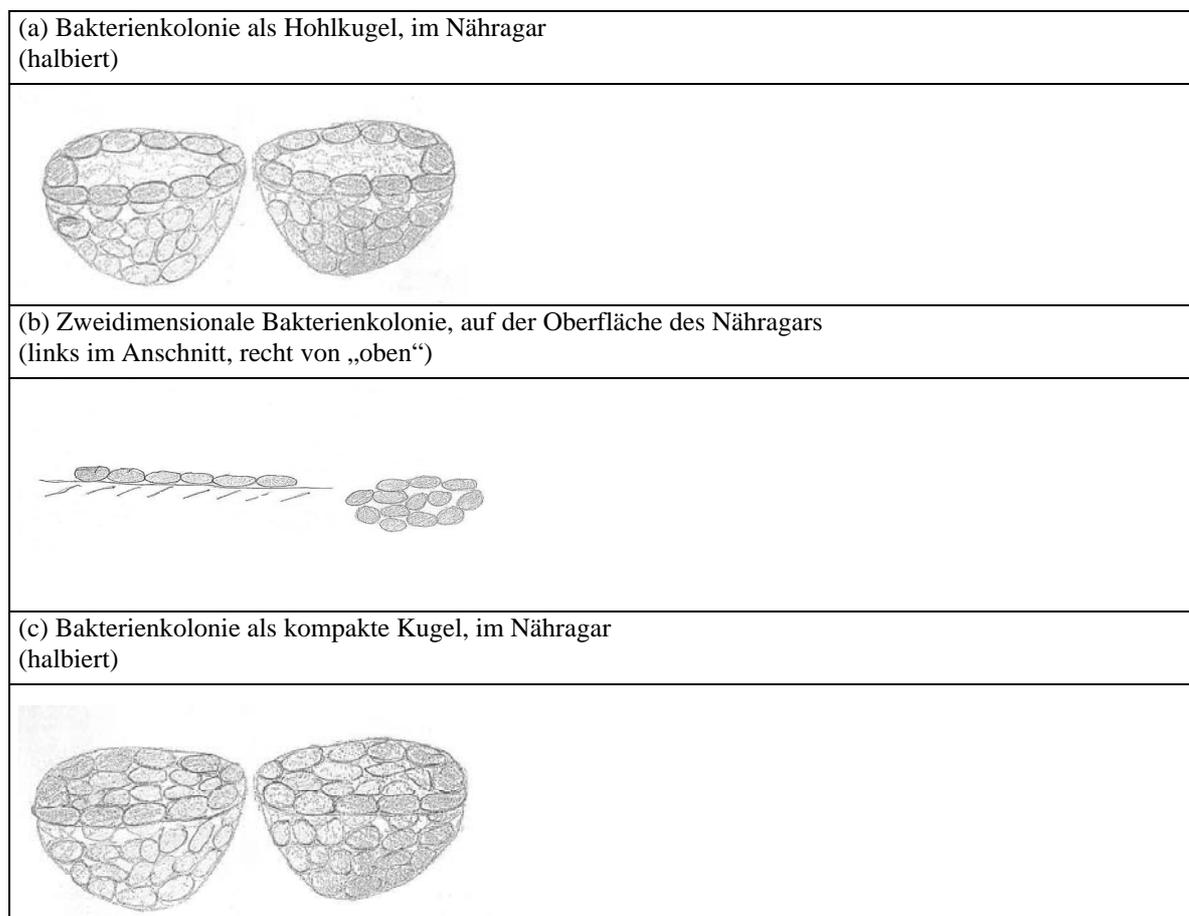


Abb. 7.5 a-c: Veranschaulichung der ermittelten Lernervorstellung von der Struktur der Bakterienkolonien. Aufgrund der Lernaussagen wurden die Strukturvorstellungen grafisch rekonstruiert. Die Schemata (a), (b) repräsentieren Lernervorstellungen, in denen Bakterien in Kontakt zum Nähragar stehen müssen. Im Nähragar befindliche Kolonien werden einschichtig dreidimensional und hohl gedacht (a), auf der Oberfläche des Nähragars einschichtig zweidimensional (b). Können Lerner denken, dass eine Versorgung von Bakterien mit Nährstoffen auch innerhalb von Kolonien möglich ist, können die Kolonien dreidimensional und kompakt vorgestellt werden (c). Die Schemata (a) und (c) zeigen die auf Basis der Lernervorstellungen rekonstruierte Struktur von „halbierten“ Bakterienkolonien. Schema (b) zeigt eine Bakterienkolonie im Querschnitt (links) sowie aus der Vogelperspektive (von „oben“ auf den in Petrischalen befindlichen Nähragar blickend).

Verfügen Lerner über die Vorstellung, dass Bakterien in einem direkten Kontakt zum Nähragar stehen müssen, weil sie essen, wirkt sich dies in Abhängigkeit davon, ob sich Bakterienkolonien innerhalb des Nähragars oder auf seiner Oberfläche befinden, sehr unterschiedlich auf die Struktur einer Kolonie aus. Bei einer im Nähragar befindlichen Kolonie fressen sich die Bakterien in den Nähragar hinein, die im Inneren der Kolonie befindlichen Bakterien sterben wegen Nährstoffmangels ab. Das Hineinfressen der äußeren Bakterien an der Grenzschicht (Kolonie-Nähragar) ist mit einer Größenzunahme der Kolonie verbunden, die Kolonie wird dreidimensional und hohl vorgestellt, ihre Außengrenze besteht aus einer einfachen Lage aus Bakterien (s. Abb. 7.5a). Eine Kolonie auf dem Nähragar wird ebenfalls einschichtig vorgestellt, ist aber zweidimensional, da die Bakterien mit dem Nähragar in Kontakt stehen müssen, um sich zu ernähren (s. Abb. 7.5b). Die Bedeutungszuweisungen des Schemas *Peripherie-Zentrum* werden verkehrt: Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens gründet das Schema *Peripherie-Zentrum* in Erfahrungen mit den inneren Organen unseres Körpers, die als dessen Zentrum vorgestellt werden, wohingegen z.B. die Extremitäten oder die Haut als die Peripherie des Körpers gedacht werden. Nach Lakoff (1987, S. 274) wird dem Zentrum eine größere Bedeutung zugedacht als der Peripherie. Lerner übertragen zwar das Schema *Peripherie-Zentrum* auf Bakterienkolonien, dem Zentrum einer Kolonie kommt aber für deren *Größer-Werden* überhaupt keine Bedeutung mehr zu, weil die Kolonien hohl vorgestellt werden. Aufgrund der Lernervorstellung von der tierlichen bakteriellen Ernährung tragen nur die peripheren Bakterien einer Kolonie zu deren Wachstum bei. Denken Lerner, dass auch die Bakterien im Inneren einer Kolonie mit Nährstoffen versorgt werden können, indem Nährstoffe von den außen liegenden Bakterien einer Kolonie an die im Inneren liegenden weitergereicht werden, kann eine Bakterienkolonie dreidimensional kompakt vorgestellt werden (s. Abb. 7.5c).

Grenzen des Wachstums von Bakterienkolonien

Nährstoffe werden in erster Linie als das Größenwachstum von Bakterienkolonien begrenzend gedacht. Mehrere Lerner stellen sich vor, dass Bakterien Nährstoffe fressen, was als substantielles Zehren des Nähragars vorgestellt werden kann. Sind die Nährstoffe im Nähragar verbraucht, hören die Bakterien einer Kolonie auf zu wachsen und sterben ab. Aber auch der Nähragar selber kann aufgrund seiner Konsistenz als wachstumsbegrenzend gedacht werden. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, dass sich Bakterien im Nähragar nicht bewegen können, sie werden von ihm eingepfercht (*Mutterstädte-Kolonien*). Die Lernervorstellung vom widerständigen Nähragar gründet in experimentellen Erfahrungen: Nach dem Aufkochen des Agar-Nährstoffpulver-Gemisches in Wasser haben die Lerner den flüssigen Nähragar auf 40°C abkühlen lassen und dann in ihren Petrischalen mit Tümpelwasser vermischt. Der Nähragar ist beim weiteren Abkühlen geliert, also fest geworden. Die nach 24-stündiger Bebrütung zu beobachtenden Bakterienkolonien haben ihre Lage im Nähragar auch während der Auswertung der Petrischalen nicht mehr verändert, sie sind vom Nähragar also fixiert. Neben exogenen können auch endogene Gründe das Größenwachstum von Bakterienkolonien begrenzen. Bakterien vermehren sich nach dem Ablauf einer bestimmten Zeitspanne nicht mehr. Die Vorstellung, dass Bakterien irgendwann aufhören sich zu teilen, basiert auf einer Übertragung wissenschaftsorientierter Vorstellungen von der Inkubationszeit auf Bakterien, die auf unterrichtliche Vermittlung im Zusammenhang mit dem Thema „*Infektionskrankheiten*“ zurückgehen dürfte. Das Konzept wird auf Bakterien übertragen und darauf zurückgeführt, dass das Wachstum von Bakterienkolonien begrenzt ist. Aus mikrobiologischer Perspektive weisen

Bakterien im Nähragar keine Inkubationszeit¹⁴ auf, das Konzept zeichnet sich durch seine Bereichsspezifität aus.

Zusammenhalt von Bakterien in Kolonien

Vorstellungen zum Zusammenhalt der Bakterien in Kolonien können danach eingeteilt werden, ob der Zusammenhalt in erster Linie als Eigenschaft der Bakterien (also der bakteriellen Zellwand und ihrer Anhänge) oder als Eigenschaft der bakteriellen Umwelt gedacht wird.

1. Anhänge wie Fangarme oder Geißeln können dem Zusammenhalt von Bakterien in Kolonien dienen. Verkörperte Vorstellungen von Festhalten, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen, werden auf Bakterien übertragen. Die bakterielle Zellwand selber kann als ungleichmäßig strukturiert gedacht werden, aufgrund dieser Eigenschaft können sich Bakterien miteinander verhaken. Diese Vorstellung dürfte in lebensweltlichen Erfahrungen mit Klettverschlüssen gründen. Bakterien können sich aneinander festsaugen, verkörperte Vorstellungen von Saugen werden auf Bakterien übertragen. Bakterien können sich an der Nahrung (Blätter) festbeißen, verkörperte Vorstellungen, die in Erfahrungen des Beißens gründen, werden auf Bakterien übertragen. Bakterienzellen können wie der Schlüssel und das Schloss geformt gedacht werden, sie passen aufgrund dessen ineinander und haften. Wissenschaftsorientierte Vorstellungen von ahäsiven Molekülen werden auf Bakterien übertragen und darauf zurückgeführt, dass Bakterien in Kolonien aneinanderhaften.
2. Bakterien können vom Nähragar zusammengehalten werden, dem die Eigenschaft hart (fest) zugeordnet wird. Die Organisationsform Bakterienkolonie wäre nur unter künstlichen, experimentellen Bedingungen in Petrischalen zu beobachten. Die Nahrung der Bakterien kann als von einem klebrigen Oberflächenfilm überzogen gedacht werden, Bakterien kleben daran fest. Verkörperte Vorstellungen von Kleben, die in Erfahrungen mit klebrigen Substanzen gründen, werden auf Bakterien übertragen.

Warum bilden Bakterien Kolonien

Mehrere Vorstellungen konnten erfasst werden, in denen es um das Motiv geht, warum Bakterien Kolonien bilden. Lerner denken Bakterien metaphorisch als Menschen, sie übertragen das Schema *Person* (Lakoff et Johnson 2000, S. 45) auf Bakterien. Bakterien haften aneinander, um sich nicht zu verteilen, weil sie sich viel zu sehr mögen, weil sie in einer Kolonie mehr erreichen können als allein oder um sich gegenseitig wärmen zu können oder um sicherer zu sein.

¹⁴ In der Medizinischen Mikrobiologie ist mit der Inkubationszeit diejenige Zeitspanne gemeint, die zwischen dem Eintritt von infektiösen Erregern in den Körper und dem Auftreten von Krankheitssymptomen liegt. Allerdings können bestimmte Bakterienarten Krankheitssymptome auslösen, ohne sich im Körper zu vermehren. Madigan et al. (2001) machen darauf aufmerksam, dass das Bakterium der Art *Clostridium botulinum* „nur selten“ „direkt im Körper wächst“, „sich jedoch in schlecht konservierten Lebensmitteln“ „vermehrt“ und dort „Toxine“ „erzeugt“ (S. 882). Bei der Therapie des „Tetanus (Wundstarrkrampf)“ und des „Botulismus“ werden keine Antibiotika eingesetzt (Wiesmann 1982, S. 190, 191), da es zu keiner Vermehrung der Erreger *Clostridium tetani* und *Clostridium botulinum* (Wundbotulismus) im Körper kommt. Wiesmann fasst die beiden Krankheiten als „reine Intoxikation“, also Vergiftung, und nicht als „Infektion“ auf (S. 189, 191).

Wie kommt es zum Muster der Bakterienkolonien in den Petrischalen?

Zur Frage, wie das Muster der Bakterienkolonien im Nähragar der Petrischalen zustande kommt, konnten mehrere Vorstellungen erfasst werden, die sich danach gruppieren lassen, ob die Kolonien auf oder im Nähragar befindlich gedacht werden.

1. Das Muster der Kolonien auf dem Nähragar kann als mit der Zeit veränderlich gedacht werden. Die Bakterien einer Kolonie auf dem Nähragar verbrauchen die Nährstoffe an ihrem Standort. Sind die Nährstoffe verbraucht, löst dies eine Wanderungsbewegung von Bakterien aus. Sie begeben sich an Standorte, an denen Nährstoffe vorhanden sind und gründen dort eine Kolonie.
2. Die Bakterien von Kolonien im Nähragar werden vom Nähragar an der Bewegung gehindert, das Muster der Bakterienkolonien wird statisch vorgestellt. Da es dem Zufall überlassen ist, an welcher Stelle die Bakterien des Tümpelwassers beim Gelieren des Nähragars liegen und Kolonien auf diese Gründerbakterien, die sich im Nähragar vermehren, zurückgehend gedacht werden, wird auch das Muster der Bakterienkolonien als zufällig zustande gekommen vorgestellt.

7.4.7.2 Konzepte zu Bakterienkolonien

- *Kultivierbare Bakterien*
Bakterien können mithilfe mikrobiologischer Methoden zu Kolonien aufgezogen werden
- *Kolonie=Bakterium*
Bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* führt dazu, dass Kolonien mit bloßem Auge wahrnehmbar sind. Es ist ein Bakterium, das an Größe zunimmt.
- *Kolonie=viele Bakterien*
Bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* führt dazu, dass Kolonien mit bloßem Auge wahrnehmbar sind.
- *Teilen*

Die Bakterien einer Kolonie teilen sich. Entweder teilen sich alle Bakterien, nur die Bakterien, die sich an der Grenzfläche zum Nähragar befinden oder nur ein einziges Zentralbakterium in der Mitte der Kolonie. Teilt sich nur ein Bakterium, kann dieses als Mutter gedacht werden. Die Vorstellungen, dass sich nur die Bakterien an der Grenzfläche zum Nähragar teilen können, beruht darauf, dass gedacht wird, Bakterien müssten mit dem Nähragar in direktem Kontakt stehen, um sich ernähren zu können. Dies führt bei Kolonien innerhalb des Nähragars zur einschichtigen Hohlkugelform, auf dem Nähragar zu einschichtig zweidimensionalen Kolonien. Können sich alle Bakterien einer Kolonie teilen, kann sie dreidimensional kompakt vorgestellt werden. Teilt sich nur ein Zentralbakterium im Kern einer Kolonie, kommt deren Größenzunahme zum Stillstand, wenn die Kolonie so mächtig geworden ist, dass Nährstoffe nicht mehr in ihr Zentrum gelangen können. Teilen können sich nicht nur einzelne Bakterien sondern auch ganze Bakterienkolonien: Die Bakterien einer Kolonie werden von einer Art Klebstoff zusammengehalten, werden Kolonien größer und ist die Haltekraft des Klebstoffs überschritten, fragmentieren die Kolonien.

- *Wachsen und teilen*

Bakterielles Wachstum als *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* führt zu mit bloßem Auge wahrnehmbaren Kolonien. Dabei kann ein einziges, aber auch mehrere Bakterien als Koloniegründer gedacht werden, die größer werden und sich teilen. Daran schließen sich abwechselnd weitere Phasen des *Größer-Werdens* und *Mehr-Werdens* an.

- *Versammlung*
Mehrere Bakterien begründen eine Kolonie, indem sie zusammenkommen. Das Zusammenkommen kann zufällig oder nicht zufällig sein. Zufällig können sich zwei Bakterien treffen, dann kommen weitere hinzu. Nicht zufällig sammeln sich Bakterien in nährstoffreichen Gegenden an. Sind die Nährstoffe am Standort verbraucht, löst dies eine Wanderungsbewegung der Bakterien aus. Die migrierenden Bakterien begeben sich an nährstoffreiche Standorte und gründen dort Kolonien. Handelt es sich um Bakterien in Gewässern, formieren sich die Bakterien in einzelliger Lage um Nahrung herum. Entweder beißen sie sich an dem Nahrungskern fest, oder die Nahrung besitzt einen Oberflächenfilm, an dem die Bakterien festgeheftet werden.
- *Zusammenhaftung*
In Kolonien können sich Bakterien mit Anhängen der Zellwand (Geißeln, Fangarme) aneinander festhalten. Die bakteriellen Zellwände können in Art eines Klettverschlusses aneinander haften, Bakterien können eine gemeinsame Zellwand besitzen, die sie zusammenhält, oder Bakterien saugen sich aneinander fest. Bakterien können aber auch eine Form haben, so dass sie wie der Schlüssel in das Schloss zueinanderpassen und aufgrund dessen aneinanderhaften.
- *Bakterien als Person*
Bakterien haben ein Motiv Kolonien zu bilden. Sie mögen sich, wollen sich nah sein oder die Organisation einer Kolonie ist vorteilhaft für die Bakterien, weil sie mehr erreichen, sich gegenseitig wärmen können oder einfach sicherer sind.
- *Mutterstädte-Kolonien*
Lerner können denken, dass Kolonien auf ein Gründerbakterium zurückgehen. Das Gründerbakterium kann als Mutter vorgestellt werden. Bakterien können sich im Nähragar vermehren und bleiben als Kolonien zusammen, weil sie vom Nähragar zusammengehalten werden.

7.5 Zusammenfassung der Befunde aus Interviewphasen

Die in Interviewphasen ermittelten Lernerkonzepte zu Bakterien und bakteriellen Prozessen werden aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens Denkfiguren zugeordnet. Vorangestellt werden einige diagnostische Bemerkungen bezüglich des mikrobiologischen Verständnisses der Lerner.

Bereichsspezifisches Wissen zu den Einheiten Mikrometer und Nanometer des metrischen Systems ist den allermeisten Lernern nicht verfügbar. Die Einheiten Millimeter, Mikrometer und Nanometer können meist nicht ineinander umgerechnet werden. Die Einheiten des metrischen Systems können nicht auf Gegenstände des Mikro- und Submikrokosmos angewendet werden, Größenordnungen zu biologischen Gegenständen des Mikrokosmos und Submikrokosmos haben die allermeisten Lerner aus diesem Grund nicht aufgebaut. Lerner haben Schwierigkeiten, sich unter Bakterien etwas Konkretes vorzustellen. Dies zeigt sich schon daran, dass Zellen zeichnerisch meist als Kreise oder ovale Linien ohne bakterienspezifische Form erfasst werden und die Strukturen meist nicht beschriftet werden. Lerner verfügen zwar über die Vorstellung, dass bakterielles Wachstum Bedingungen braucht, nicht aber über Vorstellungen zur physiologischen Bedeutung der Temperatur oder der Nährstoffe im bakteriellen Energie- und Baustoffwechsel. Die meisten Lerner stellen sich vor, dass Bakterien durch Teilung mehr werden, das Schema *Mehr-Werden* wird meist aber nicht um das Schema *Größer-Werden* ergänzt.

Insgesamt wurden in den Interviewphasen der Vermittlungsexperimente 40 Konzepte der Lerner zu Bakterien und bakteriellen Prozessen erfasst. Mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens konnten 5 Denkfiguren rekonstruiert werden. Die Zuordnungen können der Tabelle 7.2 entnommen werden.

Denkfigur

Zugeordnete Lernerkonzepte

<p>Kleine Behälter</p> <p>Bakterien werden als kleine Behälter und einzellig vorgestellt. Bakterien weisen eine Wandung auf, die eine Unterscheidung nach innen und außen ermöglicht. Innerhalb des Behälters befindet sich meist ein Zellkern, außen kann die Wandung Geißeln oder Antigene aufweisen. Die Wandung des bakteriellen Behälters unterscheidet sich von der anderer Mikroben, daher sind nur Bakterien Ziel des Antibiotikums Penicillin. Bakterien werden einzellig vorgestellt, im bakteriellen Behälter können sich weitere Bakterien befinden. Bakterien können nur mithilfe des Mikroskopes wahrgenommen werden. Bakterien sind unklar klein, spiegelbildlich wird auch die bakterielle Umwelt unklar klein vorgestellt. Bakterien und Moleküle können der gleichen Größenebene angehören. Bakterien können aufgrund ihrer Größe aus Flüssigkeiten herausgefiltert werden. Bakterien können sich Nahrung einverleiben, die Wandung eines Bakteriums kann für Nährstoffe klebrig vorgestellt werden. Bakterien können aktiv oder passiv beweglich gedacht werden. Bakterien werden vermehrungsfreudig vorgestellt, allerdings sind dafür bestimmte Bedingungen erforderlich. Der bakterielle Behälter kann sich teilen und vergrößern. Die Vergrößerung kann auch als Sprossung vorgestellt werden. Vermehren sich Bakterien nur durch Teilung werden sie immer kleiner und hören irgendwann auf sich zu teilen. Von der Erbsubstanz geht der Befehl zur Teilung aus, Erbsubstanz wird von Bakterium zu Bakterium weitergegeben.</p>	<p><i>Bakterien als Behälter</i> <i>Einzellige Bakterien</i> <i>Selektives Penicillin</i> <i>Verschachtelte Bakterien</i> <i>Mikroskopische Bakterien</i> <i>Unklar kleine Bakterien</i> <i>Unklar kleine Bakterienumwelt</i> <i>Filtrierbare Bakterien</i> <i>Einverleiben</i> <i>Klebrige Bakterien</i> <i>Eigenbewegliche Bakterien</i> <i>Mitbewegte Bakterien</i> <i>Vermehrungsfreudige Bakterien</i> <i>Wachstum braucht Bedingungen</i> <i>Behälterteilung</i> <i>Behältervergrößerung</i> <i>Behältersprossung</i> <i>Wachsen und teilen</i> <i>Begrenztes Wachstum</i> <i>Weitergegebene Erbsubstanz</i> <i>Genetische Wachstumskontrolle</i></p>
<p>Kleine Tiere</p> <p>Bakterien werden als kleine Tiere vorgestellt. Sie könne ein Maul aufweisen und essen. Die bakterielle Nahrung kann uniform vorgestellt werden. Mithilfe von Enzymen verdauen Bakterien. Bakterien scheiden auch aus. Bakterien können sich zielgerichtet fortbewegen, ihre Geschwindigkeit wird als gering gedacht. Ein Bakterium weiß wie es auszusehen hat, es kontrolliert seinen strukturellen Zustand. Bakterien haben ein Motiv, Kolonien zu gründen, beispielsweise, weil sie sich mögen, sich nah sein wollen, sich im Verband gegenseitig wärmen oder mehr erreichen können.</p>	<p><i>Tierlein</i> <i>Essende Bakterien</i> <i>Bakterien verdauen</i> <i>Eigenbewegliche Bakterien</i> <i>Zielgerichtete Bakterien</i> <i>Klein=langsam</i> <i>Bakterien als Person</i></p>
<p>Bakterienkolonien</p> <p>Bakterien können zu Kolonien aufgezogen werden. Bakterienkolonien können aus nur einem oder vielen Bakterien bestehen. Kolonien werden sichtbar, weil ein Bakterium auf makroskopische Größe heranwächst, Bakterien durch Teilung mehr werden oder, weil Bakterien sowohl mehr- als auch größer werden. Kolonien können auf ein Gründerbakterium zurückgeführt werden. Bakterien können Kolonien auch durch Versammlung bilden. Bakterien können sich in Kolonien aneinander festhalten, in Petrischalen können die Bakterien einer Kolonie auch vom Nähragar zusammengehalten werden.</p>	<p><i>Kultivierbare Bakterien</i> <i>Kolonie=Bakterium</i> <i>Kolonie=viele Bakterien</i> <i>Teilen</i> <i>Wachsen und teilen</i> <i>Versammlung</i> <i>Zusammenhaftung</i> <i>Mutterstädtokolonien</i></p>
<p>Kampf</p> <p>Penicillin kann als Waffe gedacht werden, die gegen Bakterien gerichtet ist. Penicillin kann auch als Waffe vorgestellt werden, die ein Pilz gegen Bakterien einsetzt. Pilze senden Penicillin aus, um Bakterien abzutöten.</p>	<p><i>Penicillin als Waffe</i> <i>Kämpfende Bakterien und Pilze</i> <i>Pilze als Person</i></p>
<p>Gift</p> <p>Pilze geben Penicillin als eine Art Stoffwechsellüll ab, der auf Bakterien tödlich wirkt.</p>	<p><i>Penicillin als Gift</i></p>

Tab. 7.2: Zuordnung der in Interviewphasen erfassten mikrobiologischen Konzepte der Lerner zu Denkfiguren.

8 Zusammenführung und Verallgemeinerung der erfassten Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen

Im Folgenden wird die Frage beantwortet, über welches Verständnis Lerner von Bakterien und bakteriellen Prozessen in Vermittlungssituationen verfügen können. Dazu werden die Ergebnisse der Reanalysen von Publikationen, die von empirisch erhobenen Lernervorstellungen zu Bakterien berichten (Literaturkonzepte, s. Kap. 5), und die eigenen Befunde aus Interviewphasen (Erhobene Konzepte, s. Kap. 7) herangezogen.

8.1 Methode

Die Lernervorstellungen werden auf Ebene erfasster Konzepte und Denkfiguren miteinander verglichen (s. Tab. 8.1-8.7). Die Reihenfolge orientiert sich daran, in welchen Erfahrungen das Verständnis der Lerner von Bakterien und bakteriellen Prozessen gründet. Unterschieden wird ein

1. Verständnis, das in lebensweltlichen Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen gründet.
2. Metaphorisches Verständnis; durch Imagination werden Vorstellungen aus einem Ursprungsbereich auf Bakterien und bakterielle Prozesse übertragen.
3. Direktes Verständnis, das in mikrobiologischen Erfahrungen gründet.

Verkörperte Vorstellungen gründen nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Erfahrungen mit dem eigenen Körper, die jeder von uns schon von klein auf an macht. Verkörperte Vorstellungen können in den lebensweltlichen Bereich übertragen werden, um Verständnis zu erzielen. Beispielsweise konstruieren wir aus Erfahrungen mit leichten und schweren Gegenständen verkörperte Vorstellung von „leicht“ und „schwer“. Wir nutzen dieses Verständnis direkt, wenn wir z.B. davon reden, dass eine Feder leicht und ein Felsbrocken schwer sei. Aufgrund verkörperter Vorstellungen von „leicht“ und „schwer“ erreichen wir ein metaphorisches Verständnis von Phänomenen, die nicht direkt zugänglich sind. Die verkörperten Vorstellungen werden dabei durch Imagination von einem Ursprungsbereich in einen Zielbereich übertragen. Der Zielbereich kann lebensweltlich oder wissenschaftlich sein. Beispielsweise sagen wir, eine Person „nehme es leicht oder schwer“ oder wir reden davon, dass wir „erleichtert“ seien, nachdem wir eine „schwere“ Prüfung bestanden haben. Immunbiologen unterscheiden bei Antikörpern nach einer „schweren“ und einer „leichten Kette“.

Mit „*wissenschaftsorientierten Vorstellungen*“ sind solche mentalen Konstrukte gemeint, die sowohl in fachwissenschaftlichen als auch in lebensweltlichen Erfahrungen gründen. Es wird nach wissenschaftsorientierten Vorstellungen, die in nichtmikrobiologischen Erfahrungen gründen – welche den größten Teil ausmachen – und nach wissenschaftsorientierten Vorstellungen, die in mikrobiologischen Erfahrungen gründen, differenziert:

1. Stellen sich Lerner Zellen metaphorisch als *Behälter* vor, übertragen sie aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens das Schema *Behälter* (Lakoff 1987, S. 272) durch Imagination auf Zellen. Übertragen Lerner fachwissenschaftliche nicht-mikrobiologische Vorstellungen von eukaryotischen Zellen durch Imagination auf

Bakterien, wird dies darauf zurückgeführt, dass Lerner Bakterien als *Behälter* vorstellen.

2. Machen Lerner die mikrobiologische Erfahrung, dass Bakterien von Flüssigkeiten mithilfe eines bakteriendichten Filters abgetrennt werden können, können sie die Vorstellung *Filtrierbare Bakterien* entwickeln. Dies wird aus Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens darauf zurückgeführt, dass Lerner das Schema *Teil-Ganzes* (Lakoff 1987, S. 273) durch Imagination auf die bakterienhaltige Flüssigkeit übertragen: Teile können vom Ganzen abgetrennt werden. Oder: Verfügen Lerner über die mikrobiologische Vorstellung *Mikroskopische Bakterien* und stellen sich Bakterien klein vor, wird dies darauf zurückgeführt, dass Bakterien nicht mit bloßem Auge wahrgenommen werden können.

Die Datenquellen der Konzepte können anhand der Signaturen aufgefunden werden. Beispielsweise kann das erhobene Konzept *Bakterien als eukaryotische Zellen* (Signatur: VE: 2L, s. Tab. 8.1) in Vermittlungsexperiment 2, bei der Lernerin Lina erfasst werden. Das Literaturkonzept *Uniforme Bakterien* (Signatur: 10, s. Tab. 8.1) kann anhand der Literaturliste in Kap. 5.3 „Die analysierten Veröffentlichungen“ Hilge 1999 zugeordnet werden.

8.2 Verständnis, das in lebensweltlichen Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen gründet

Zu Bakterien konnten bei den Befragungen der Lerner keine Vorstellungen erfasst werden, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Bakterien gründen. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Befunden aus der Literatur. Mikrobiologische Phänomene sind zwar lebensweltlich allgegenwärtig, z.B. als Joghurt, als bakteriell verursachte Krankheiten oder als Kahmhäute auf abgestandenem Wasser. Eine Beteiligung von Bakterien an diesen Phänomenen kann aufgrund der geringen bakteriellen Größe nicht wahrgenommen werden, Bakterien liegen außerhalb der lebensweltlich erfahrbaren Welt. Aus diesem Grund sind lebensweltliche mikrobiologische Phänomene auf Bakterien bezogen nicht vorstellungsbildend.

8.3 Metaphorisches Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen

Lerner verfügen über keine lebensweltlichen Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen. Die Analysen der Literaturkonzepte zeigen, dass Lernern in der Regel auch wenig fachwissenschaftliche mikrobiologische Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen gemacht haben. Im Unterschied dazu haben die Lerner, die im Rahmen dieser Studie befragt wurden, in ihrem mikrobiologischen Praktikum experimentelle Erfahrungen mit der Bakterienkultur gemacht. An dieser Stelle geht es vor diesem unterschiedlichen Erfahrungshintergrund der beiden Gruppen um Gemeinsamkeiten und Besonderheiten des Verständnisses von Bakterien und bakteriellen Prozessen.

8.3.1 Verständnis, das in wissenschaftsorientierten nichtmikrobiologischen Erfahrungen gründet

Bakterien als Behälter

Lerner beider Gruppen können Bakterien metaphorisch als *Behälter* denken. Verkörperte Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Gefäßen verschiedenster Art gründen,

werden auf Bakterien übertragen. Die Vorstellung von Bakterien als Behälter erleichtert ein Verständnis bakterieller Funktionen und Prozesse.

Gemeinsamkeiten

Bakterien besitzen eine Wandung, die einen Innenraum und einen Außenraum voneinander trennt. Der Behälterinnenraum kann mit verschiedenen Komponenten ausgestattet werden, dazu gehört meist ein Zellkern, Bakterien werden metaphorisch eukaryotischen Zellen ähnlich vorgestellt. Bakterien vermehren sich durch Teilung. Die bakterielle Ernährung kann metaphorisch als Phagozytose gedacht werden, Bakterien verleiben sich wie Phagozyten Nahrung ein. Bakterielle Ernährung wird als Seitenwechsel von Nährstoffen vorgestellt. In umgekehrter Richtung können Bakterien Stoffe abgeben, die bakterielle Wandung ist für bestimmte Stoffe durchlässig. Die Außenfläche des bakteriellen Behälters wird mit Anhängen (z.B. Geißeln, Flimmerhärchen, Flossen, Härchen) ausgestattet vorgestellt, die der Fortbewegung oder dem Einanderfesthalten dienen.

Besonderheiten

Erhobene Konzepte: Die Wandung eines Bakteriums wird klebrig vorgestellt, sie kann Rezeptoren aufweisen, an die Nährstoffe nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip binden (*Klebrige Bakterien*). Beim bakteriellen Wachstum wird die Behälterwandung größer (*Behältervergrößerung*). Ein Bakterium kann Bakterien wie Zellen der Backhefe *Saccaromyces cerevisiae* auch abschnüren (*Behältersprossung*). Teilen sich Bakterien (*Behälterteilung*) ohne an Größe zuzunehmen werden sie immer kleiner. Ist eine minimale Größe erreicht, stellen sie ihre Teilungsaktivitäten ein (*Begrenztes Wachstum*). Bakterien können aber auch größer und mehr werden, sie wachsen und teilen sich (*Wachsen und teilen*). Genetisches Material wird von Bakterium zu Bakterium weitergegeben (*Weitergegebene Erbsubstanz*). Von der Erbsubstanz kann der Befehl zum bakteriellen Wachstum ausgehen (*Genetische Wachstumskontrolle*). In einem Bakterium können sich weitere Bakterien befinden (*Verschachtelte Bakterien*), die Struktur einer bakteriellen Zelle wird enkaptisch gedacht.

Literaturkonzepte: Lerner denken Bakterien als kleine einfache Behälter. Bakterien weisen alle die gleiche Struktur auf (*Uniforme Bakterien*). Lerner denken den Energiestoffwechsel von Bakterien einfach (*Einfacher Energiestoffwechsel*). Bakterien bringen nur einfachste Stoffwechselprodukte hervor (*Minimaler Stoffwechsel*).

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Bakterien als Behälter</i>	<i>Bakterien als eukaryotische Zellen</i>	VE: 2L, 4M, 5L	<i>Bakterien als eukaryotische Zellen</i>	2, 10, 172, 10, 17
	<i>Verschachtelte Bakterien</i>	VE: 4L	<i>Uniforme Bakterien</i>	10
	<i>Anhänge</i>	VE: 1L, 2JL, 4M	<i>Anhänge</i>	10
	<i>Behältervergrößerung</i>	VE: 3L, 4L, 6G, 9AR		
	<i>Behälterteilung</i>	VE: 3L, 4L, 5M, 6AGT		
	<i>Behälter Sprossung</i>	VE: 6G		
	<i>Begrenztes Wachstum</i>	VE: 6A		
	<i>Wachsen und teilen</i>	VE: 2P, 3L, 6G		
	<i>Einverleiben</i>	VE: 12M	<i>Einverleiben</i>	10
	<i>Klebrige Bakterien</i>	VE: 4L	<i>Einfacher Energiestoffwechsel</i>	10
			<i>Minimaler Stoffwechsel</i>	10
	<i>Weitergegebene Erbsubstanz</i>	VE: 6T		
	<i>Genetische Wachstumskontrolle</i>	VE: 6AG		

Tab. 8.1: Zusammenfassung der innerhalb der Denkfigur *Bakterien als Behälter* erfassten Konzepte (VE=Vermittlungsexperiment)

Bakterien als kleine Tiere

Lerner beider Gruppen können sich Bakterien metaphorisch als Tiere vorstellen. Bakterien werden in den biologischen Funktionskreisen Verhalten, Fortbewegung und Ernährung tierlich gedacht.

Gemeinsamkeiten

Bakterielle Strukturen und Funktionen werden von Lernern beider Gruppen unter Rückgriff auf das Schema *Person* verstanden (zum Konzept der Personifizierung, das in dieser Arbeit

verwendet wird, s. Kap 4.6.6). Es hängt vom individuellen Erfahrungshintergrund eines Lerners ab, welche bakteriellen Prozesse er personifiziert. Lerner können z.B. denken, dass ein Bakterium weiß, wie es auszusehen hat, es kontrolliert seine Struktur und hat die Intention, diese nötigenfalls auch zu korrigieren. Bakterien bilden Kolonien, weil sie sich mögen, nah sein wollen, sich gegenseitig wärmen oder sicherer sind. Auch einzelne Strukturen einer Zelle können personifiziert werden: Eine Zellmembran beispielsweise weiß, was gut für die Zelle ist, und lässt deswegen nur bestimmte Stoffe in die Zelle hinein. Bakterien wollen sich vermehren, wenn sie sich wohl fühlen. Lerner beider Gruppen können sich vorstellen, dass sich Bakterien aktiv und zielgerichtet bestimmten Objekten ihrer Umgebung (Nahrungspartikeln, anderen Bakterien) nähern können. Bakterien verfügen über Muskeln und Fühler (Fühlermoleküle). Lerner können Bakterien ein Maul zudenken, Nahrung wird von Bakterien verschluckt, in einer Art Magen (der Säure enthalten kann) verdaut, Bakterien scheiden auch aus. Bakterielle Nahrung wird wie tierliche Nahrung gedacht, Bakterien müssen wie Tiere in Kontakt zur Nahrung kommen, um zu essen. Verdauung wird als mechanischer Prozess der Zerkleinerung (Kauen) gedacht. Die Einverleibung von Nahrung stellt für Lerner eine hinreichende Bedingung für biologisches Wachstum dar, Wachstum bedarf dann keiner weiteren Erklärung. Bakterien können auch Enzyme aufweisen, die so gut wie ausschließlich nährstoffabbauende Wirkung haben. Enzyme können von Bakterien auch abgegeben werden. Unterrichtlich lernen Schüler Enzyme meist im Zusammenhang mit der menschlichen Verdauung kennen, sie werden so gut wie ausschließlich als abbauende, zersetzende Wirkstoffe gedacht. Lerner übertragen ihre Vorstellungen von Verdauungsenzymen auf Bakterien (*Bakterien verdauen*).

Besonderheiten

Erhobene Konzepte: Die bakterielle Fortbewegungsgeschwindigkeit wird als gering vorgestellt (*Klein=langsam*).

Literaturkonzept: Bakterien werden strukturell einfacher als kleine Tiere gedacht (*Einfachere Struktur*). Bakterien wird eine zielgerichtete Fortbewegung aufgrund mangelnder Intelligenz abgesprochen (*Eigenbewegliche Bakterien*), interne Faktoren (Instinkt) führen sie an geeignete Stellen.

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Bakterien als kleine Tiere</i>	<i>Tierlein</i>	VE: 2J, 4KM	<i>Tierlein</i>	9, 10, 12, 13, 15, 17
			<i>Einfachere Struktur</i>	10
	<i>Bakterien als Person</i>	VE: 2LP, 4KL, 6G	<i>Bakterien als Person</i>	10, 13
	<i>Zielgerichtete Bakterien</i>	VE: 5LM, 7M, 12H	<i>Zielgerichtete Bakterien</i>	10
	<i>Klein=langsam</i>	VE: 12 AH		
	<i>Essende Bakterien</i>	VE: 1C, 3DL, 4KLM, 5KM, 12M	<i>Essende Bakterien</i>	10, 12, 13
	<i>Uniforme Bakteriennahrung</i>	VE: 3D, 7M, 5M, 4K	<i>Bakterien benötigen Nahrung</i>	2, 5, 9, 10, 17
<i>Bakterien als Pflanzen</i>	<i>Bakterien verdauen</i>	VE: 1L, 4K, 5M	<i>Bakterien verdauen</i>	10, 17
			<i>Sessile Bakterien</i>	10
			<i>Bewegte Bakterien</i>	10
			<i>Antibiotika als Herbizide</i>	17

Tab. 8.2: Zusammenfassung der innerhalb der Denkfigur *Bakterien als kleine Tiere* erfassten Konzepte (VE=Vermittlungsexperiment)

Unbelebte Bakterien

In der Literatur wird davon berichtet, dass Kinder aber auch ältere Schüler über Vorstellungen verfügen, wonach Keime mit Dreck assoziiert werden oder Bakterien aus anorganischem Material aufgebaut werden (*Schmuddel*). Es wird ein metaphorisches Verständnis von Bakterien verwendet, das durch Übertragung verkörperter Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Verschmutzen gründen, imaginativ erreicht wird. Die gedanklichen Verknüpfungen zwischen Dreck und Keimen dürften auf im Rahmen einer Reinlichkeits- und Hygieneerziehung vermittelte Vorstellungen zurückgehen. Bakterien können sich aus Stoffen neu zusammensetzen (*Zusammengesetzte Bakterien*).

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
Unbelebte Bakterien			Schmuddel	10, 13
			Zusammengesetzte Bak- terien	17

Tab. 8.3: Zusammenfassung der innerhalb der Denkfigur *Unbelebte Bakterien* erfassten Konzepte (VE=Vermittlungsexperiment)

Bakterienkolonien

Gemeinsamkeiten

Lerner beider Gruppen verfügen über Vorstellungen von Bakterienkolonien. Bakterienkolonien können gegründet und vergrößert werden, indem Bakterien sich versammeln. Allerdings denken die vom Autor befragten Lerner das Zusammenkommen differenzierter: Bakterien können zufällig oder nicht zufällig zusammenkommen. Zufällig können sich zwei Bakterien treffen, dann kommen weitere hinzu, weil sie den Zusammenschluss bemerken und dort z.B. Unterkunft begehren. Nicht zufällig sammeln sich Bakterien in nährstoffreichen Gegenden des Nähragars an. Sind die Nährstoffe verbraucht, migrieren die Bakterien und sammeln sich an nährstoffreichen Standorten an. Handelt es sich um Bakterien in Gewässern, formieren sie sich in einzelliger Lage um Nahrung herum. Bakterienkolonien metaphorisch als Versammlung von Bakterien zu verstehen, beruht auf einer Übertragung des Schemas *Start-Weg-Ziel* (Lakoff 1987, S. 275) auf Bakterien. Lerner beider Gruppen können sich vorstellen, dass Bakterien aneinander haften. Während die Zusammenhaftung von Bakterien in den Literaturkonzepten unspezifisch gedacht werden, kann sie in den erhobenen Konzepten sehr differenziert gedacht werden. Bakterien können sich aktiv mithilfe von Geißeln bzw. Fangarmen festhalten, aneinander festsaugen oder passiv aneinanderhaften, wobei die bakteriellen Zellwände in Art eines Klettverschlusses zusammengehalten werden. Die Wandung der Bakterien kann aber auch klebrig gedacht werden.

Besonderheiten

Erhobene Konzepte: Lerner können sich vorstellen, dass Bakterienkolonien wachsen und im Nähragar sichtbar werden, indem Bakterien mehr werden (*Kolonie=viele Bakterien*). Bakterien können durch Teilung mehr werden, Lerner übertragen das Schema *Mehr-Werden* auf Bakterien. Das *Mehr-Werden* der Bakterien in Kolonien kann sehr differenziert gedacht werden: Entweder teilen sich alle Bakterien einer Kolonie, oder nur die Bakterien, die sich an der Grenzfläche zum Nähragar befinden (und sich essend ernähren können) oder nur ein einziges Bakterium. Ein sich teilendes Bakterium kann auch als Mutter gedacht werden. Ein einziges Bakterium kann so groß werden, dass es mit bloßem Auge wahrgenommen werden kann (*Kolonie=Bakterium*). Das Sichtbarwerden von Bakterienkolonien kann von einigen Lernern auch auf das *Größer-Werden* in Kombination mit dem *Mehr-Werden* zurückgeführt werden (*Wachsen und teilen*). Dass Lerner verkörperte Vorstellungen von biologischem Wachstum als *Mehr-Werden* durch Teilung und *Größer-Werden* zugleich auf Bakterien projizieren, dürfte darauf zurückzuführen sein, dass sich diese Lerner nicht nur ein einzelnes Bakterium als Gegenstand der mikroskopischen, sondern aufgrund ihrer experimentellen Erfahrungen mit der Bakterienkultur auch viele Bakterien als Kolonie und somit Gegenstand der makroskopischen Größenebene vorstellen und die Prozesse beider Ebenen gedanklich miteinander verknüpfen können. Lerner können sich vorstellen, dass Bakterienkolonien auf ein Gründerbakterium zurückgehen, das sich vermehrt hat (*Mutterstädte-Kolonien*). Die Bakterien werden vom Nähragar an der Bewegung gehindert und bleiben als Kolonien

zusammen. Bakterien können eine gemeinsame Zellwand aufweisen, die sie zusammenhält (*Zusammenhaftung*). Lerner können den Mechanismus des Aneinanderhaftens von Bakterien in Kolonien nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip denken (*Zusammenhaftung*).

Literaturkonzepte: Lerner können sich Bakterienkolonien wie Pflanzen wachsend vorstellen (*Pflanzliches Koloniewachstum*). Sie stellen sich Bakterienkolonien als Gegenstände des Makrokosmos vor, die makroskopische Größenebene wird aber gedanklich nicht mit der mikroskopischen Größenebene verknüpft: Lerner können sich das *Größer-Werden* von Bakterienkolonien vorstellen, kombinieren diese Vorstellung aber nicht mit der Vorstellung des *Größer-Werdens* der Bakterien der Kolonie. Bakterien können auch zusammenkommen und Kolonien bilden, die wie Pilze aussehen (*Pilzliche Bakterienkolonien*). Pflanzen und Pilze werden lebensweltlich als sessile makroskopische Lebewesen wahrgenommen, durch Imagination können Lerner Bakterien metaphorisch als stillstehend vorstellen (*Sessile Bakterien*).

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Bakterienkolonien</i>	<i>Kolonie=ein Bakterium</i>	VE: 7M		
	<i>Kolonie=viele Bakterien</i>	VE: 4L, 5M, 7V		
	<i>Teilen</i>	VE: 1CL, 2L, 3B, 5KLM, 7A, 9A		
	<i>Wachsen und teilen</i>	VE: 2P, 3L		
	<i>Versammlung</i>	VE: 7MV	<i>Versammlung</i>	10
	<i>Mutterstädte-Kolonien</i>	VE: 3L, 4L, 5KM, 7A		
	<i>Zusammenhaftung</i>	VE: 1N, 2L, 4K, 5KLM, 11CKN	<i>Unspezifisch haftende Bakterien</i>	10
		<i>Pflanzliches Koloniewachstum</i>	10	
		<i>Pilzliche Bakterienkolonien</i>	10	

Tab. 8.4: Zusammenfassung der innerhalb der Denkfigur *Bakterienkolonien* erfassten Konzepte (VE=Vermittlungsexperiment)

Kampf

Gemeinsamkeiten

Lerner beider Gruppen können Antibiotika als kämpfend denken (zur Kampf-Metapher, s. Kap. 7.4.6.1).

Besonderheiten

Die individuellen Lernervorstellungen von kämpfenden Antibiotika unterschieden sich allerdings beim Vergleich beider Gruppen: Die Vorstellungen der vom Autor befragten Lerner sind erfahrungsgesättigt, die Lerner verknüpfen ihre Vorstellungen von kämpfenden Antibiotika mit Vorstellungen, die in ihren experimentellen Erfahrungen gründen. Die erfassten Lernervorstellungen, in denen Antibiotika metaphorisch als kämpfend verstanden werden, indem gesagt wird, das Antibiotikum tötet, vernichtet, bekämpft, zerstört oder wehrt ab, lassen sich nach dem von Lakoff (1987) formulierten Schema *Start-Weg-Ziel* strukturieren:

Erhobene Konzepte: Der Kampf findet in Petrischalen statt. Einige Lerner kennen Antibiotika als Medikament (*Penicillin als Waffe*), sie können sich den menschlichen Körper als Kampfarena vorstellen. Der Kampf zwischen Pilzen und Bakterien (*Kämpfende Bakterien und Pilze*) beginnt nach dem Zusammenmischen von Nähragar, Tümpelwasser und Penicillin. Der Verlauf des Kampfgeschehens wird zeitlich auf maximal 24 Stunden begrenzt, es handelt sich um den Zeitraum, in dem die Petrischalen im Brutschrank gehalten wurden. Das Ende des Kampfes wird als Sieg des Antibiotikums über die Bakterien gedacht und wird daran erkannt, dass in der Petrischale mit Penicillin – im Gegensatz zu Petrischalen ohne Antibiotikum – keine Bakterienkolonien beobachtet werden können. Bevor Lerner ihre bebrüteten penicillinhaltigen Nährböden in Augenschein nehmen konnten, haben sie Penicillin als gegen Bakterien kämpfendes Medikament vorgestellt. Nach Auswertung der Versuchsansätze stellen sich die Lerner vor, dass Penicillin als Waffe von einem Pilz eingesetzt wird, der sich im Kampf mit Bakterien befindet. Die Vorstellung gründet in der experimentellen Erfahrung, dass allein in den penicillinhaltigen Nährböden nach deren Bebrütung Schimmelpilze zu beobachten waren. Die Freisetzung des Penicillins durch einen Pilz kann finalisiert werden, ein Pilz verwendet Penicillin, um Bakterien zu töten (*Pilze als Person*).

Literaturkonzepte: Als Kampfarena wird der menschlichen Körper, in dem sich Bakterien befinden, vorgestellt. Antibiotika kämpfen mit Bakterien oder Viren (*Kämpfende Antibiotika*). Die Lerner verfügen über keine präzisen Vorstellungen zum Beginn und zur Dauer des Kampfes. Das Ende des Kampfes dürften die Befragten sich als Sieg des Antibiotikums vorstellen, der an der Wiedergenesung des Erkrankten zu erkennen ist.

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Kampf</i>	<i>Kämpfende Bakterien und Pilze</i>	VE: 1LC, 2L, 4KM	<i>Kämpfende Antibiotika</i>	9, 17
	<i>Penicillin als Waffe</i>	VE: 1CL, 2P, 4KLM		
	<i>Pilze als Person</i>	VE: 1N		

Tab. 8.5: Zusammenfassung der innerhalb der Denkfigur *Kampf* erfassten Konzepte

(VE=Vermittlungsexperiment)

Gift

Gemeinsamkeiten

Lerner beider Gruppen können Antibiotika als Gift denken.

Besonderheiten

Erhobene Konzepte: Vom Autor befragte Lerner, die das Antibiotikum Penicillin in ihren Versuchen eingesetzt haben, können Penicillin als pilzliches Gift denken (*Penicillin als Gift*).

Literaturkonzepte: Lerner können Antibiotika als Herbizide vorstellen (*Antibiotika als Herbizide*). Antibiotika werden metaphorisch als Unkrautvernichtungsmittel gedacht.

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Gift</i>	<i>Penicillin als Gift</i>	VE: 2P	<i>Antibiotika als Herbizide</i>	17

Tab. 8.6: Zusammenfassung der innerhalb der Denkfigur *Gift* erfassten Konzepte

(VE=Vermittlungsexperiment)

8.3.2 Verständnis, das in wissenschaftsorientierten mikrobiologischen Erfahrungen gründet

Lerner beider Gruppen können über ein Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen verfügen, das in unterrichtlicher Vermittlung oder medialen Erfahrungen mit mikrobiologischen Gegenständen gründet. Die im Rahmen der eigenen Untersuchungen befragten Lerner verfügten vor ihrem mikroskopischen Praktikum über keine mikroskopischen oder experimentellen Erfahrungen mit Bakterien. Dieser Befund trifft augenscheinlich auch auf die meisten Lerner zu, von deren Vorstellungen in der Literatur berichtet wird. Allerdings muss bei dieser Aussage der erhobene Sachverhalt beachtet werden, dass die unterrichtlichen Voraussetzungen der Lerner in den meisten Publikationen nur unzureichend erfasst werden.

Bakterien werden als so klein vorgestellt, dass sie nicht mit bloßem Auge wohl aber mithilfe des Mikroskopes wahrgenommen werden können (*Mikroskopische Bakterien*). Die Größe von Zellen bleibt aufgrund nicht verfügbarer Größenordnungen zu Gegenständen der mikroskopischen Größenebene unklar (*Unklar kleine Bakterien*). Lerner beider Gruppen können bereichsspezifisches Wissen von den Einheiten des metrischen Systems nicht auf mikroskopische Gegenstände anwenden. Lerner beider Gruppen unterscheiden nicht nach Gegenständen, die der mikroskopischen und der submikroskopischen Größenebene angehören. In beiden Gruppen kann das Konzept *Vermehrungsfreudige Bakterien* erfasst werden.

Erhobene Konzepte: Die Distanzen, die Bakterien zu überwinden haben, sind unklar. Zu den Abmessungen der bakteriellen Umwelt sind keine Größenordnungen verfügbar (*Unklar kleine Bakterienumwelt*). *Filtrierbare Bakterien* (Bakterien können mithilfe von Filtern von Flüssigkeiten abgetrennt werden).

Literaturkonzepte: Die bakterielle Fortbewegungsgeschwindigkeit wird schnell vorgestellt (*Mikroschnelle Bakterien*), diese Vorstellung geht auf mikroskopische mediale oder direkte Beobachtung sich fortbewegender Bakterien zurück.

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Bakterien als Behälter</i>	<i>Mikroskopische Bakterien</i>	VE: 2L, 3DL	<i>Mikroskopische Bakterien</i>	10, 17
	<i>Unklar kleine Bakterien</i>	VE: 2L	<i>Unklar kleine Bakterien</i>	5, 6, 11, 17
	<i>Vermehrungsfreudige Bakterien</i>	VE: 1L, 4M, 5M	<i>Vermehrungsfreudige Bakterien</i>	10
	<i>Unklar kleine Bakterienumwelt</i>	VE: 12A,H		
	<i>Filtrierbare Bakterien</i>	VE: 4KL		
<i>Kleine Lebewesen</i>			<i>Mikroschnelle Bakterien</i>	10

Tab. 8.7: Zusammenfassung der wissenschaftsorientierten Konzepte mit mikrobiologischem Ursprung (VE=Vermittlungsexperiment)

8.4 Direktes mikrobiologisches Verständnis

Aufgrund der Erfahrungen, die sie in ihrem mikrobiologischen Praktikum gesammelt haben, konnten Lerner ein direktes mikrobiologisches Verständnis entwickeln.

Erhobene Konzepte: *Kultivierbare Bakterien* (Bakterien lassen sich mithilfe mikrobiologischer Techniken zu Kolonien groß ziehen), *Wachstum braucht Bedingungen* (Das bakterielle Wachstum ist von der Verfügbarkeit von Nährstoffen und von der Temperatur abhängig), *Selektives Penicillin* (Das Antibiotikum Penicillin wirkt nur bei Bakterien, nicht aber bei Pilzen).

Denkfigur	Erhobene Konzepte	Datenquelle	Literaturkonzepte	Datenquelle
<i>Bakterien als Behälter</i>	<i>Wachstum braucht Bedingungen</i> <i>Selektives Penicillin</i>	VE: 2P, 3L, 4L, 9AR VE: 4DL		
<i>Bakterienkolonien</i>	<i>Kultivierbare Bakterien</i>	VE: 1CL, 2LP, 3BL, 4L, 5KM, 7AMV,		

Tab. 8.8: Zusammenfassung der Konzepte, die in einem direkten Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen gründen (VE=Vermittlungsexperiment)

8.5 Zusammenfassung

Der Vergleich der Literaturkonzepte und der erhobenen Konzepte zeigt, dass Lerner in erster Linie ein metaphorisches Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen verwenden. Das wissenschaftsorientierte Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen basiert in erster Linie auf einer Übertragung von lebensweltlichen Vorstellungen und von Vorstellungen zu nichtmikrobiologischen Gegenständen, mikrobiologische Vorstellungen werden selten übertragen. Aufgrund ihrer experimentellen Erfahrungen können die vom Autor befragten Lerner ein direktes Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen entwickeln.

Für einen Biologieunterricht, dessen Ziel es ist, Schülern sinnstiftende Lernmöglichkeiten auch im mikrobiologischen Ausbildungsbereich zu bieten, bedeuten die oben zusammengefassten Ergebnisse Lernern einerseits vielfältige Erfahrungen mit mikrobiologischen Phänomenen zu ermöglichen. Andererseits ist es Lehrern aufgrund der Ergebnisse dieser Studie möglich, ihr Wissen zu den auf Bakterien bezogenen Vorstellungen ihrer Schüler zu erweitern. Schon bei der Planung von Unterricht mit mikrobiologischen Inhalten kann die Vorstellungswelt der Schüler miteinbezogen werden, um den Unterricht schülerorientiert durchführen zu können.

9 Lernprozessbeobachtungen

In diesem Kapitel geht es darum herauszufinden, wie das Lehren und Lernen der mikrobiologischen Zusammenhänge, in denen Bakterien und bakterielle Prozesse stehen, verbessert werden kann. Gegenstand der Lehr-Lern-Arrangements sind chemoorganotrophe Bakterien, andere Bakterien und auch die Archaea sind nicht ihr Gegenstand. Im Kapitel „*Didaktische Strukturierung*“ wurden aus den Ergebnissen der Untersuchungen „*Fachliche Klärung*“ und der „*Reanalyse empirischer Befunde von Lernervorstellungen*“, von denen in der Literatur berichtet wird, Leitlinien für die Vermittlung mikrobiologischer Zusammenhänge, in denen Bakterien stehen, abgeleitet. Damit soll es aber nicht sein Bewenden haben, vielmehr werden die Leitlinien, die vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens abgeleitet wurden, einer evidenzgeleiteten Überprüfung unterzogen. In diesem Kapitel werden didaktisch rekonstruierte Lernangebote in Vermittlungsexperimenten daraufhin untersucht, ob bzw. wie sie zur Entwicklung der auf Bakterien bezogenen Lernervorstellungen beitragen können.

9.1 Fragestellung

Die Vermittlungsexperimente stellen zum einen die Basis dafür dar, Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen auf der Ebene der Konzepte zu erfassen. Zum anderen werden die individuellen Vorstellungsentwicklungen erfasst und analysiert, die Lernern mit den didaktisch rekonstruierten Lernangeboten (Interventionen) möglich sind. Unter Intervention wird im engeren Sinne der Einsatz didaktisch rekonstruierter Lernangebote, im erweiterten Sinne aber auch Impulse, die von den Gesprächspartnern eingebracht werden, verstanden (Zusammenfassung der eingesetzten Interventionen, s. Tab. 9.1). An das Aussagenmaterial werden aus der Perspektive auf die Veränderlichkeit der Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen verschiedene übergreifende Fragestellungen herangetragen. Im Einzelnen handelt es sich um Vorstellungsveränderungen zur

1. Bakteriengröße
2. Bakteriernahrung
3. Bakterienwachstum
4. Wirkung des Antibiotikums Penicillin
5. Bakterienkolonien

Thema	Name der Intervention	Beschreibung der Intervention
Bakteriengröße	„Maßstab 1“	s. Abb. 9.1, Tab. 9.2
	„Maßstab 2“	s. Tab. 9.2
	„Größenvergleich“	s. Abb. 9.2
Bakterienernährung	„Eiweißmolekül“	s. Abb. 9.4
	„Diffusion“	s. Abb. 9.5
	„Schwamm“	„Das Nährgargel ist mit einem Schwamm vergleichbar“
Bakterienwachstum	„Schichtenstruktur eines Bakteriums“	s. Abb. 9.8
	„Funktionsmodell Innendruck“	Abb. 9.9
	„Konstante Bakterienform“	„Das Stammbakterium hat eine rechteckige Form, nach der Teilung haben auch die beiden Teilzellen eine rechteckige Form“
Wirkung des Antibiotikums Penicillin	„Penicillinwirkung“	s. Abb. 9.13
	„Bakterienteilung“	s. Abb. 9.14
	„Penicillin-Querwand“	„Das Antibiotikum Penicillin verhindert die Ausbildung der Querwand, der Teilungsprozess wird aber nicht angehalten“
Bakterienkolonien	„Papierteilen“	Die Lerner teilen ein Blatt Papier in zwei Teile (nach Riemeier 2005)
	„Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie“	s. Abb. 9.17
	„Filmsequenz“	Sequenz aus dem Film „Die Zelle 2“ (Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg)
	„Koloniewachstum“	s. Abb. 9.18
	„Zelllinie“	s. Abb. 9.19
	„Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien“	s. Abb. 9.20
	„Netz“	s. Abb. 9.21

Tab. 9.1: Zusammenfassung der in Vermittlungsexperimenten eingesetzten Interventionen.

9.2 Methode

In den Vermittlungsexperimenten werden die Interventionen dann eingesetzt, wenn das Gespräch der Lerner im Verlaufe der Interviews auf die oben genannten inhaltlichen Fragestellungen kommt. Die Vorstellungsentwicklungen, die im Zusammenhang mit den Interventionen erfasst werden können, werden als Lernschritte oder Lernwege erfasst, wodurch Aussagen zur Wirkung der Lernangebote gemacht werden können. Mit Lernschritten ist das Auftreten individueller Lernervorstellungen und deren Veränderung innerhalb der Zeitspanne des Vermittlungsexperimentes gemeint. Die Konzepte der Lerner stellen dabei die Stationen des Lernprozesses dar. Die individuellen Lernervorstellungen, die vor der Intervention verfügbar sind, repräsentieren dabei den Start, Vorstellungen, die nach einer Intervention verfügbar sein können, das Ziel, auf das der durch die Interventionen ausgelöste Lernprozess hinauslaufen kann. Grafisch werden Start und Ziel mit einem Pfeil verbunden, die Interventionen, die die

Vorstellungsentwicklung auslösen, werden an den Pfeilen dokumentiert. Bei den Lernwegen handelt es sich um mehrere Lernschritte, die zwischen Start und Ziel liegen. Vom Start des Lernprozesses führen mehrere Etappen zum Ziel. Die einzelnen Stationen des Lernprozesses werden mit Pfeilen verbunden. Die Interventionen, die die Lernschritte auslösen, werden an den Pfeilen dokumentiert. Die erreichten Ziele der Vorstellungsentwicklungen werden aus der Perspektive einer Vermittlung von wissenschaftsorientierten Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen bewertet. Entweder können Lerner diese verfügbar machen oder sie entwickeln andere als wissenschaftsorientierte Vorstellungen. Ein besonderes Augenmerk gilt auftretenden Lern- und Verständnisschwierigkeiten, die Lerner im Umgang mit den eingesetzten Interventionen haben können. Zur Dokumentation der Vorstellungsentwicklungen wird bei der Explikation auf die redigierten Lernaussagen zurückgegriffen, die zitiert werden und deren Herkunft sich anhand einer Signatur erschließt. Für die Transkription, Redigierung und Explikation der Gesprächsbeiträge gelten die im Kapitel „Erfassen der Lernerperspektive: Analyse von Interviewphasen in Vermittlungsexperimenten“ für die Interpretationsschritte angegebenen Regeln.

Bei den im Rahmen der Vermittlungsexperimente eingesetzten Modellen handelt es sich um materialisierte Darstellungen derjenigen auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Vorstellungen, über die der Autor verfügen kann. Die Modelle werden daraufhin untersucht, welche Möglichkeiten sie Lernern zur individuellen, auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Vorstellungsentwicklung bieten können. Bakterien und bakterielle Prozesse können im Umgang mit den Modellen begriffen werden. Den pädagogischen Wert von Modellen insbesondere bei der Erklärung makroskopischer biologischer Phänomene auf der mikroskopischen und submikroskopischen Organisationsebene heben Dreyfus et Jungwirth (1990) hervor. Die Autoren machen aber zugleich auf die Gefahr aufmerksam, dass Lerner die Ebene des Modells und des Phänomens verwechseln könnten, weil sie aufgrund von Erfahrungsdefiziten zwischen beiden nicht zu unterscheiden wissen. Die im Folgenden eingesetzten Modelle unterscheiden sich allein schon durch die Wahl der Materialien, aus denen ihre Komponenten bestehen, von denjenigen, aus denen Mikroben bestehen. Auf diese Weise soll einer Verwechslungsgefahr von Rekonstruktion und Original vorgebeugt werden. Die Modelle sind als heuristische Mittel kenntlich, die ein Verständnis von Problemen ermöglichen sollen und die aufgrund der Kleinheit von Bakterien, aber insbesondere wegen der Unzugänglichkeit submikroskopischer, also molekularer Prozesse, die nicht direkt wahrgenommen werden können, eingesetzt werden. Die Modelle sind einfach strukturiert, so dass sie auch leicht verstanden werden können. Damit soll der Gefahr vorgebeugt werden, dass Lernern ein Verständnis des Modells möglicherweise ähnlich unzugänglich bleibt wie die bakteriellen Prozesse der mikroskopischen oder submikroskopischen Größenebene, für die die Modelle stehen. Lerner können die Modelle in die Hand nehmen und manipulieren, was mit den biologischen Gegenständen des Mikro- und Submikrokosmos unterrichtlich nicht möglich ist. In diesem Sinne stellen die Modelle keine Erklärungen für bakterielle Prozesse dar, die auf der mikroskopischen oder submikroskopischen Größenebene stattfinden, sondern sie bieten eine Lerngelegenheit, indem der Anschauung entzogene mikrobiologische Phänomene im Umgang mit den anderen Materialien erkundet werden können.

9.3 Vorstellungsentwicklungen zur Größe der Bakterien

In ihrem mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner Nähragar und Tümpelwasser in Petrischalen miteinander vermischt und die Petrischale dann 24 Stunden im Brutschrank gehalten. Am Tümpelwasser konnten die Lerner keine Beobachtungen machen, die auf das Vorhandensein von Bakterien hätten schließen lassen. Nach der Bebrütung aber konnten die Ler-

ner Bakterienkolonien beobachten, die in der Zwischenzeit aufgewachsen waren. An dieser Stelle geht es darum herauszufinden, welche Wirkung didaktisch rekonstruierte Interventionen auf das Denken der Lerner im Sinne einer Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen von der Bakteriengröße haben. Gemäß den im Kapitel „*Didaktische Strukturierung*“ formulierten Leitlinien zur Vermittlung mikrobiologischer Zusammenhänge geht es beim Lernen von Größenordnungen darum, die biologischen Gegenstände der verschiedenen Größenebenen zu erfassen, voneinander abzugrenzen aber auch aufeinander zu beziehen.

Vorstellungsentwicklungen mit den Interventionen „*Maßstab 1*“ und „*Maßstab 2*“

Mithilfe der Interventionen „*Maßstab 1*“ und „*Maßstab 2*“ können Lerner Erfahrungen mit einem Gegenstand des Mesokosmos (Haar) aus erster Hand und mediale Erfahrungen mit Gegenständen des Mikrokosmos (rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Bakterien) machen und ihre darin gründenden Vorstellungen von der Größe der beiden Gegenstände aufeinander beziehen. Die Lerner werden im Rahmen der Intervention „*Maßstab 1*“ gebeten, den Durchmesser eines vorgelegten menschlichen Haares und die Länge eines Bakteriums in rasterelektronenmikroskopischer Darstellungsweise (mit Größenmaßstab, s. Abb. 9.1) zu bestimmen, um die beiden Gegenstände dann im zweiten Schritt maßstabgerecht auf dem Papier darzustellen.

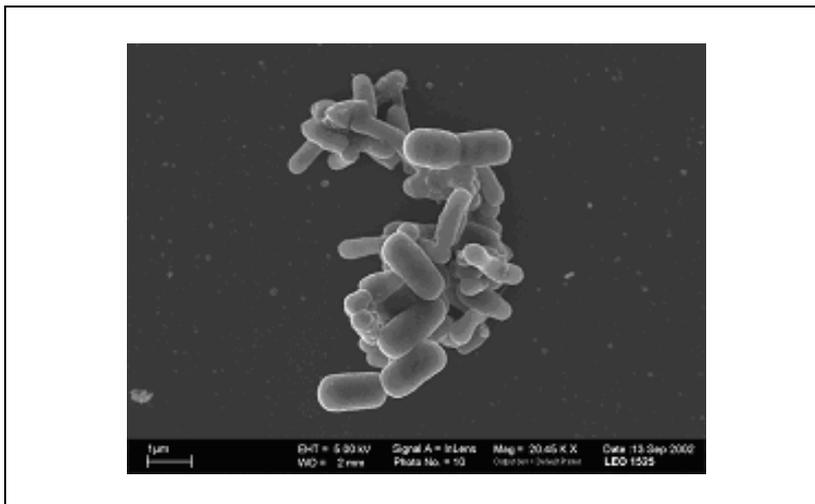


Abb. 9.1: Rasterelektronenmikroskopische Abbildung von Bakterien. Die Bakterien wurden von einer Kolonie abgestrichen. Die Abbildung ist Teil der Intervention „*Maßstab 1*“, der Maßstab links unten bezeichnet eine Strecke von einem Mikrometer. Die Abbildung wurde vom Autor angefertigt.

Verena: „Um herauszufinden, welchen Durchmesser ein Haar hat, muss man das Haar vergrößern, dann messen und dann teilen. Man muss wissen, wie viel man es vergrößert hat, um das zu messen und das durch die Vergrößerung teilen.“ (Exp 8 Kol 1, Z 49-53)

Verena kann sich vorstellen, das Haar zu vergrößern, um es dann auszumessen. Dabei wird sie an ihr vertraute Mittel zur Längenbestimmung gedacht haben. D.h., das Haar muss so stark vergrößert werden, so dass es mit einem Lineal oder einem Zentimetermaß ausgemessen werden kann. Verena denkt, dass eine Bestimmung des Durchmessers aber nur möglich ist, wenn bekannt ist, um welchen Faktor das Haar vergrößert wurde („...wie viel man das Haar vergrößert hat“), um den ausgemessenen Durchmesser dann durch diesen Faktor zu teilen und den tatsächlichen Durchmesser zu ermitteln.

Ela: „Ich weiß nicht, wie man den Durchmesser eines Haares ohne Fotografie bestimmen kann. Man kann das Haar ja nicht so normal messen. Wir können 10 Haare nebeneinander legen und nachdem wir die Breite der 10 Haare ausgemessen haben durch 10 teilen. Wenn die Haare wie bei den Saiten der Geige glatt gezogen werden, dann können wir gucken, wenn wir die Dicke von zehn Haaren nebeneinander haben, und die zum Beispiel 1 Millimeter ausmachen, das dann teilen“. (Exp 8, Kol 1 Z 60, 69, 75-79)

Ela sieht sich zunächst vor das Problem gestellt, nicht zu wissen, wie der Durchmesser eines Haares „ohne Fotografie“ bestimmt werden kann, weil man „das Haar ja nicht so normal messen“ kann. Dabei wird sie an Mittel zur Längenmessung gedacht haben, die ihr aus dem Alltag her vertraute sind (Lineal, Zentimetermaß), mit denen sich der Durchmesser eines Haares aber nicht exakt bestimmen lässt. Ela hat die Idee, 10 menschliche Haare, die wie die „Saiten der Geige glatt gezogen werden“, eng aneinander zu legen, um ihre Breite dann auszumessen. Diesen ermittelten Wert („...nachdem wir die Breite der 10 Haare ausgemessen haben“) würde Ela durch Zehn teilen, um den Durchmesser eines einzigen Haares zu ermitteln. Ela führt diese Methode dann auch mit zehn Haaren, die eng aneinander und parallel auf einer Klebefolie befestigt sind, mithilfe eines Lineals durch (Exp 8 Kol 1, Z 82-96). Die ermittelte Breite der zehn Haare (1 mm) teilt sie durch zehn, ein Haar hat einen Durchmesser von 0,1 mm.

Um Verena, Ela und Krista die Möglichkeit zu bieten den Durchmesser eines Haares und die Größe eines Bakteriums aufeinander zu beziehen, wird ihnen eine raster-elektronenmikroskopische Aufnahme von Bakterien vorgelegt, die mit einem Größenmaßstab versehen ist (s. Abb. 9.1). Den Lernerinnen wird die Aufgabe gestellt, die Länge eines Bakteriums und den Durchmesser eines Haares auf dem Papier maßstabsgerecht darzustellen (Intervention „*Maßstab 1*“). Die gemeinsame Bearbeitung der Aufgabe scheitert zunächst daran, dass den Lernerinnen der Umgang mit den metrischen Einheiten Millimeter und Mikrometer nicht vertraut ist, sie wissen nicht, wie viele Mikrometer ein Millimeter hat. Nachdem sie die entsprechenden Informationen bekommen haben, wählt Verena ein Bakterium der Abbildung aus und vermisst dessen Länge mit einem Lineal (Exp 8 Kol 1, Z 150 –315). Sie bezieht dann die ermittelte Länge (4 mm) auf den Durchmesser des menschlichen Haares (100 μm) und kommt zu dem Ergebnis, dass der Durchmesser maßstabsgerecht zur Bakterienzelle 400 μm (100 x 4) beträgt. Sie multipliziert also die ausgemessene Länge der Bakteriums (4 mm) mit dem ermittelten Durchmesser des Haares (100 μm). Folgerichtig würde das Bakterium der Länge nach 100-mal in den Durchmesser passen. Verena fällt aber auf, dass sie bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt hat, dass die ausgemessene Länge des Bakteriums der Abbildung nicht seiner realen Länge entspricht. Sie löst dieses Problem, indem sie den Maßstab zur Abbildung mit einem Lineal vermisst und dessen Länge (gemessen: 2 mm; real: 1 μm) auf das Bakterium bezieht. Der Maßstab passt 2-mal in die Länge des Bakteriums, seine Länge beträgt folglich 2 Mikrometer. Verena korrigiert ihre Aussage, tatsächlich passen 50 Bakterien mit einer Länge von 2 Mikrometern in den Durchmesser des Haares. Die Lernerinnen tragen den Durchmesser des Haares mit 400 μm ab, die Länge eines Bakteriums mit 8 μm . Eine Strecke von 400 μm lässt sich in 50 Teilstrecken zu 8 μm unterteilen. Um den Lernern auch eine Anschauungsmöglichkeit zu Gegenständen der submikroskopischen Größenebene zu ermöglichen, wurde die Aufgabe gestellt, ein hypothetisches Eiweißmolekül (Länge 20 Nanometer) maßstabsgerecht zu einem Bakterium darzustellen (Intervention „*Maßstab 2*“). Auch zur Lösung dieser Aufgabe fehlt den Lernerinnen zunächst die Information, wie viele Nanometer ein Mikrometer ausmachen (Exp 8 Kol 1, Z 316-493). Mithilfe der entsprechenden Information können sie dann das Problem – analog zur oben gestellten Aufgabe – lösen. Sie tragen die Länge eines Bakteriums

mit 200 mm ab, die des Eiweißmoleküls mit 2 mm. Das Molekül passt 100-mal in die Länge des Bakteriums hinein (s. Tab. 9.2, „Maßstab 2“).

Intervention „Maßstab 1“				
Objekt	Größenebene	Reale Größe	Maßstabgerechte Darstellung auf dem Papier	Größenverhältnisse (relativ zur übergeordneten Ebene)
Menschliches Kopfhaar	Makrokosmos	100 µm (Durchmesser)	400 mm	1/50
Bakterium	Mikrokosmos	2 µm (Länge)	8 mm	

Intervention „Maßstab 2“				
Objekt	Größenebene	Reale Größe	Maßstabgerechte Darstellung auf Papier	Größenverhältnisse (relativ zur übergeordneten Ebene)
Bakterium	Mikrokosmos	2 µm (Länge)	200 mm	1/100
Molekül	Submikrokosmos	20 nm (Länge)	2 mm	

Tab. 9.2: Ergebnisse der Interventionen „Maßstab 1“ (oben) und „Maßstab 2“ (unten). Ela, Krista und Verena haben die Aufgabe der beiden Interventionen, ein Haar und ein Bakterium sowie ein Bakterium und ein hypothetisches Eiweißmolekül maßstabgerecht zueinander darzustellen, gelöst. Der Durchmesser eines Haares wurde mit 400 mm, die Länge eines Bakteriums mit 8 mm abgetragen, die Länge des Eiweißmoleküls mit 2 mm, die Länge eines Bakteriums mit 200 mm.

Im Zusammenhang mit der Intervention „Maßstab 2“ wurde bewusst darauf verzichtet, auf die Raumstruktur eines Eiweißmoleküls einzugehen, es wird als hypothetisches Molekül mit einer Länge von 20 Nanometern angesprochen. Da den Lernern biochemisches Wissen weitgehend fehlt, würde die Information, dass Proteine in der Regel gefaltet, also globulär sind und eine Sekundär- bzw. Tertiärstruktur besitzen, Verwirrung stiften. Es soll an dieser Stelle allerdings daraufhin gewiesen werden, dass bei Schülern der Sekundarstufe II eine differenziertere Betrachtung angezeigt sein könnte. Denn die Denaturierung von globulären Proteinen (z.B. Enzymen) wird beim Thema Proteinchemie behandelt, die Aminosäurekette eines entfalten Proteins ist naturgemäß länger als die Abmessungen des nativen, also globulären Proteins. Und auch im Genetikunterricht werden zur Veranschaulichung der Länge eines DNA-Moleküls und des enormen Verpackungsgrades bei seiner Kondensation zum lichtmikroskopisch wahrnehmbaren Chromosom oftmals Angaben wie „die gesamte Länge der DNA des Bakteriums *E.coli* beträgt 1.5 mm, in menschlichen Zellen sogar 97 cm“ gemacht (Beyer u.a. 2005, S. 113). DNA-Moleküle dieser Länge wären dann aber eigentlich Gegenstände des Makrokosmos. Bei sehr großen globulären Proteinen ist nach einer Denaturierung mit ähnlichen, wenn auch nicht so drastischen Effekten wie beim Molekül DNA, zu rechnen.

Verena: „Das Eiweiß in der Zelle kann nicht größer oder gleich groß sein, weil wir wissen, dass das da in der Zelle drin ist. Die Regel lautet: Ein Teil des Ganzen muss kleiner sein als das Ganze, oder das Teil muss, da es ein Teil des Ganzen ist, kleiner sein als das Ganze“. (Exp 8, Kol 1, Z 621-623, 628, 634, 636)

Verena denkt, dass ein Molekül („Eiweiß“) in einem Bakterium („in der Zelle“) nicht „größer“ oder „gleich groß“ sein kann als das Bakterium. Sie formuliert die Regel, dass „ein Teil des Ganzen“ „kleiner sein muss“ als „das Ganze“. Verena überträgt das Schema *Teil-Ganzes* (Lakoff 1987, S. 273) auf Bakterien und ihre Moleküle

Krista: „Man fragt sich, wie die Zelle das Eiweißmolekül aufnehmen soll, wenn es viel größer als die Zelle selber ist. Wenn die Eiweißmoleküle größer als die Bakterienzelle sind, müsste die Zelle wegen der großen Eiweiße logischerweise viel größer sein. Die Bakterien müssen ein Bruchstück der Eiweiße in sich haben, aber es ist ja nicht so, sie haben ja die ganzen Eiweißmoleküle in sich. Und deshalb ist es total unlogisch, wenn die Zelle neben einem Eiweißmolekül so klein ist und das Eiweiß so groß ist, man aber genau weiß, dass in der Zelle solche Eiweiße drin sind. Wenn etwas in einer Zelle drin ist, muss es kleiner sein als die Zelle selbst“. (Exp 8, Kol 1, Z 512, 513, 553-558, 579, 583, 584)

Krista stellt sich vor, dass ein Bakterium („eine Zelle“) kein „Eiweißmolekül aufnehmen“ kann, das größer als das Bakterium ist. Bakterien können in Kristas Vorstellung nur „Bruchstücke der Eiweiße in sich haben“, das bedeutet, dass das Eiweißmolekül in Kristas Vorstellung außerhalb des Bakteriums zerkleinert werden muss, bevor dessen Bruchstück vom Bakterium aufgenommen werden können. Bakterien können in Kristas Vorstellung keine Moleküle in sich haben, die größer als sie selber sind. Sie formuliert die Regel „Wenn etwas in einer Zelle drin ist, muss es kleiner sein als die Zelle selbst“. Krista überträgt das Schema *Teil-Ganzes* (Lakoff 1987, S. 273) auf Bakterien und ihre Moleküle.

9.3.1 Bewertung der didaktisch rekonstruierten Lernangebote zur Größe der Bakterien

Vor die Aufgabe gestellt, die Länge eines Bakteriums (2 Mikrometer) auf den Durchmesser eines menschlichen Haares (0,1 Millimeter) zu beziehen (Intervention „*Maßstab 1*“), stehen alle befragten Lernerinnen vor dem Problem, dass sie nicht wissen, wie viele Mikrometer ein Millimeter ausmachen. Annehmen darf man einerseits, dass Gymnasiasten der 10. Klasse die Einheiten des metrischen Systems, z.B. im Mathematik- oder Physikunterricht, kennengelernt und auch ineinander umgerechnet haben. Die Lernerinnen sind aber nicht in der Lage, dieses Wissen im Rahmen der gestellten Aufgabe anzuwenden. Da man andererseits davon ausgehen kann, dass die befragten Lernerinnen mikroskopische und mediale Erfahrungen mit mikroskopischen biologischen Gegenständen unterrichtlich gemacht haben, haben sie die darin gründenden Größenvorstellungen unabhängig von den Einheiten des metrischen Systems entwickelt. Aus diesem Grund haben die Lernerinnen keine Größenordnungen im Mikrokosmos aufgebaut. Sie sind deswegen nicht in der Lage, die Größe von Gegenständen des Makrokosmos, die sie in der Einheit Millimeter vorstellen können, auf die Größe der Bakterien zu beziehen. Gleiches gilt für Gegenstände des Submikrokosmos, deren Größe weder auf Gegenstände der mikroskopischen noch auf Gegenstände der makroskopischen Größenebene bezogen werden kann (Intervention „*Maßstab 2*“).

Lerner können bei der Beantwortung der Frage, welche Größe ein Eiweißmolekül ihrer Meinung nach im Vergleich zu einem Bakterium habe (Intervention „*Größenvergleich*“), die im

Rahmen der Interventionen „Maßstab 1“ und „Maßstab 2“ entwickelten wissenschaftsorientierte Vorstellungen von der unterschiedlichen Größe der Bakterien und der Moleküle anwenden. Sie führen diese fachwissenschaftlichen Vorstellungen darauf zurück, dass ein Teil kleiner als das Ganze sein muss. Sie übertragen das Schema *Teil-Ganzes* (s. Winston et al. 1987) auf Bakterien und Moleküle. Dabei besteht keine Notwendigkeit, die Einheiten des metrischen Systems zu verwenden.

Nach dem Muster des Lernweges „Bakteriengröße“ (s. Abb. 9.3) kann die aus fachdidaktischer Perspektive erhobene Forderung, dass Lerner bei der unterrichtlichen Behandlung mikrobiologischer Phänomene evidenzbasierte Größenvorstellungen von den Gegenständen des Mikro- und Submikrokosmos entwickeln, umgesetzt werden. Werden Abbildungen von Zellen und Molekülen verwendet, sollten sie mit einem Größenmaßstab versehen sein. Lerner sollten in einem ersten Schritt die Größe von Molekülen und Zellen mithilfe der Einheiten des metrischen Systems aufeinander beziehen. In einem zweiten Schritt sollten sie die Größe von Gegenständen des Makrokosmos – angegeben in den Einheiten des metrischen Systems – zum Vergleich hinzuziehen. Auf diese Weise können Lerner die verschiedenen Größenebenen gedanklich miteinander verknüpfen. Metaphorisch gesprochen wird es Lernern ermöglicht, Meilensteine im Mikrokosmos und Submikrokosmos zu setzen. Bei einem größeren Zeitangebot hätten Lerner im Rahmen der Intervention „Maßstab 1“ auch instrumentelle Erfahrungen mit der Bakteriengröße machen können. Bekanntlich können mikroskopische Gegenstände unter dem Mikroskop mithilfe von Objektmikrometern und graduierten Messokularen vermessen werden (Methode, s. z.B. Eckbrecht u. Schneeweiß 2003, S. 104).

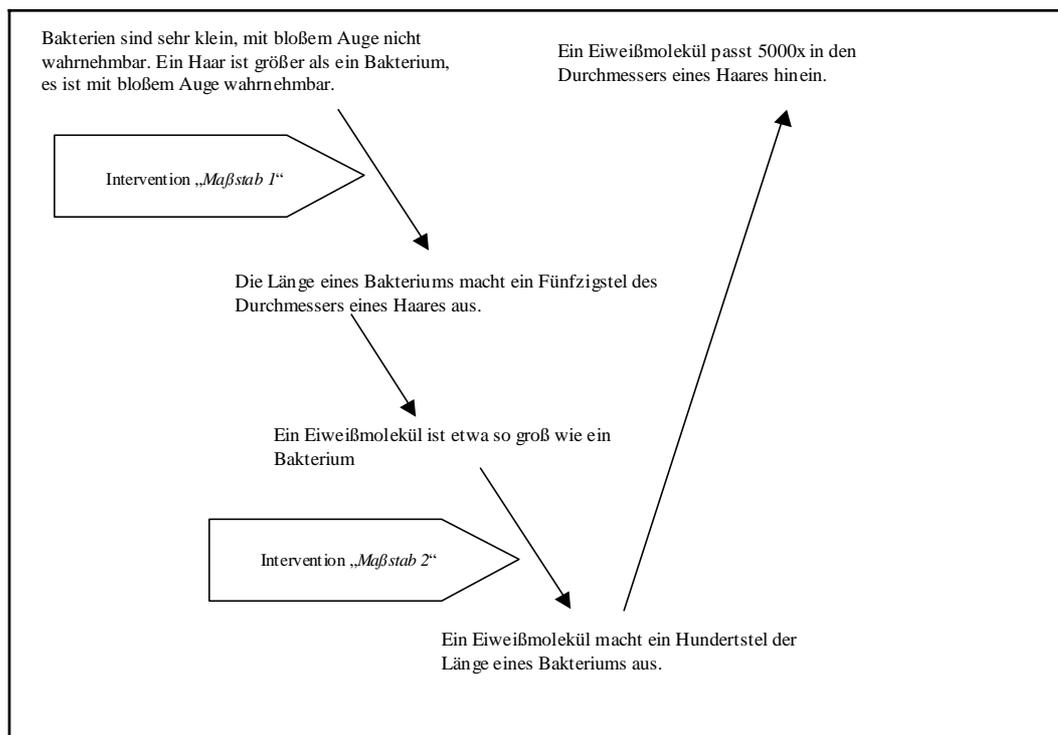


Abb. 9.3: Lernweg „Bakteriengröße“. Verfügen Lerner über die Vorstellung, Bakterien seien klein, haben sie im Rahmen der Intervention „Maßstab 1“ die Möglichkeit, die Größe von Bakterien mithilfe der Einheiten des metrischen Systems in ein Verhältnis zur Größe makroskopischer Gegenstände zu setzen und ihre Vorstellungen dahingehend zu präzisieren, dass 50 Bakterien der Länge nach in den Durchmesser eines Haares passen. Die Intervention „Maßstab 2“ bietet die Gelegenheit zu lernen, dass Moleküle sehr viel kleiner als Bakterien sind, ein hypothetisches Eiweißmolekül passt 100-mal in die Länge eines Bakteriums und 5000-mal in den Durchmesser eines Haares.

9.4 Vorstellungsentwicklungen zur Ernährung der Bakterien

In ihrem mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner Nähragar und Tümpelwasser in Petrischalen miteinander vermischt und die Petrischale dann 24 Stunden im Brutschrank gehalten. Nach der Bebrütung konnten sie Bakterienkolonien beobachten, die in der Zwischenzeit aufgewachsen waren. In Petrischalen, in denen sich nur Agar (ohne Nährstoffpulver) befunden hat, konnten die Lerner keine Bakterienkolonien beobachten. An dieser Stelle geht es darum herauszufinden, welche Wirkung didaktisch rekonstruierte Interventionen auf das Denken der Lerner im Sinne der Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen von der bakteriellen Ernährung haben.

Mithilfe der Intervention „*Eiweißmolekül*“ (s. Abb. 9.4) können Lerner ihre Vorstellungen von der bakteriellen Ernährung reflektieren. Ziel der Intervention ist es, Lernern Vorstellungsentwicklungen zu ermöglichen, in denen die bakterielle Ernährung nicht als Fressen, sondern aus Perspektive der Mikrobiologie als Aufnahme von Nährstoffmolekülen in die bakterielle Zelle vorgestellt wird. Die Intervention „*Diffusion*“ (s. Abb. 9.5) und die sprachliche Intervention „*Schwamm*“ („Das Nähragargel ist mit einem Schwamm vergleichbar“) zielen darauf ab, Lernern zu vermitteln, dass sich Bakterien im Nähragar nicht auf Nährstoff zu bewegen müssen, vielmehr breiten sich in Wasser gelöste Nährstoffe durch Diffusion aus. Die mithilfe der Intervention „*Diffusion*“ gemachten Erfahrungen sollen es Lernern ermöglichen, Vorstellungen zur Selbstausbreitung von gelösten Nährstoffen in Flüssigkeiten zu entwickeln. Die sprachliche Intervention „*Schwamm*“ bietet Lernern die Gelegenheit, Vorstellungen von der Struktur des Nähragars zu entwickeln und gedanklich mit ihren Vorstellungen zur Selbstausbreitung von Nährstoffen in Flüssigkeiten zu verknüpfen, um ihr Verständnis dann auf die Ernährung der Bakterien im Nähragar zu übertragen.



Abb. 9.4: Intervention „*Eiweißmolekül*“. Der Umgang mit den Modellen soll Lernern eine Gelegenheit bieten, ihre Vorstellungen von der bakteriellen Ernährung zu reflektieren. Die Größenverhältnisse stimmen nicht: Das Eiweißmolekülmodell ist relativ zum Bakterienzellmodell aus Gründen der Praktikabilität zu groß ausgefallen. Bei einer angenommenen realen Moleküllänge von 20 Nanometern und einer angenommenen Bakterienlänge von 2 Mikrometern müssten sich die Abmessungen der in den Mesokosmos vergrößerten beiden Gegenstände um den Faktor 100 unterscheiden. Beträgt die Länge des Molekülmodells 5 cm beträgt die Länge des Bakterienzellmodells maßstabsgerecht 500 cm.

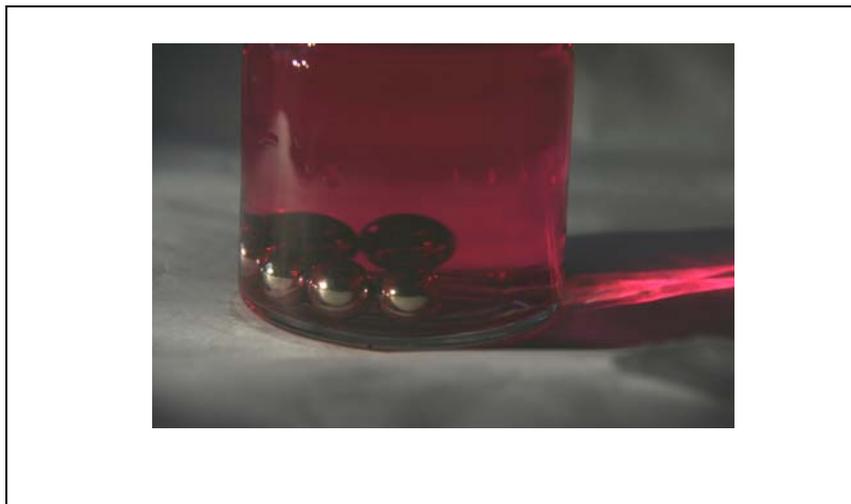


Abb. 9.5: Intervention „*Diffusion*“. Die Kugeln im Wassergefäß der Intervention „*Diffusion*“ repräsentieren Bakterien, die dem Wasser zugegebene Farbstofflösung eine Nährstofflösung. Nach einer gewissen Zeit hat der Farbstoff durch Diffusion den gesamten zur Verfügung stehenden Raum eingenommen.

Vorstellungsentwicklungen mit der Intervention „*Eiweißmolekül*“

Kristina, Lena und Lisa verfügen über die Vorstellung, dass Bakterien fressen, sie denken die bakterielle Nahrungsaufnahme tierlich (s. Lisa Kap. 7.4.3, Kristina und Lena Kap. 7.4.7). Die Vorstellungsentwicklungen, die den drei Lernerinnen mithilfe der Intervention „*Eiweißmolekül*“ (s. Abb. 9.4) möglich sind, werden im Folgenden dargestellt.

Kristina: „Diese Poren müssen sich irgendwie weiten oder das Eiweiß muss sich verändern. Wenn das Eiweiß durch die Poren passt, könnte die Bakterie es aufnehmen. Irgendwie muss die Bakterie das Eiweißmolekül zerteilen, sie muss es auch außerhalb machen. Die Bakterien müssen was tun, damit das Eiweiß kleiner wird, das Eiweiß wird das nicht freiwillig machen. Ich denke, dass diese Bakterien irgendwas nach außen abgeben. Ich denke, die Enzyme kommen aus der Bakterie, weil es sonst wahrscheinlich keinen Stoff gibt, der einen Anlass hätte, diese Eiweiße da zu zerkleinern, die Bakterie muss das selber machen. Ich finde, wenn die Bakterien das Eiweiß selber zerkleinert, dann gehört das zur Ernährung, weil sie das eindeutig macht, um sich zu ernähren. Die Bakterie wird das Eiweiß nicht mit Kraft zerteilen, sondern sie wird das anders, mit irgendwelchen Stoffen machen. Ich finde, das ist eher Verdauung, was durch den Speichel passiert, nicht das, was wir mit unseren Zähnen machen. Es ist eher vergleichbar mit einer Art Verdauung“. (Exp 5, Kol 1, Z 620, 621, 625, 645, 649, 651, 656-659, 669, 671-675, 585, 686, 690-692, 746-752)

Kristina entwickelt mithilfe der Intervention „*Eiweißmolekül*“ die Vorstellung, dass das Eiweißmolekülmodell nicht durch die Poren des Bakterienzellmodells hindurchpasst. Sie denkt, dass das Eiweiß zu groß sei, um durch die Poren in das Bakterium zu gelangen. Ihrer Meinung nach müssen sich entweder die Poren weiten oder aber das Eiweißmolekül muss sich verändern. Die Idee, dass sich die Poren weiten, verfolgt Kristina nicht weiter, sie denkt, dass die Bakterien „was tun“ „müssen“, „damit das Eiweiß kleiner wird“. Eine Bakterie muss das „Eiweißmolekül“ „außerhalb“ „zerteilen“. Dazu geben Bakterien „irgendwas nach außen“ ab. Der „Stoff“, der einen „Anlass hat“ „Eiweiße zu zerkleinern“ sind „Enzyme“, die „aus der Bakterie“ kommen. Kristina denkt Bakterien als *Behälter*, die Behälterwandung teilt einen

bakteriellen Innenraum von einem nichtbakteriellen Außenraum ab. Die Intervention „*Eiweißmolekül*“ bietet Kristina die Möglichkeit, die Behältervorstellung von einer bakteriellen Zelle gedanklich mit der bakteriellen Ernährung zu verknüpfen. Bakterielle Ernährung ist in Kristinas Vorstellung von einer Dynamik geprägt, eine bakterielle Zelle gibt Stoffe ab und nimmt Stoffe auf, dabei spielen die Poren der bakteriellen Wandung eine entscheidende Rolle, weil sie es möglich machen, Bakterien als offene *Behälter* vorzustellen. Die Abgabe von Enzymen und die Zerkleinerung gehören in Kristinas Vorstellung zur bakteriellen Ernährung, „weil sie [die Bakterie] das eindeutig macht, um sich zu ernähren“, also, um die Bruchstücke des zerkleinerten Eiweißes aufzunehmen. Kristina differenziert zwischen der mechanischen Zerkleinerung der Nahrung und der Verdauung. Bakterielle Verdauung bedeutet nicht, Nährstoffe mechanisch zu zerkleinern („Die Bakterie wird das Eiweiß nicht mit Kraft zerteilen“), sondern sie verdaut mithilfe von „irgendwelchen Stoffen“. Kristina analogisiert den Prozess der Verdauung außerhalb eines Bakteriums mit Verdauungsprozessen im menschlichen Speichel („Ich finde, das ist eher Verdauung, was durch den Speichel passiert“) und unterscheidet diesen Vorgang von der mechanischen Zerkleinerung der Nahrung durch Kauen. Verdauung ist nicht das, „was wir mit unseren Zähnen machen“. Kristina überträgt bereichsspezifisches Wissen von der menschlichen Verdauung auf Bakterien und ihre Nährstoffe.

Lena: „Die Bakterie muss dieses Eiweißmolekül irgendwie zerkleinern. Die Frage ist wie, weil die Bakterie wahrscheinlich keine Schere dabei hat. Unter Ernährung stelle ich mir zum Beispiel die Verarbeitung des Eiweißmoleküls (von Nährstoffen) vor, nicht die Zerkleinerung außerhalb der Bakterien, sondern die Verarbeitung innerhalb der Bakterien. Die Nahrungsaufnahme ist nicht die Ernährung, ich würde das trennen. Das hatten wir mal, dass die Nahrung in der Mundhöhle schon ein bisschen verarbeitet wird, dass es durch den Speichel schon abgetrennt wird. Sie hat gesagt, dass die Nahrung durch den Speichel im Mund teilweise schon verdaut wird. Ich weiß nicht, ob die Nahrung dadurch nur zerkleinert oder auch verarbeitet wird. Das Zerkleinern der Nahrung geht mit Enzymen, die im Speichel enthalten sind. Das Kauen ist die Nährstoffe zerkleinern, damit das verarbeitet werden kann. Ich würde sagen, Kauen ist die Nährstoffe zerkleinern, das ist das, was die Bakterie außerhalb und nicht innerhalb mit diesem Eiweißmolekül macht. Das ist nur das grobe Zerteilen, in der Bakterie selber wird das noch kleiner geteilt und dadurch eben verarbeitet und verbraucht“. (Exp 5, Kol 1, Z 646, 648, 678, 679, 683, 684, 686, 688, 693, 695, 723, 726, 734, 739-745)

Lena verknüpft das Modell eines Eiweißmoleküls und einer Bakterienzelle der Intervention „*Eiweißmolekül*“ gedanklich mit der Ernährung von Bakterien. Aufgrund ihrer Beobachtung, dass sich das Molekülmodell aufgrund seiner Größe nicht durch die Poren des Bakterienzellmodells drücken lässt, stellt sich Lena vor, dass das „Eiweißmolekül“ von dem Bakterium zerkleinert werden muss, um aufgenommen werden zu können. Die Zerkleinerung der Nährstoffe stellt sich Lena als mechanischen Prozess des Zerkleinerns vor, allerdings weiß sie nicht, wie ein Eiweißmolekül von einem Bakterium ohne die ihr aus dem Alltag bekannten Mittel zerkleinert werden könnten („Die Frage ist wie [das Bakterium das Eiweißmolekül zerkleinert], weil die Bakterie wahrscheinlich keine Schere dabei hat“). Lena unterscheidet zwischen der „Zerkleinerung“ von Nährstoffen und deren „Verarbeitung“. Nährstoffe können von Bakterien außerhalb grob zerkleinert werden, nach der Aufnahme der Nährstoffbruchstücke werden diese weiter zerkleinert, diese weitere Zerkleinerung innerhalb eines Bakteriums denkt Lena als Verarbeitung (Verbrauch). Lenas Meinung nach unterscheiden sich die Prozesse außerhalb und innerhalb eines Bakteriums nicht qualitativ sondern quantitativ. Innerhalb eines Bakteriums werden die außerhalb vorzerkleinerten Nährstoffe weiter zerkleinert, bis sie verbraucht sind. Das „grobe Zerteilen“ von Nährstoffen außerhalb von Bakterien analogisiert Lena mit dem Kauen des Menschen („...Kauen ist die Nährstoffe zerkleinern, das ist das, was die Bakterie außerhalb und nicht innerhalb mit diesem Eiweißmolekül macht“).

Beim Zerkleinern der Nahrung im Speichel spielen Lenas Meinung nach auch Enzyme eine Rolle, sie ist sich aber nicht ganz sicher, ob die Nährstoffe von Enzymen nur zerkleinert oder auch schon verarbeitet werden. Lena überträgt das Schema *Teilen* (Lakoff 1987, S. 273) auf Bakterien und ihre Nährstoffe. Im Mikrokosmos wirken die gleichen mechanischen Kräfte wie im Makrokosmos. An dieser Stelle zeigt sich eine Schwäche der Intervention „*Eiweißmolekül*“, denn dadurch, dass das Eiweißmolekülmodell in Art einer Perlenkette vorgelegt wurde, bietet es sich aufgrund verfügbarer lebensweltlicher Vorstellungen, die beispielsweise in Erfahrungen mit zerrissenen Schmuckketten gründen, an zu denken, dass das Molekülmodell durch Zerschneiden in seine Bestandteile zerlegt werden kann, die dann durch die Poren des Bakterienzellmodells passen.

Lisa: „Oder die Bakterien haben Löcher in sich, genau wie der Kasten (gemeint ist das Bakterienzellmodell), und draußen im Nähragar sind Eiweiße und ganz viele Nährstoffe. Und das Bakterium hat verschiedene Formen, die da passen. Zum Beispiel ist draußen ein Viereck für Eiweiß und dann kommt das Eiweiß in das Bakterium rein und genau dahin, wo das Bakterium das Eiweiß braucht“. (Exp 4, Kol 3, Z 553, 555-559)

Lisa verknüpft das Modell eines Eiweißmoleküls und einer Bakterienzelle der Intervention „*Eiweißmolekül*“ gedanklich mit der Ernährung von Bakterien im Nähragar. Ihre diesbezüglichen Vorstellungen können nach dem Schema *Start-Weg-Ziel* (Lakoff 1987, 275) geordnet werden. Lisa denkt, Bakterien hätten „Löcher“ und „draußen“ (also im Nähragar) sind „Eiweiß“ und „ganz viele Nährstoffe“, womit sie die Ausgangssituation (Start) definiert hat, die erlebnishaft spannungsvoll sein dürfte, da Lisa – dem Gesprächskontext gemäß – die Frage dringlich erscheint, wie das Eiweiß in die Bakterienzelle gelangen könnte. Lisa richtet ihre Aufmerksamkeit auf die bakterielle Zellwand, welche die von ihr vorgenommene Unterscheidung von außen („draußen im Nähragar“) und innen erst ermöglicht, sie stellt sich Bakterien als *Behälter* vor. Lisa denkt die Poren der bakteriellen Zellwand sehr differenziert, sie stellt sich diese als negative Gussformen der Nährstoffmoleküle vor. Lisa veranschaulicht ihre Vorstellung zur Nährstoffaufnahme (Weg) am Beispiel der Eiweiße, die „viereckig“ sind und durch die Poren in das Bakterium hinein kommen, die ebenfalls viereckig gedacht werden. Damit die Eiweiße durch die Poren in das Bakterium (Ziel) gelangen können, dürfte sich Lisa die Moleküle etwas kleiner als die Poren vorstellen. Die verschiedenen Geometrien der Poren („Und das Bakterium hat verschiedene Formen, die da passen“) erlauben dem Bakterium eine selektive Aufnahme von Nährstoffmolekülen. Die Intervention „*Eiweißmolekül*“ bietet Lisa die Möglichkeit, ein metaphorisches Verständnis der Bakterienernährung zu verwenden. Sie überträgt das Schema *Teil-Ganzes* (Lakoff 1987, S. 273) auf Bakterien und ihre Nährstoffe. Das Schema wird modifiziert durch Vorstellungen, die z.B. in Erfahrungen mit dem Zusammenfügen von Teilen eines Puzzles oder mit dem Anziehen von Schuhen oder anderen Kleidungsstücken gründen. Lisa stellt sich die bakterielle Nahrungsaufnahme im Zusammenhang mit der Intervention „*Eiweißmolekül*“ als Aufnahme von Nährstoffen vor und nicht als Fressen (s. Lisa Kap. 7.4.3). Die Poren der bakteriellen Zellwand übernehmen in Lisas Vorstellung die Funktion eines Platzanweisers, da die Eiweiße „genau dahin (rein“) kommen, wo sie das Bakterium „braucht“ (Ziel). Diese „*Platzanweiser-Funktion*“ der Poren könnte auf mehreren Mechanismen beruhen: 1. Die Position der Poren ist veränderlich, das Bakterium dirigiert die Poren dorthin, wo die durch die spezielle Pore passenden Nährstoffmoleküle nach ihrer Aufnahme gebraucht werden. 2. Nach Passage der Poren werden die Nährstoffe von mobilen Transporteuren übernommen und zum Bedarfsort überführt. 3. Die Poren stellen die Eintrittspforte eines bakteriellen Transportsystems dar, das die Nährstoffe zum Bedarfsort überleitet. Hinweise darauf, dass Lisa die zuletzt genannten Möglichkeit (3) erwägen könnte, liefert ihre Bakterienzeichnung: Ihr Bakterium zeichnet sich durch ein ei-

gentümliches, röhrenförmiges System aus, das sich im Inneren des Bakteriums befindet und das in Kontakt zur bakteriellen Zellwand steht (s. Abb. 7.2).

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Interventionen „Diffusion“ und „Schwamm“

Im Folgenden wird untersucht, welche Vorstellungsentwicklungen Lernern zur Frage, wie Bakterien im Nährgar mit Nährstoffen versorgt werden können, mithilfe der Intervention „Diffusion“ (s. Abb. 9.4) und der sprachlichen Intervention „Schwamm“ („Das Nährgargel ist mit einem Schwamm vergleichbar“) möglich sind.

Albert stellt sich vor, dass Bakterien in Flüssigkeiten (Blut) zufällig mit Nährstoffen in Kontakt kommen. Die Vorstellung, dass sich Bakterien nicht aktiv auf Nährstoff zubewegen, führt er auf die bakterielle Langsamkeit und das Fehlen von Sinnesorganen zur Wahrnehmung der Nährstoffe zurück (s. Albert Kap. 7.4.4).

Albert: „Es ist so, dass Wasser eine gewisse Eigenbewegung hat und die Moleküle immer aneinander stoßen, so dass sich immer irgendwas verteilt. Ich würde sagen, das kommt darauf an, wie sich die Dichten von den beiden Flüssigkeiten unterscheiden, wenn sie relativ ähnlich sind, dann würde sich der Farbstoff im Wasser verteilen. Das Wasser würde dann überall rot, beziehungsweise rosa aussehen. Ich meine die Bewegung, also ich meine zu wissen, dass Wasser immer eine gewisse Eigenbewegung drin hat, die gar nicht sichtbar ist für uns und die auch ohne äußere Einflüsse vorhanden ist. Die Bakterien brauchen sich nicht zu bewegen, man sieht ja, dass die Nährstoffe daneben sind, obwohl sie sich nicht bewegt haben. Die Bakterien nehmen den Farbstoff aus dem Wasser. Das Wasser würde eine kurze Zeit klarer werden. Wenn man bedenkt, dass man in so einem Fluss ist, nehmen wir mal die Elbe, da ist so eine richtig große Strömung und da würde so eine Eigenbewegung nicht viel nützen. Wenn ich das Modell auf eine Bakterienkolonie beziehe, stelle ich mir vor, das ist ja ein Gel und darin können sich die Nährstoffe nicht groß bewegen und deswegen, würde ich sagen, nach einer gewissen Zeit, wenn das Bakterium um sich rum alle Nährstoffe aufgebraucht hat, wird die Kolonie auf kurz oder lang absterben, wenn keine neuen Nährstoffe kommen, aus der Luft oder zugeführt werden. (Sprachliche Intervention „Schwamm“) Ich frage mich, wie groß diese Poren von diesem Schwamm sind, ob sie so groß sind, dass da ein Bakterium theoretisch durch könnte. Die Bakterienkolonien breiten sich kreisrund um das Ursprungsbakterium aus und dadurch ist es dann so, dass die Inneren automatisch gar keine Nährstoffe mehr abbekommen, weil die Äußeren auch vom Inneren mit zehren, aber die Inneren nicht unbegrenzt vom äußeren Nährstoffe bekommen können; deswegen glaube ich nicht, dass die Bakterien in der Kolonie diese äußeren Nährstoffe bekommen können. Die äußeren Bakterien einer Kolonie kriegen automatisch immer die Kuschkante. (Exp 12, Kol 1, Z 61, 81-87, 92, 109, 110, 115, 135-139, 155, 156, 184-191)

Albert ist in aufgrund von bereichsspezifischem physikalischem Wissen in der Lage, die Beobachtung, die er mithilfe der Intervention „Diffusion“ gemacht hat, nämlich, dass sich der Farbstoff im Wasser verteilt, auf die (thermische) Bewegung von Teilchen in Flüssigkeit zurückzuführen. Er unterscheidet zwischen der makroskopischen Bewegung des Wassers und der Bewegung der Wasserteilchen, die dem bloßen Auge verborgen bleibt, aber auf die aufgrund der Ausbreitung des Farbstoffs im Wassergefäß geschlossen werden kann. Er kommt zu dem Schluss, dass sich Bakterien nicht auf die Nährstoff zubewegen müssen, vielmehr gelangt Nährstoff in den Bereich der Flüssigkeit, in dem sich die Bakterien aufhalten („man sieht ja, dass die Nährstoffe daneben sind, obwohl sich die Bakterien nicht bewegt haben“). Die Vorstellung, dass sich Nährstoff im Agar nicht frei bewegen kann, führt er auf die Eigenschaften des Agars zurück. Aufgrund der bakteriellen Nährstoffaufnahme entstehen um Bak-

terien herum Zonen, die keine Nährstoffe mehr enthalten, die Bakterien sterben ab. Die in experimentellen Erfahrungen gründende Vorstellung, dass flüssiger Nähragar fest wird, stellt für Albert eine Hürde dar, sich eine Nährstoffversorgung von Bakterien im Nähragar vorstellen zu können. Nach der sprachlichen Intervention „Schwamm“ kann sich Albert den Agar schwammartig vorstellen, er fragt sich, ob dessen Poren so groß sind, dass sich Bakterien im Nähragar bewegen können. Aufgrund der Vorstellung vom Agar als Schwamm, kann Albert denken, dass sich die Nährstoffe in dessen Hohlraumsystem, das er sich mit Flüssigkeit gefüllt vorstellen dürfte, frei bewegen können. Albert kann die Ergebnisse der Intervention „Diffusion“ auf die Bakterien im Nähragar übertragen, die Bakterien einer Kolonie verhungern nicht. Obwohl Albert über kein bereichsspezifisches physikalisch-chemisches Wissen vom Agar als Gel verfügt, ist es ihm möglich, eine Nährstoffversorgung von Bakterien im Nähragar zu denken, weil er mithilfe der Intervention „Schwamm“ Vorstellungen von Schwämmen auf den Nähragar übertragen kann. Mit Schwämmen verschiedenster Art (z.B. Badeschwamm, Haushaltsschwamm) macht jeder Mensch alltäglich Erfahrungen. Schwämme zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, große Mengen an Wasser aufnehmen zu können aber auch bereitwillig wieder abzugeben. Das Wasser befindet sich in einem flüssigkeitsgetränkten tropfnassen Schwamm in einem Hohlraumsystem, auf dessen Existenz im Inneren des Schwammes man aufgrund der Struktur der Außenflächen des Schwammes schließen kann.

Harry: „Wir haben gesehen, sie haben da gerade was reingefüllt und das hat ja schon eine ziemliche Bewegung ausgelöst und dadurch hat sich das ja schon verteilt, das wird jetzt langsamer, das dauert halt ein Weilchen. Die Eigenbewegung der Wassermoleküle bewirkt eine Verteilung des Farbstoffs. Wahrscheinlich bewegen sich die Nährstoffe. Aber Bakterien haben doch auch so kleine Schwänzchen, mit denen sie sich theoretisch auch bewegen können.... Die Verteilung des Farbstoffs im Wasser könnte auch zum Beispiele mit der Erdrotation zusammenhängen“. (Exp 12, Kol 1, Z 76-79, 90, 101, 102, 125, 126, 325)

Harry verfügt sowohl über die Vorstellung, dass sich Bakterien im Nähragar aktiv auf Nährstoff zubewegen, als auch, dass Nährstoffe Bakterien in Gewässern von Wasserströmungen zugetragen werden (s. Harry Kap. 7.4.4). Harry kann sich mithilfe der Intervention „Diffusion“ vorstellen, dass die Bewegung, die er beim Hineinpipettieren der Farbstofflösung in das Wasser beobachtet hat, die treibende Kraft ist, die den Farbstoff im Wasser verteilt. Er unterscheidet nicht zwischen der makroskopischen Bewegung von Flüssigkeiten und der submikroskopischen Bewegung von Teilchen. Er überträgt die Vorstellung vom bewegten Farbstoff auf Bakterien und ihre Nährstoffe und hält es sowohl für möglich, dass sich die Nährstoffe auf die Bakterien zubewegen, als auch, dass sich umgekehrt die Bakterien auf die Nährstoffe zubewegen („Wahrscheinlich bewegen sich die Nährstoffe. Aber Bakterien haben doch auch so kleine Schwänzchen, mit denen sie sich theoretisch auch bewegen können....“). Harry schließt sich zwar zwischenzeitlich der Meinung seines Gesprächspartners Albert (s.o.) an und spricht davon, dass die „Eigenbewegung der Wassermoleküle“ „eine Verteilung des Farbstoffs“ bewirke, hält es im Verlauf des Gesprächs aber auch für möglich, dass die Verteilung des Farbstoffs mit der Erdrotation zusammenhängen könne. Während Nährstoffe in der Vorstellung des Lerners von externen Kräften (Konvektion, Erdrotation) bewegt werden, können sich Bakterien aus eigener Kraft bewegen. Harry überträgt verkörperte Vorstellungen von *Bewegen* auf Bakterien. Verkörperte Vorstellungen von *Bewegen* gründen in Erfahrungen mit dem eigenen Körper, die jeder Mensch von frühester Kindheit an macht. Während ich mich aus eigenem Antrieb heraus bewegen kann, trifft dies für viele Objekte, mit denen ich hantiere, nicht zu, sie werden bewegt.

Marlies: „Die Bakterien bewegen sich eher nicht, die Kugeln haben sich ja jetzt auch nicht bewegt, wenn die keine Eigenbewegung haben, dann bewegen die sich nicht. Vielleicht

gleicht das Wasser das ja auch immer wieder aus, wenn da von den Bakterien Farbe rausgenommen werden würde, würde sich das trotzdem mit der Zeit wieder ausgleichen, also würde dann nicht durchsichtig. Die Bakterien nehmen den Farbstoff aus dem Wasser, das würde sich dann wieder ganz schnell ausgleichen durch die Bewegung. (Sprachliche Intervention „*Schwamm*“) Wenn ich an das Gel als Schwamm denke, kann sich das Wasser in dem Schwamm bewegen und damit dann auch die Nährstoffe. A. hatte ja schon gesagt, dass das Wasser eine Eigenbewegung hat und dann, wenn das steht, braucht man das Wasser nicht durch äußere Umstände noch zu bewegen. Durch die Eigenbewegung des Wassers bewegen sich die Nährstoffe oder die Farbstoffe. (Exp 12, Kol 1, Z 104-107, 111-113, 116-120, 122-124, 142-146, 298-300, 307)

Marlies entwickelt mithilfe der Intervention „*Diffusion*“ die Vorstellung, dass die Nährstoffe zu den Bakterien gelangen. Die Bakterien müssen sich ihrer Meinung nach nicht auf die Nährstoffe zubewegen. Durch bakterielle Ernährung verursachte niedrigere Nährstoffkonzentrationen um die Bakterien herum werden durch das Wasser wieder ausgeglichen. Marlies greift die Vorstellung ihres Gesprächspartners Albert, dass die Teilchen des Wassers eine (thermische) Eigenbewegung haben (s.o.), auf. Ihrer Meinung nach muss das Wasser nicht „durch äußere Umstände“ bewegt werden, damit „sich die Farbstoffe (Nährstoffe)“ im Wasser „bewegen“, also ausbreiten („Durch die Eigenbewegung des Wassers bewegen sich die Nährstoffe oder die Farbstoffe“). Nach der sprachlichen Intervention „*Schwamm*“ kann sich Marlies vorstellen, dass sich das Wasser und auch die darin enthaltenen Nährstoffe im Nähragar frei bewegen können. Durch bakterielle Ernährung verursachte erniedrigte Nährstoffkonzentrationen um die Bakterien herum werden ausgeglichen, die Bakterien verhungern deswegen im Agar nicht.

9.4.1 Bewertung der didaktisch rekonstruierten Lernangebote zur Ernährung der Bakterien

Die Intervention „*Eiweißmolekül*“ bietet Lernern die Möglichkeit, die Behältervorstellung von einer bakteriellen Zelle gedanklich mit der bakteriellen Ernährung zu verknüpfen. Für die Behältervorstellung von einem Bakterium ist die Behälterwandung konstitutiv, sie teilt einen bakteriellen Innenraum von einem nichtbakteriellen Außenraum ab. Die Poren des Bakterienzellmodells sind für die Entwicklung der Vorstellung von einer Bakterienzelle als offenem System entscheidend. Sie ermöglichen es den Lernern, Bakterien als offene *Behälter* vorzustellen, in die Stoffe hineingelangen können, die aber auch Stoffe abgeben können. Die Lernervorstellungen zur bakteriellen Ernährung können nach dem Schema *Start-Weg-Ziel* (Lakoff 1987, S. 275) geordnet werden. Das Eiweißmolekülmodell, das sich außerhalb des Bakterienzellmodells befindet, stellt die Startsituation, der Prozess der Nährstoffaufnahme den Weg und der bakterielle Innenraum, in den die Nährstoffe gelangen, das Ziel dar. Das Nährstoffmolekülmodell der Intervention „*Eiweißmolekül*“ ist zu groß, um durch die Poren des Bakterienzellmodells hindurchzugelangen. Bei der Vorstellungsentwicklung zur Aufnahme des Eiweißmoleküls in die bakterielle Zelle übertragen Lerner bereichsspezifisches Wissen, dass sie sich unterrichtlich zum Thema „*Menschliche Verdauung*“ angeeignet haben, auf Bakterien. Sie verknüpfen die Aufnahme von Nährstoffen in die bakterielle Zelle und die Abgabe von Enzymen durch die bakterielle Zelle gedanklich miteinander. Lerner der 10. Klasse verfügen über die Vorstellung von Enzymen als nährstoffabbauende Wirkstoffe (s. Kap. 7.4.3). Die wissenschaftsorientierte Vorstellung, dass Bakterien Verdauungsenzyme abgeben, wird darauf zurückgeführt, dass Bakterien Nährstoff zerkleinern müssen, bevor sie ihn aufnehmen können. Eine Schwäche der Intervention „*Eiweißmolekül*“ ist darin zu sehen, dass das Eiweißmolekülmodell in Art einer Perlenkette vorgelegt wurde. Es bietet sich den Lernern also an, die Verdauung des Eiweißmoleküls als mechanischen Prozess der Zerkleiner-

nung zu denken, indem sie das Schema *Teilen* (Lakoff 1987, S. 273) übertragen. Die Vorstellung einer mechanischen Zerkleinerung von Nährstoffen durch Enzyme ist bei den allermeisten Lernern verfügbar (s. a. Kap. 7.4.3). Die Poren des Bakterienzellmodells bieten Lernern die Möglichkeit, eine bakterielle Zelle als *Behälter* zu denken, dessen Wandung nur für bestimmte Stoffe durchlässig ist: Es konnte eine Vorstellung erfasst werden, in der die bakterielle Wandung Poren unterschiedlicher Geometrie aufweist. Durch die je unterschiedlich geformten Poren passen nur bestimmte Nährstoffe hindurch, die bakterielle Wandung kann selektiv durchlässig vorgestellt werden.

Die Intervention „*Diffusion*“ bietet Lernern die Möglichkeit, die bakterielle Ernährung unabhängig von der bakteriellen Fortbewegung denken zu können. Die bakterielle Nahrung wird nicht als Fressen, auf das sich Bakterien zubewegen müssen, sondern als gelöster Stoff vorgestellt. Dieser kann sich in Flüssigkeiten ausbreiten. Eine Übertragung dieser Vorstellung auf Bakterien, die sich im Nähragar befinden, gelingt nicht, wenn Lerner aufgrund ihrer experimentellen Erfahrung, dass der Nähragar beim Gelieren fest geworden ist, über die Vorstellung verfügen, der Nähragar sei fest und einer Ausbreitung der Nährstoffe gegenüber widerständig. Mithilfe der Intervention „*Schwamm*“ ist es Lernern möglich, sich den Nähragar schwammartig also von einem Hohlraumssystem durchzogen vorzustellen, in dem sich die im Wasser gelösten Nährstoffe ungehindert ausbreiten können¹⁵. Entnehmen die Bakterien dem Wasser die Nährstoffe, entstehen um die Bakterien herum auf Dauer keine nährstofffreien Zonen, da es zu Ausgleichbewegungen kommt, Nährstoffe gelangen aus Gegenden höherer Konzentration in Gegenden mit niedrigerer Konzentration.

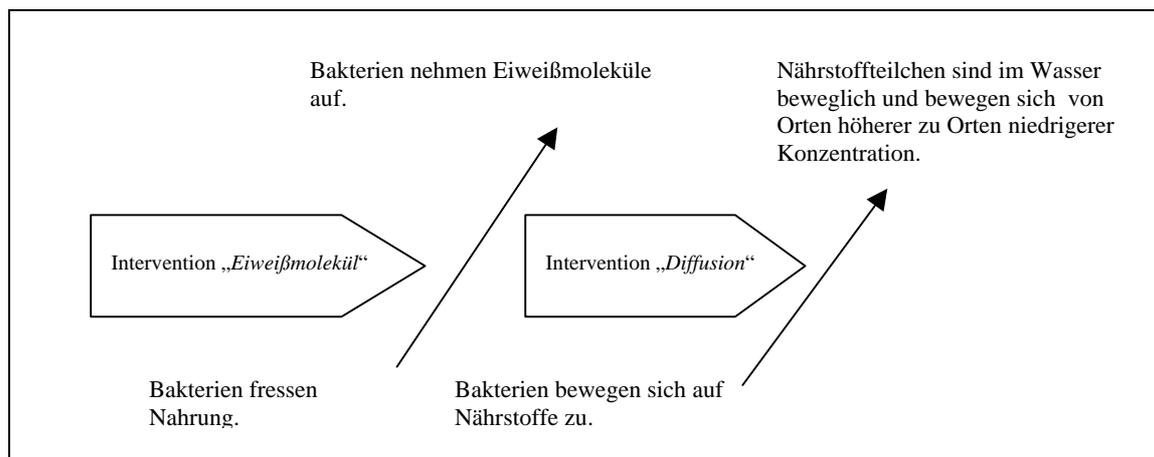


Abb. 9.6: Lernschritte „*Bakterielle Ernährung*“. Die Grafik kann wie folgt gelesen werden: Denken Lerner, dass Bakterien Nahrung fressen, kann die Intervention „*Eiweißmolekül*“ (s. Abb. 9.4) eingesetzt werden, um ihnen Gelegenheit zu bieten, wissenschaftsorientierte Vorstellungen von der bakteriellen Ernährung entwickeln zu können. Analogisieren Lerner makroskopische, partikuläre Substanz (Stoffe) und Nährstoffmoleküle und müssen sich Bakterien aufgrund dieser Vorstellung auf die Nahrung zubewegen, ermöglicht die Intervention „*Diffusion*“ (s. Abb. 9.5) zu denken, dass gelöste Nährstoffe in Flüssigkeiten eigenbeweglich sind und sich von Orten höherer zu Orten niedrigerer Konzentration bewegen.

¹⁵ Nach Bast (2001, S. 64, 65) stellt die verfestigte Form des Agars, ein klares und stabiles Gel dar, das ein weitmaschiges räumliches Netzwerk aus fadenförmigen, locker miteinander verbundenen Makromolekülen repräsentiert. Die Zwischenräume des Gels sind mit Wasser ausgefüllt, durch das gelöste Stoffe wie in einem wässrigen Medium leicht hindurchdiffundieren können. Halbfester Agar (Weichagar), wie ihn die Lerner in ihrem mikrobiologischen Praktikum „gekocht“ haben, „gestattet Mikroorganismen eine ungehinderte Ausbreitung im Medium, verhindert jedoch Konvektionsströmungen“ (ebenda).

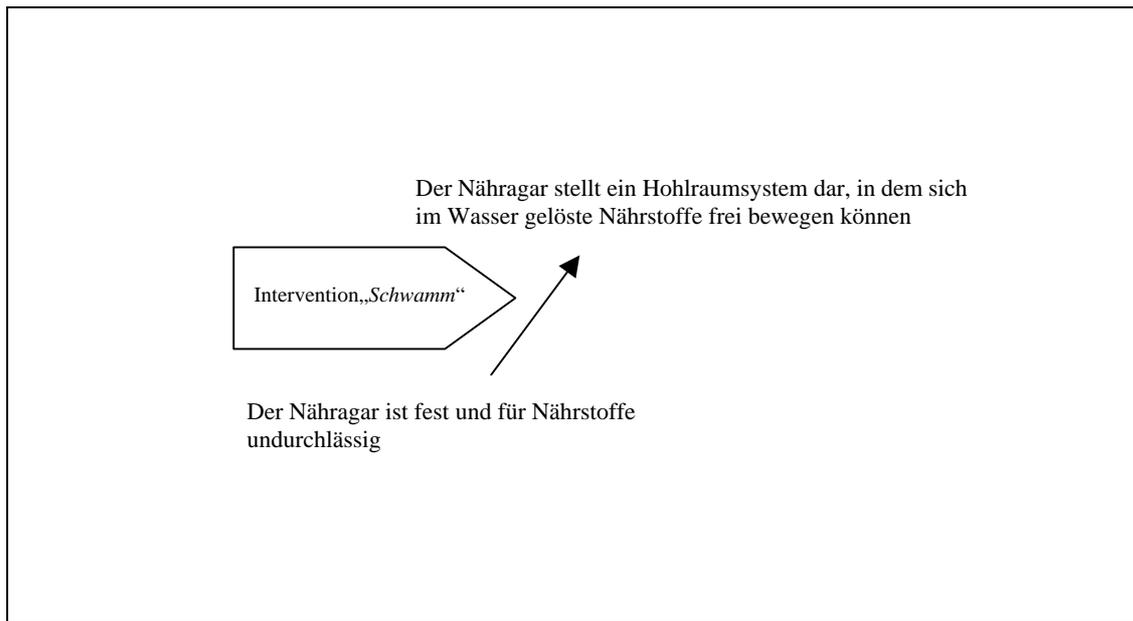


Abb. 9.7: Lernschritt „Nährstoffversorgung im Nähragar“. Die sprachliche Intervention „Schwamm“ (s. Tab. 9.1) gibt Lernern die Gelegenheit, den Nähragar als für Nährstoffe durchlässig und nicht als fest und undurchlässig vorzustellen. Aufgrund der Verfügbarkeit der Vorstellung, dass der Nähragar von einem Hohlraumsystem durchzogen wird, können Lerner ihre Vorstellungen von der Ausbreitung gelöster Nährstoffe in einer Flüssigkeit, die sie im Rahmen der Intervention „Diffusion“ entwickelt haben, auf den Nähragar, in dem sich die Bakterien befinden, übertragen.

9.5 Vorstellungsentwicklungen zum Wachstum der Bakterien

In seinem mikrobiologischen Praktikum hat der Lerner Gerhard Nähragar und Tümpelwasser in Petrischalen miteinander vermischt und die Petrischale dann 24 Stunden im Brutschrank gehalten. Nach der Bebrütung konnte Gerhard Bakterienkolonien beobachten, die in der Zwischenzeit aufgewachsen waren. An dieser Stelle geht es darum herauszufinden, welche Wirkung didaktisch rekonstruierte Interventionen auf das Denken des Lerner im Sinne der Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen vom bakteriellen Wachstum haben.

Um dem Lerner Gerhard die Möglichkeit zu bieten, seine Vorstellungen zum bakteriellen Wachstum zu erweitern, wurde ihm die Intervention „Schichtenstruktur eines Bakteriums“ vorgelegt (s. Abb. 9.8). Es handelt sich dabei um eine einfache Handzeichnung, die ein Bakterium als Zelle zeigt, deren Außengrenze aus zwei Schichten besteht, der außen liegenden bakteriellen Zellwand und der „darunter“ liegenden bakteriellen Zellmembran. Die Intervention bezeichnet wissenschaftliche Vorstellungen zur Schichtenstruktur einer bakteriellen Zelle. Die Handzeichnung wurde Gerhard im Zusammenhang mit der Frage, wie sich Bakterien teilen, vorgelegt. Die Intervention zielt darauf ab, dem Lerner eine Gelegenheit zu bieten, seine Vorstellungen vom bakteriellen Wachstum gedanklich mit mikrobiologischen Vorstellungen von der Bakterienstruktur zu verknüpfen. Mithilfe der Intervention „Funktionsmodell Innendruck“ (Abb. 9.9) wird Gerhard die Möglichkeit geboten, Vorstellungen von Druckbehältern zu entwickeln und diese vom Modell auf ein Bakterium zu übertragen. Die sprachliche Intervention „Konstante Bakterienform“ („Das Stammbakterium hat eine

rechteckige Form, nach der Teilung haben auch die beiden Teilzellen eine rechteckige Form“) bezeichnet die mikrobiologische Vorstellung, dass die aus einer bakteriellen Teilung hervorgegangenen beiden Zellen die Form des Ursprungsbakteriums beibehalten.

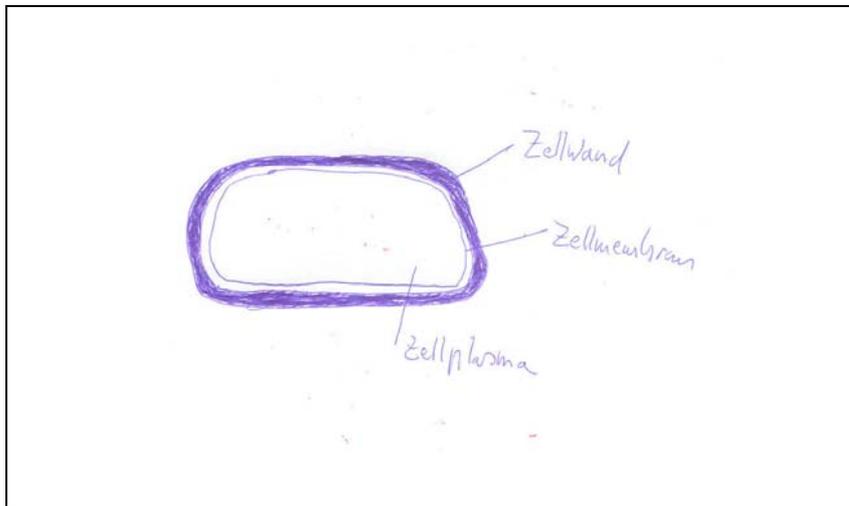


Abb. 9.8: Intervention „Schichtenstruktur eines Bakteriums“. Die Handzeichnung stellt ein Bakterium als Zelle vor, deren Außenbegrenzung von zwei Schichten gebildet wird, der bakteriellen Zellwand und der „darunter“ liegenden bakteriellen Zellmembran. Um die Schichtenstruktur einer bakteriellen Zelle erfassen zu können, wurde die Zellmembran von der massiven Zellwand abgehoben, was mit dem Nachteil verbunden ist, dass ein Zwischenraum entsteht. Real liegt die Zellmembran der bakteriellen Zellwand aufgrund des hohen hydrostatischen Drucks, der in einer bakteriellen Zelle herrscht, eng an. Die Intervention wird auch im Kapitel „Vorstellungsentwicklungen zum Antibiotikum Penicillin“ eingesetzt.

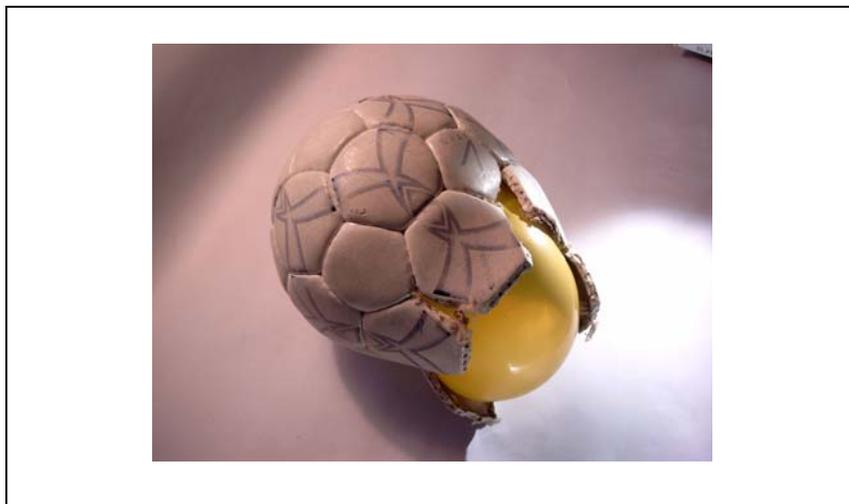


Abb. 9.9: Intervention „Funktionsmodell Innendruck“. Den Lernern werden die Begriffe Zellwand, Zellmembran und Zellplasma genannt und den Komponenten des Modells (Lederhülle, Luftballon, Inhalt des Luftballons) zugeordnet. Die Fotografie zeigt das Modell nachdem der in der Lederhülle befindliche Luftballon vor den Augen der Lerner aufgepumpt wurde. An der Stelle, an der die Lederhülle des Balles aufgeschlitzt wird, tritt der Luftballon aus. Die Intervention wird auch im Kapitel „Vorstellungsentwicklungen zum Antibiotikum Penicillin“ eingesetzt.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Interventionen „Schichtenstruktur eines Bakteriums“, „Funktionsmodell Innendruck“ und „Konstante Bakterienform“

Gerhard stellt sich bakterielles Wachstum als eine Kombination der beiden Schemata *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* vor (s. Gerhard Kap. 7.4.5). Er denkt, dass sich Bakterien durch Teilung (Spaltung) vermehren. Die bakterielle Teilung denkt Gerhard als „Abspalten“ eines „neuen“ Bakteriums, das sich auf der „Zellwand (Außenhaut)“ gebildet hat, seine Vorstellung erinnert an die Sprossung von Zellen der Backhefe *Saccaromyces cerevisiae*. Nach Vorlage der Handzeichnung zur Schichtenstruktur einer bakteriellen Zelle (Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“, s. Abb. 9.8) fertigt Gerhard zur Veranschaulichung seiner auf Bakterien bezogenen Wachstumsvorstellungen eine Handzeichnung an, die ein Bakterium als ovalen *Behälter* erfasst (Handzeichnung 1, s. Abb. 9.10). Gerhard unterscheidet nach bakterieller Zellwand und Zellmembran, allerdings scheint er mit dieser Unterscheidung gedanklich nichts Konkretes zu verknüpfen. Die beiden Strukturen werden als ovale Kreise erfasst, die Grenze zwischen den beiden Schichten der bakteriellen Hülle bleibt unklar.

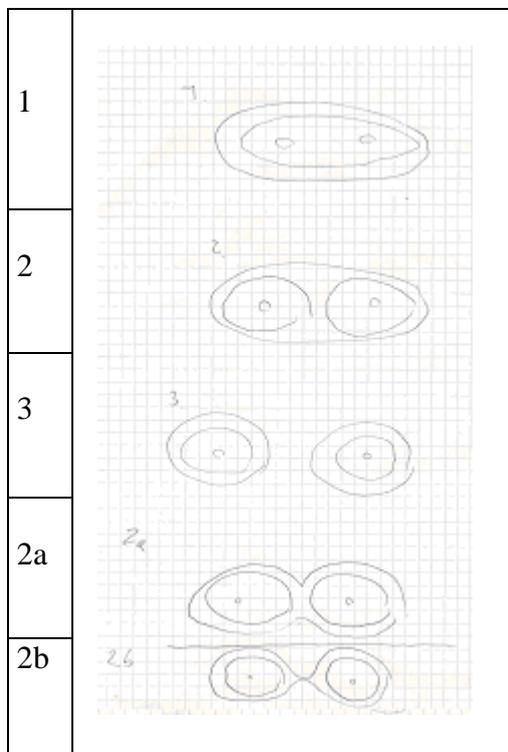


Abb. 9.10: Gerhards Handzeichnungen zur bakteriellen Zellteilung. Gerhard stellt sich die Teilung einer bakteriellen Zelle dreiphasig vor: 1. Verdoppelung des Erbguts, 2. Bildung von zwei Teilzellen innerhalb des Stammbakteriums um das Erbgut herum, 3. Trennung der beiden Teilzellen. Die Phase 3 erfasst Gerhard in Abb. 2a, 2b genauer: Die Hülle des Ursprungsbakterium schnürt sich in der Mitte ein (2a: Frühes Stadium, 2b: Spätes Stadium).

Gerhard: „Ein Bakterium hat außen die Zellwand, dann die Zellmembran und dann ist da dieses Erbgut. Ich mal das mal auf (G. fertigt Handzeichnung 1 an, s. Abb. 9.10). Ich benutze so ein System, dass das Bakterium zweimal Erbgut bildet (s. Handzeichnung 2, s. Abb. 9.10). Im dritten Schritt bilden sich zwei Bakterien aus (s. Handzeichnung 3, Abb. 9.10). Da müsste theoretisch die Zellwand sein, wenn man davon ausgeht, dass der Aufbau der Zelle, der Bakterien vom Erbgut ausgeht. Die Zellwand geht rum, da bildet sich dann die Außenwand langsam wieder zurück. Die Zellwand wäre noch um den ganzen Komplex außen herum. Damit sie sich trennen, müsste die Zellwand durchgetrennt werden, weil sie umschließt die kleinen Bakterien, die sich gebildet haben. Sie werden von einer Zellwand umschlossen. Es kann nicht sein, dass die einfach irgendwo reißt, dann wäre das Erbgut in Gefahr (ungeschützt). (Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“) Da die Bakterienzellen unter einem ziemlich hohen Druck stehen, würde das ganze System ohne die Zellwand nicht funktionieren. Wenn die Zellwand ein Loch hat, dann würde der Inhalt frei liegen, er würde sich ausdehnen. Wie

ich das hier gezeichnet habe, ist es in einem relativ frühen Stadium, die Verbindung zwischen den beiden Teilzellen wird immer dünner, irgendwann trennen sich die beiden Teilzellen (s. Handzeichnung 2a, 2b, Abb. 9.10). Das Problem mit dem hohen inneren Druck habe ich bedacht, so müsste es eigentlich klappen, weil dann wäre das Erbgut jederzeit von Zellwand und von Zellmembran umschlossen. (Sprachliche Intervention „Konstante Bakterienform“) Die Form der beiden Teilzellen ist anders, als ich es gezeichnet habe. Dann müsste sich die Membran auch teilen, damit das entstehen kann (s. Handzeichnung 1a, 2a, 2b, Abb. 9.11). Das würde dann so aussehen, wenn die sich schon geteilt hätte, dann müsste sich auch noch die Zellwand trennen“. (Exp 6, Kol 1, Z 174-179, 186-276, 301, 320-338)

Die bakterielle Zellteilung denkt Gerhard als dreiphasigen Prozess:

1. Verdoppelung des Erbguts
2. Bildung von zwei Teilzellen innerhalb des Stammbakteriums um das Erbgut herum
3. Trennung der beiden Teilzellen

Die Verdoppelung des Erbguts („Ich benutze so ein System, dass das Bakterium zwei Mal Erbgut bildet“) dokumentiert Gerhard mithilfe von zwei Kreisen (Erbgut), die sich innerhalb des Bakteriums befinden (s. Handzeichnung 1, Abb. 9.10). Die Trennung des Erbguts innerhalb des Stammbakteriums dokumentiert Gerhard, indem er um das verdoppelte Erbgut jeweils zwei Kreise zeichnet (s. Handzeichnung 2, Abb. 9.10). Das Ergebnis der bakteriellen Zellteilung erfasst Gerhard zeichnerisch als vollständig individualisierte und etwa gleich große Bakterien, in denen sich jeweils Erbgut befindet (s. Handzeichnung 3, Abb. 9.10). Sprachlich kommentiert Gerhard den Prozess der Trennung, der zwischen seinen Handzeichnungen 2 und 3 liegt, der in seiner Zeichnung aber nicht erfasst ist: Die Zellwand müsse „durchgetrennt“ werden, weil sie die „kleinen Bakterien“, die sich gebildet hätten, „noch“ umschließe. Aufgrund der Behältervorstellung von einem Bakterium stellt sich Gerhard vor, dass die bakterielle Hülle stets geschlossen bleiben muss, da ansonsten das Erbgut in Gefahr sei. Nachdem Gerhard mit der Intervention „Funktionsmodell Innendruck“ Erfahrungen gemacht hat, verfügt er über die Vorstellung einer bakteriellen Zelle als Druckbehälter: In einer bakteriellen Zelle herrscht ein hoher Innendruck, der auf der Zellwand lastet und der bei deren Beschädigung den Inhalt aus der bakteriellen Zelle heraustreibt („Wenn die Zellwand ein Loch hat, dann würde der Inhalt frei liegen, er würde sich ausdehnen“). Gerhard denkt die bakterielle Hülle als Zellwand, er unterscheidet nicht mehr nach bakterieller Zellwand und Zellmembran. Gerhard stellt sich vor, dass die bakterielle Zellwand bei der Zellteilung stets geschlossen sei, da „das ganze System ohne Zellwand nicht funktionieren“ würde. Gerhard wird gebeten, die Vorgänge zwischen Phase 2 und Phase 3, also den eigentlichen Prozess der Trennung der beiden Teilzellen, zeichnerisch zu erfassen. Die Handzeichnung 2a („es ist ein frühes Stadium“) zeigt zwei etwa gleich große Kreise (Teilzellen), die von einer gemeinsamen Zellwand umgeben sind (s. Abb. 9.10, Phase 2a). Die Zellwand beginnt sich in ihrem mittleren Bereich einzuschnüren. In Handzeichnung 2b ist dieser Vorgang fast abgeschlossen (s. Abb. 9.10), die beiden Teilzellen sind fast vollständig voneinander individualisiert, sie hängen nur mehr an einer dünnen Ausziehung der Wandung zusammen. Das Gebilde erinnert an ein Stück Glas, das im zentralen Bereich erhitzt und dabei an gegenüber liegenden Enden auseinandergezogen wurde, so dass sich im erhitzten Bereich eine fadenartige, doppelt konische Ausziehung bildet. Gerhard denkt die bakterielle Zellwand im Zusammenhang mit der Teilung also nicht starr und unflexibel, sondern vielmehr plastisch verformbar, die bakterielle Zellteilung wird wie die Teilung eukaryotischer, tierlicher Zellen vorgestellt, die in der Cytokinese durch einen Schnürring in zwei Zellen geteilt werden. Gerhard überträgt Vorstellungen von der Teilung tierlicher Zellen, die auf unterrichtliche Vermittlung zurückgehen dürften, auf die Teilung von Bakterien.

Nach der sprachlichen Intervention „*Konstante Bakterienform*“ denkt Gerhard, dass die Form der beiden durch Teilung individualisierten Bakterien anders sei als er sie zeichnerisch erfasst habe, seine Vorstellungsentwicklung dokumentiert Gerhard mithilfe der Handzeichnungen 1a, 2a, 2b (s. Abb. 9.11).

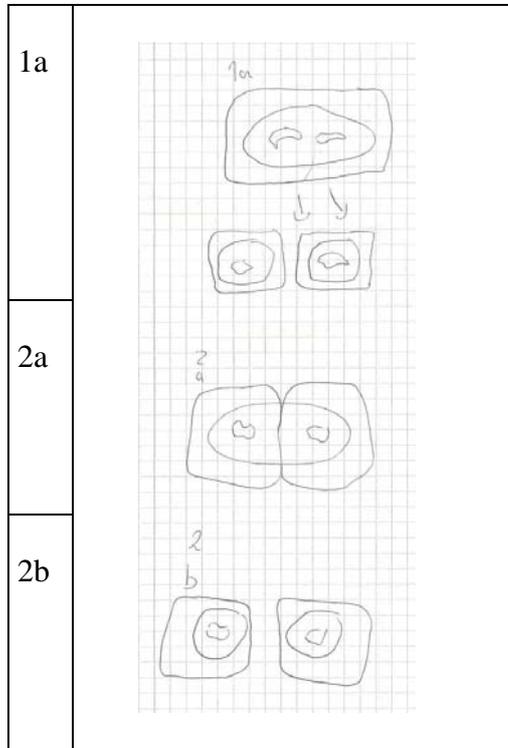


Abb. 9.11: Gerhards Handzeichnungen. Die Teilzeichnungen 1a, 2a, 2b dokumentieren Gerhards Vorstellungsentwicklungen nach der sprachlichen Intervention „*Konstante Bakterienform*“.

Gerhards Vorstellungsentwicklung lässt sich nach dem Schema *Start-Weg-Ziel* (Lakoff 1987, S. 275) gliedern. In Handzeichnung 1a erfasst Gerhard die Start- und Zielsituation: Das rechteckige Stammbakterium weist das verdoppelte Erbgut auf (Start), die beiden aus der Teilung hervorgegangenen Bakterien (Ziel) weisen eine vergleichbare Form wie das Stammbakterium auf. Mithilfe der Abbildungen 2a und 2b erfasst Gerhard den Prozess der bakteriellen Zellteilung (Weg): Das Stammbakterium hat sich durch Einziehung einer trennenden Querwand in ihrem mittleren Bereich in zwei etwa gleich große Teilzellen untergliedert, die Teilzellen hängen aber noch zusammen, beide Teilzellen enthalten Erbgut. Gerhard denkt, dass die beiden noch durch eine gemeinsame Zellwand verbundenen Kammern des Stammbakteriums durch Trennen der Zellwand vollständig individualisiert werden. Mithilfe der Intervention „*Konstante Bakterienform*“ kann sich Gerhard also vorstellen, dass sich Bakterien durch das Einziehen einer trennenden Querwand und einer sich anschließenden Trennung der beiden Teilzellen vermehren. Beide Teilzellen behalten dabei die Form des Stammbakteriums bei.

9.5.1 Bewertung der didaktisch rekonstruierten Lernangebote zum Wachstum der Bakterien

Das Zeichnen hat Gerhard die Möglichkeit geboten, seine Vorstellungen zu bestimmten Aspekten bakteriellen Wachstums zu reflektieren. Gerhard konnte seine Zeichnungen präzisieren oder Veränderungen an ihnen vornehmen, wenn ihm aufgrund seiner im Gespräch erzielten Vorstellungsentwicklung bewusst geworden ist, dass die von ihm zuvor angefertigten Zeichnungen nicht den mikrobiologischen Vorstellungen entsprechen. Die Methode des kommen-

tierten Zeichnens (Gropengießer 1996) hat lernförderliche Wirkung auf Gerhards Vorstellungsentwicklung. Mithilfe der Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“ ist es Gerhard möglich, seine Vorstellungen von Zellteilung auf Bakterien zu übertragen, er denkt die bakterielle Teilung wie die Teilung tierlicher Zellen. Dabei stellt der Sachverhalt, dass bakterielle Zellen im Gegensatz zu tierlichen Zellen eine Zellwand aufweisen, keinen Hinderungsgrund für die Übertragung der Vorstellungen dar. Im Kapitel „*Lernervorstellungen zur Struktur von Bakterien*“ konnte ermittelt werden, dass Lerner Bakterien als *Behälter* denken, der eine Wandung aufweist, zu deren Bezeichnung die Termini Zellmembran und Zellwand verwendet werden. Lernern sind die Konzepte, die hinter den beiden Termini stehen, nicht verfügbar, sie sind gegeneinander austauschbar. Auch Gerhard denkt ein Bakterium als *Behälter*, dessen Wandung er im Zusammenhang mit der bakteriellen Teilung als verformbar vorstellt. Sie kann sich bei der Teilung eines Bakteriums einschnüren, wodurch sich nach der vollständigen Durchschnürung der bakteriellen Stammzelle zwei etwa gleich große Bakterien individualisieren. Aufgrund der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ ist Gerhard eine Vorstellungsentwicklung möglich, nach der die bakterielle Zellwand während des gesamten Teilungsprozesses geschlossen ist, damit z.B. das bakterielle Erbgut, das sich im Innenraum des Bakteriums befindet, geschützt ist und nicht aus der Zelle tritt. Die Bedingungen der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ stellen für Gerhard keinen Widerspruch zur Vorstellung dar, dass ein Bakterium seinen Zelleib in der Mitte durchschnürt. Der Innendruck hindert eine bakterielle Zelle nicht daran, sich einzuschnüren. Da es sich bei der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ um einen Luftballon handelt, der sich in der Lederhülle eines Balles befindet, und der beim Aufpumpen aus der beschädigten Lederhülle des Balles austritt, liegt es nahe anzunehmen, dass Gerhard Vorstellungen von Bällen auf Bakterien überträgt. Die ledrige Außenschicht und die darin befindliche Blase eines mäßig aufgepumpten Lederballes machen diesen gegenüber mechanischen Einflüssen von außen nicht unverformbar. Gerhard dürfte in diesen Erfahrungen gründende Vorstellungen auf eine bakterielle Zelle übertragen. In der Wahl des Balles als Modell ist also aus diesem Grund eine Schwäche der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ zu sehen. Gerhard verfügt nicht über das Wissen von den biomechanischen Zusammenhängen, in denen Mikrobiologen die bakterielle Zellteilung vorstellen. Insbesondere sind es die Materialeigenschaften der bakteriellen Zellwand, die diese einerseits gegenüber dem hohen Innendruck widerständig machen, andererseits einer bakteriellen Zelle aufgrund des hohen Innendrucks aber auch eine Widerständigkeit gegenüber mechanischen Einflüssen von Außen verleiht. Gerhard ermöglichen erst die Bedingungen der Intervention „*Konstante Bakterienform*“ eine Vorstellungsentwicklung, die den mikrobiologischen Vorstellungen von der bakteriellen Zellteilung nahe kommt: Ein Bakterium schnürt sich nicht ein, da es dadurch zu einer Veränderung seiner Form kommt und eine Formkonstanz nicht mehr gegeben ist. Vielmehr unterkammert sich ein Bakterium durch das Einziehen einer trennenden Querwand, die beiden Teilzellen individualisieren sich, indem sie sich im Bereich der Trennwand voneinander trennen. Die beiden aus der Teilung hervorgehenden etwa gleich großen Bakterien weisen die Form des Stammbakteriums auf.

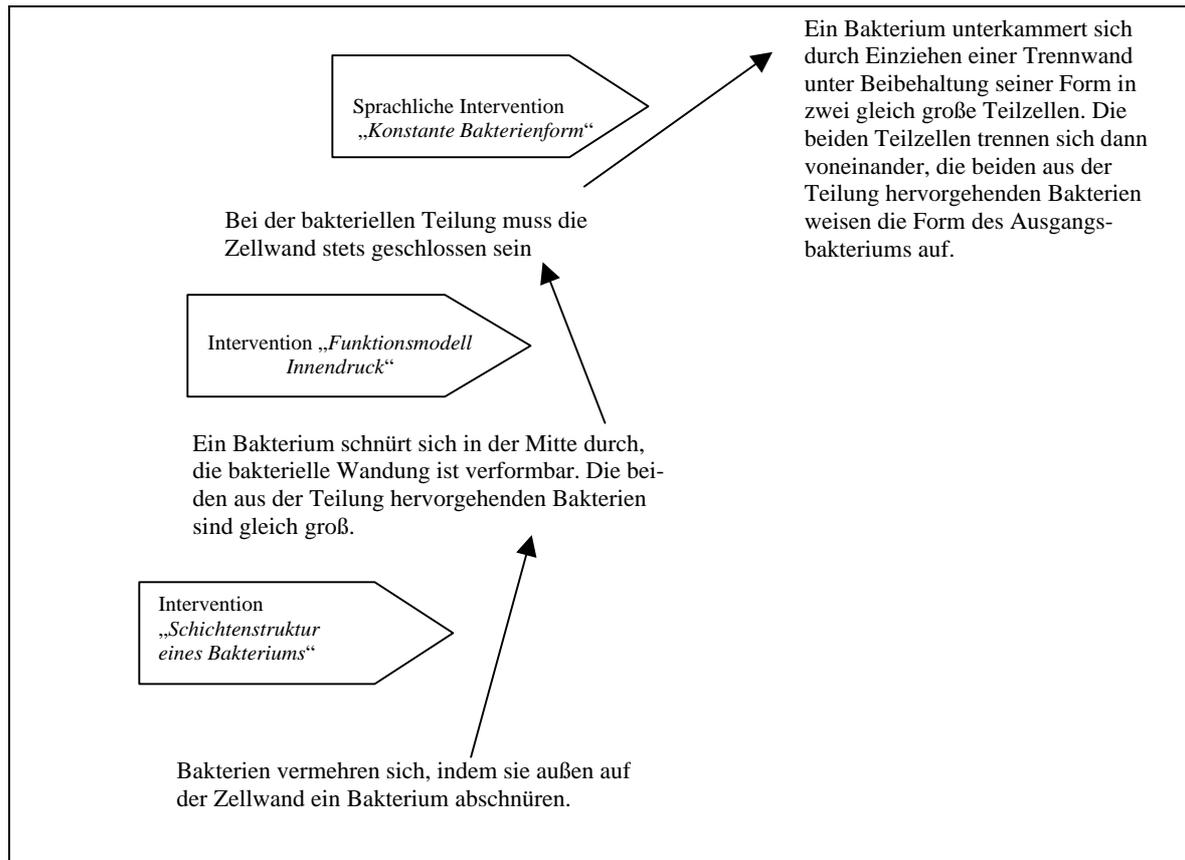


Abb. 9.12: Lernweg „Bakterielle Zellteilung“. Mithilfe der Intervention „Schichtenstruktur eines Bakteriums“ (Abb. 9.8) ist es Lernern möglich, Vorstellungen von Teilen auf die Struktur einer bakteriellen Zelle zu übertragen. Teilt sich ein Bakterium, resultieren zwei etwa gleichgroße Teilzellen. Deren Form entspricht aber nicht der Form des Ausgangsbakteriums, wenn die bakterielle Teilung wie die Cytokinese einer tierlichen Zelle, also als Einschnürung gedacht wird. Die mikrobiologischen Bedingungen der bakteriellen Zellteilung werden mit den Interventionen „Funktionsmodell Innendruck“ (Abb. 9.9) und der sprachlichen Intervention „Konstante Bakterienform“ (s. Tab. 9.1) bezeichnet: Lerner können sich mithilfe der beiden Interventionen vorstellen, dass die bakterielle Zellwand beim gesamten Teilungsprozess stets geschlossen sein muss und, dass sich eine bakterielle Zelle durch das Einziehen einer Querwand unter Beibehaltung ihrer Ausgangsform unterkammert. Lerner können denken, dass sich die beiden Teilzellen voneinander individualisieren, indem sie sich im Bereich der Querwand voneinander trennen, ohne dass dazu die Wandung der beiden Teilzellen geöffnet werden müsste.

9.6 Vorstellungsentwicklungen zum Antibiotikum Penicillin

In ihrem mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner Nähragar, Tümpelwasser und das Antibiotikum Penicillin in Petrischalen miteinander vermischt und die Petrischale dann 24 Stunden im Brutschrank gehalten. Im penicillinhaltigen Ansatz konnten sie – im Gegensatz zum Ansatz ohne Penicillin – keine Bakterienkolonien beobachten. An dieser Stelle geht es darum herauszufinden, welche Wirkung didaktisch rekonstruierte Interventionen auf das Denken der Lerner im Sinne der Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen vom Antibiotikum Penicillin haben.

Um Lernern eine Möglichkeit zu bieten, ihre Vorstellungen von der Wirkung des Antibiotikums Penicillin zu erweitern, wurde die Intervention „*Penicillinwirkung*“ (s. Abb. 9.13) verwendet. Es handelt sich um zwei rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen, die eine der beiden Aufnahmen zeigt ein mit Penicillin behandeltes Bakterium, die andere zeigt Bakterien, die nicht mit Penicillin behandelt wurden. Die Intervention zielt darauf ab, Lernern mediale Erfahrungen mit der intakten und der beschädigten Bakterienstruktur zu ermöglichen, um ihnen eine Gelegenheit zu bieten, diese unter Anlegen des Kriteriums „Welche Schäden richtet Penicillin an der Bakterienstruktur an“ miteinander zu vergleichen.

Die Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ (s. Abb. 9.9) zielt darauf ab, Lernern eine Vorstellungsentwicklung zu den mechanischen Eigenschaften der bakteriellen Wandung zu ermöglichen, um ein Verständnis der Penicillinwirkung zu ermöglichen. Die Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“ (s. Abb. 9.8) bezeichnet mikrobiologische Vorstellungen von der Bakterienstruktur, sie wird eingesetzt, um Lernern eine fachwissenschaftliche Vorstellung von der Schichtenstruktur der bakteriellen Wandung zu vermitteln. Die Intervention „*Bakterienteilung*“ (s. Abb. 9.14) dokumentiert mikrobiologische Vorstellungen zur bakteriellen Zellteilung. Ein Stamm Bakterium unterteilt sich, indem es eine trennende Querwand einzieht. Ausgehend von der Außenzellwand eines Bakteriums wächst diese Trennwand irisblendenartig von der Peripherie eines Bakteriums in sein Zentrum ein und unterkammert es. Das Antibiotikum Penicillin verhindert die Ausbildung dieser Trennwand (Sprachliche Intervention „*Penicillin-Querwand*“: „Das Antibiotikum Penicillin verhindert die Ausbildung der Querwand, der Teilungsprozess wird aber nicht angehalten“). Die Intervention „*Bakterienteilung*“ zielt darauf ab, Lernern eine Möglichkeit zu bieten, ihre Vorstellungen vom bakteriellen *Mehr-Werden* gedanklich mit dem mit fachwissenschaftlichen Methoden ermittelten und rekonstruierten bakteriellen Teilungsprozess (s. Giesbrecht et al. 1998, sowie Fußnote Kap. 4.6.7) zu verknüpfen, um in einem zweiten Schritt wissenschaftsorientierte Vorstellungen zur Penicillinwirkung entwickeln zu können.

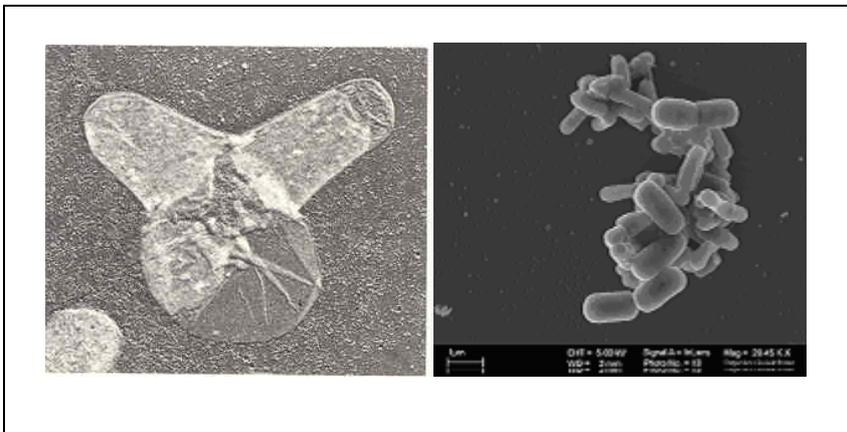


Abb. 9.13: Intervention „*Penicillinwirkung*“. Links: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines mit Penicillin behandelten Bakteriums (aus: Schlegel 1981, S. 47; der Abbildung wurde kein Größenmaßstab zugewiesen). Rechts: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme nicht behandelter Bakterien. Der Maßstab links unten bezeichnet eine Strecke von einem Mikrometer. Die Aufnahme rechts wurde vom Autor angefertigt.

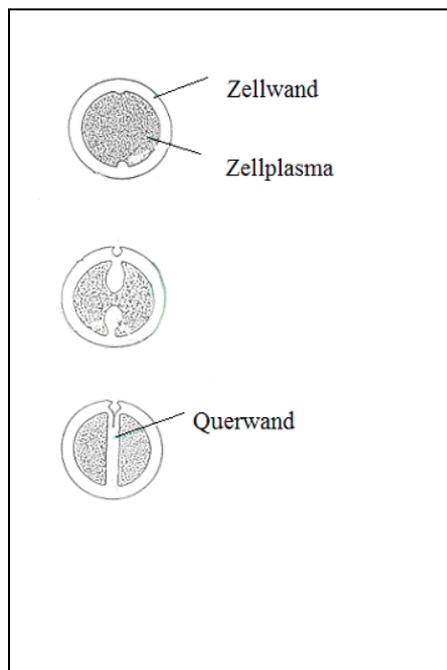


Abb. 9.14: Intervention „Bakterienteilung“ (Abb. nach Giesbrecht et al. 1998, verändert). Zur Abbildung wurde den Lernern die Information gegeben, dass das Antibiotikum Penicillin die Ausbildung der trennenden Querwand verhindert, der bakterielle Teilungsprozess aber nicht angehalten wird.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „Penicillinwirkung“

Benno verfügt über die Vorstellung, dass Antibiotika gegen Bakterien gerichtet sind und diese abtöten (s. Benno Kap. 7.4.6). Das Zitat unten gibt Auskunft über die Vorstellungsentwicklung, die Benno mithilfe der Intervention „Penicillinwirkung“ möglich sind.

Benno: „Das Schadbild einer mit Penicillin behandelten Bakterie kommt durch Überproduktion zustande, dass mehr Zellwand gebildet wird, so dass sie sich selbst zerstört“. (Exp 3, Kol 2, Z 604, 605, 607)

Benno denkt, dass die Veränderungen, die er an der Struktur des mit Penicillin behandelten Bakteriums im Vergleich zu unbehandelten Bakterien erkannt hat, auf penicillinbedingte Stimulation des Zellwandwachstums zurückzuführen sei: Es wird mehr Zellwand gebildet, so dass sich die bakterielle Zellwand „selbst zerstört“. Da Benno über die Vorstellung eines Bakteriums als *Behälter* verfügt (s. Benno Kapitel 7.4.2), kommt die Zerstörung der Behälterwand einer Zerstörung des Bakteriums gleich, eine Unterscheidung nach Innen und Außen ist konstitutiv für die Behältervorstellung ist.

Caroline: „Das Bakterium ist aufgeklafft. (Exp 1, Kol 2, Z 374)

Caroline stellt sich vor, dass das Antibiotikum Penicillin die „Nährstoffe zerstört“ und auf diese Weise bewirkt, dass Bakterien durch Verhungern absterben (s. Caroline Kap. 7.4.6). Mithilfe der Intervention „Penicillinwirkung“ ist es Caroline möglich zu denken, dass Bakterien, die mit Penicillin behandelt worden sind, „aufgeklafft“ seien. D.h., Caroline verfügt über die Vorstellung, dass die Wandung des Bakteriums geöffnet ist und der Inhalt freiliegt

Lilli: „Das Penicillin ist ein Stoff, der die Zellwand von außen zersetzt. (Exp 1, Kol 2, Z 376)

Lilli konnte sich schon bevor sie das durch Penicillin verursachte Schadbild eines Bakteriums gesehen hat vorstellen, dass Penicillin die bakterielle Zellwand angreift und löchrig macht (s.

Lilli Kap. 7.4.6). Sie dürfte ihre Vorstellung von der Penicillinwirkung nach der Intervention „*Penicillinwirkung*“ bestätigt sehen. Lilli verfügt über die Vorstellung, dass das Antibiotikum ein „Stoff“ „ist“, „der die Zellwand von außen zersetzt“. Lilli stellt sich Bakterien als *Behälter* vor, Penicillin zerstört die Behälterwandung, die für die Behältervorstellung konstitutiv ist, da ohne Wandung eine Unterscheidung nach Innen und Außen nicht möglich ist.

Lina: „Normalerweise kann das, was aus der penicillinbehandelten Bakterie ausgetreten ist, nicht raus, weil die Poren der bakteriellen Zellwand zu klein sind. Und wenn die bakterielle Zellwand aufreißt, dann quillt das raus. (Exp 2, Kol 2, Z 345, 346)

Lina verfügt über die Vorstellung, dass Schimmel Penicillin einsetzt, um Bakterien abzuwehren (s. Lina Kap.7.4.6). Mithilfe der Intervention „*Penicillinwirkung*“ ist ihr die Vorstellung verfügbar, dass Penicillin „die bakterielle Zellwand aufreißt“ und der Zellinhalt austritt. Lina verfügt über die Vorstellung, dass „die Poren der Zellwand“ einer nicht mit Penicillin behandelten Bakterie „zu klein sind“, um den Inhalt der bakteriellen Zelle austreten zu lassen. Lina nutzt ihre Vorstellungen zur bakteriellen Ernährung, die sie mithilfe der Intervention „*Eiweißmolekül*“ (s. Abb. 9.4) entwickelt hat, um verstehen zu können, aus welchem Grund der Inhalt eines nicht mit Penicillin behandelten Bakteriums nicht aus der Zelle austritt.

Philis: „Vielleicht greift das Penicillin irgendwie die Zellwand an, so dass die Bakterien aufbrechen. Das, was da aus dem mit Penicillin behandelten Bakterium ausgetreten ist, sind wahrscheinlich die Stoffe, die in der Zelle drin sind“. (Exp 2, Kol 2, Z 339, 342)

Philis denkt, dass Pilze Bakterien mithilfe des Antibiotikums Penicillin abwehren (s. Philis Kap. 7.4.6). Mithilfe der Intervention „*Penicillinwirkung*“ ist es ihr möglich zu denken, dass „Penicillin irgendwie die Zellwand“ angreift, so dass „die Bakterien aufbrechen“. Philis stellt sich Bakterien als *Behälter* vor, deren Wandung einen bakteriellen Innenraum von einem nichtbakteriellen Außenraum trennt. Bricht die Behälterwandung unter der Wirkung des Penicillins auf, tritt der Inhalt des *Behälters* („die Stoffe, die in der Zelle drin sind“) aus.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“

Bereichsspezifisches Wissen zu Verdauungsenzymen nutzt Lina, um die Wirkungsweise des Antibiotikums Penicillin zu verstehen: Penicillin „gehört zu den abbauenden Enzymen“, es baut die bakterielle Zellwand ab.

Lina: „Das Penicillin gehört zu den abbauenden Enzymen, die die bakterielle Zellwand abbauen“. (Exp 2, Kol 2, Z 373)

Linas Vorstellung von der Penicillinwirkung liegt die Behältervorstellung einer bakteriellen Zelle zugrunde. Baut das Antibiotikum Penicillin die bakterielle Zellwand ab, treibt der Innendruck den Zellinhalt aus dem Behälter heraus.

Philis: „Wahrscheinlich ist der Druck in der Zelle höher und wenn die Zellwand angeknabbert ist, kann das den Druck nicht mehr aushalten und bricht“. (Exp 2, Kol 2, Z 353, 354)

Philis überträgt die Bedingungen der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ auf Bakterien. Das Antibiotikum Penicillin „knabbert“ die bakterielle Zellwand „an“, sie hält dann dem Druck in der Zelle nicht mehr stand und „bricht“. Philis denkt eine bakterielle Zelle als Druckbehälter, im unbehandelten Zustand widersteht die bakterielle Wandung dem Innendruck, mit Penicillin behandelt birst der *Behälter*.

Lilli: „Das Zellplasma steht unter Druck, normalerweise macht das nichts, weil die bakterielle Zellwand hart genug ist. Aber wenn Penicillin stärker ist als die Schale, platzt sie, weil sie geschwächt ist“. (Exp 1, Kol 2, Z 426-428)

Lilli überträgt die Bedingungen der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ auf Bakterien, die sie als *Behälter* denkt. Sie stellt sich den Schädigungsmechanismus des Antibiotikums Penicillin zweiphasig vor: Zunächst wird die bakterielle Zellwand penicillinbedingt geschwächt, dann platzt die Behälterwandung („Schale“), weil das in ihr befindliche Zellplasma unter Druck steht. Lillis Verständnis von der Penicillinwirkung liegen verkörperte Vorstellungen von Stärkersein zugrunde, die auf das Antibiotikum Penicillin und Bakterien übertragen werden. Verkörperte Vorstellungen von Stärkersein gründen in Erfahrungen des einander Messens, die z.B. beim Spielen mit physisch stärkeren Partnern gewonnen werden können.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“

Caroline: „Das was aus dem mit Penicillin behandelten Bakterium rausgekommen ist, ist das Plasma und die Zellmembran. Das Penicillin könnte das rausgelockt haben. Das Penicillin könnte das Plasma ernähren, es wächst, bis es platzt.“ (Exp 1, Kol 2, Z 392, 393)

Mithilfe der Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“ kann sich Caroline vorstellen, dass dasjenige „was aus dem mit Penicillin behandelten Bakterium rausgekommen ist“ das „Plasma“ und die „Zellmembran“ ist. Caroline differenziert also nach bakterieller Zellmembran und Zellwand. Da sie die Zellwand als äußere Schicht eines Bakteriums denkt, das sie als *Behälter* vorstellt, tritt der in der bakteriellen Zelle befindliche Inhalt aus. Penicillin lockt ihrer Meinung nach das Plasma aus der Zelle. Caroline überträgt Vorstellungen von Anlocken auf Bakterien. Diese Vorstellungen könnten in Erfahrungen mit Tieren gründen, den man Futter hinhält und die sich nähern. Der *Behälter* einer bakteriellen Zelle wird als eine Art Behausung gedacht, aus dem sich das Plasma locken lässt, da Penicillin das Plasma ernähren könnte. Mit Penicillin behandelte Bakterien können in Carolines Vorstellung an einer Art Überfütterung platzen.

Lilli: „Die Zellwand geht auf und dann fließt es raus, weil das Penicillin die Zellwand brüchig macht, dann geht sie auf und dann fließt das Zellplasma raus. Sonst hat es ja keine Chance, das zu tun“. (Exp 1, Kol 2, Z 394, 396, 397)

Mithilfe der Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“ kann Lilli ihre Vorstellung zur Intervention „*Penicillinwirkung*“ präzisieren. Ihrer Meinung nach geht die Zellwand auf, weil Penicillin die Zellwand brüchig macht. Das Zellplasma fließt aus dem Bakterium heraus. Lilli denkt eine bakterielle Zelle als *Behälter*, dessen Wandung innen und außen voneinander trennt. Das, was sich innerhalb des *Behälters* befindet, wird von der Wandung nicht mit Penicillin behandelte Bakterien am Austreten aus dem *Behälter* gehindert.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Interventionen „*Bakterienteilung*“, „*Penicillin-Querwand*“

Der Lerner Gerhard interpretiert die Abbildung der Intervention „*Bakterienteilung*“ vor dem Hintergrund der Aussage der sprachlichen Intervention „*Penicillin-Querwand*“ („Das Antibiotikum Penicillin verhindert die Ausbildung der Querwand, der Teilungsprozess wird aber nicht angehalten“). Er versteht, dass sich in einem Bakterium nach Einziehen der Querwand

zwei Bakterienzellen befinden und auch, dass sich diese beiden Zellen voneinander trennen müssen, wenn es zur Zellteilung kommen soll (s. Gerhard unten).

Gerhard: „Dann haben wir die Situation, wenn dieser Teil [die bakterielle Querwand] gar nicht erst [gebildet] oder [seine Bildung] gestoppt wird, dann ist hier eine Öffnung, dann ist das ja ungeschützt da drin, und wenn diese Wand wegfällt, dann ist die Außenwand kaputt, die Zelle zerstört sich. Wegen des Drucks kann die Bakterienzelle nicht leben ohne Zellwand. Ich sehe dieses Bild (gemeint ist die Abbildung der Intervention „Penicillinwirkung“) so: Wenn das die Zelle vorher war, dass jetzt diese beiden Teile die Zelle sind (G. fertigt Handzeichnungen 1-3 an, s. Abb. 9.15), und, dass es hier eingerissen ist, und, dass der Inhalt dann da raus quillt. Das Penicillin stoppt das hier (gemeint ist: Die Bildung der Querwand), und, dass dann diese Enzyme, die sind ja darauf vorbereitet, dass diese Wand da ist, automatisch anfangen, diesen Bereich (gemeint ist: Die Außenzellwand des Stammbakteriums, die die Teilzellen verbindet) zu zerstören. Der Inhalt kommt hier raus“. (s. Handzeichnung 3 Abb. 9.15). Im Prinzip denke ich auch, dass Wachstum und Teilung fast dasselbe sind, weil die Prozedur ist, dass die Zelle wächst, sich aufteilt, dass hier zwei Erbsubstanzen vorkommen. Man kann diesen Prozess als Wachstum ansehen, dass sich diese zwei Teile bilden. Das wäre das eine Wachstum, und die zweite Art wäre dann, dass sich zwei Erbsubstanzen bilden, das könnte man auch als Wachstum sehen“. (Exp 6, Kol 1, Z 462-467, 477-485, 489-502, 513-515, 530-532, 538-542)

Dass Gerhard über die Vorstellung verfügt, die Trennung komme dadurch zustande, dass die „alte“ Zellwand, die die beiden Teilzellen miteinander verbindet, durchgetrennt wird, geht aus seinen Handzeichnungen hervor, mithilfe derer er seine Vorstellungsentwicklungen dokumentiert (s. Abb. 9.15).

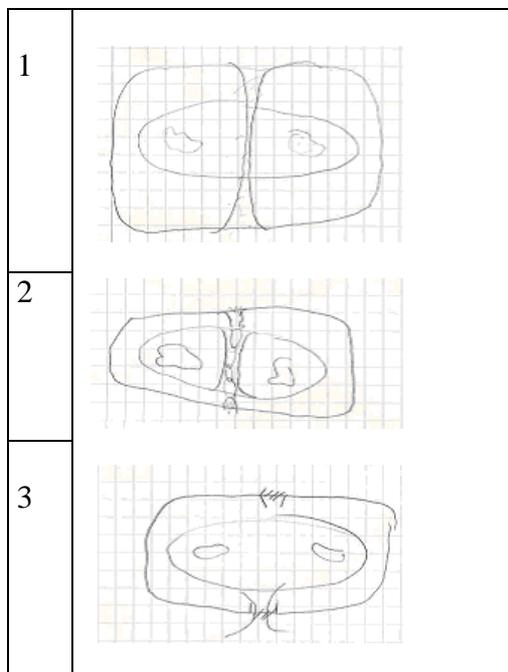


Abb. 9.15: Gerhards Handzeichnung zur Penicillinwirkung. Mithilfe der Teilzeichnungen 1, 2 dokumentiert Gerhard seine Vorstellungen von der Unterteilung einer Bakterienzelle in zwei Teilzellen durch Einziehen einer Querwand. Die Teilzeichnung 3 dokumentiert Gerhards Vorstellungsentwicklung zum Antibiotikum Penicillin: Mithilfe der Zeichnung erfasst der Lerner die Situation einer Bakterienzelle, die aufgrund des Penicillins keine Querwand ausgebildet hat, der bakterielle Teilungsprozess hält aber nicht an. Die Außenzellwand des nicht unterkammerten Bakteriums wird im mittleren Bereich der Zelle – wie bei einem nicht mit Penicillin behandelten Bakterium – abgebaut. An dieser Stelle tritt der Inhalt, der sich im Behältnis der bakteriellen Zellwand befindet, aus.

Gerhard kommentiert seine Zeichnungen sprachlich, er meint, dass Enzyme diejenigen Zellwandbereiche, welche die Teilzellen verbinden, abbauen. Die Enzyme seien darauf vorbereitet, dass die Querwand eingezogen worden sei. Da dies nach Penicillinbehandlung aber nicht der Fall sei und die Enzyme die verbindende Zellwand dennoch abbauten, träte der Inhalt heraus. Es fällt auf, dass für Gerhard eine Unterscheidung nach bakteriellem Wachstum als *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* nicht vorrangig ist („Im Prinzip denke ich auch, dass

Wachstum und Teilung fast dasselbe sind,...“). Diese Meinung dürfte darauf beruhen, dass Gerhard die beiden Teilprozesse bakteriellen Wachstums aufeinander bezogen und als Vermehrung von Bakterien zusammen gehörend denkt. Der Befund überrascht, weil Gerhard ein Verständnis davon entwickelt hat, dass das Antibiotikum Penicillin sehr gezielt in die bakterielle Zellteilung eingreift und keineswegs schädigend auf das *Größer-Werden* von Bakterien einwirkt.

9.6.1 Bewertung der didaktisch rekonstruierten Lernangebote zum Antibiotikum Penicillin

Das Lernerverständnis vom Antibiotikum Penicillin, das nach dem mikrobiologischen Praktikum erfasst werden konnte, ist dadurch gekennzeichnet, dass Penicillin einerseits als Kampfmittel, andererseits als Gift vorgestellt wird (s. Kap. 7.4.6). Lerner stellen sich vor, dass Penicillin von Pilzen als Waffe im Kampf gegen Bakterien eingesetzt wird (*Kämpfende Bakterien und Pilze, Penicillin als Waffe*). Penicillin tötet, vernichtet, bekämpft, zerstört Bakterien oder wehrt sie ab. Wird das Antibiotikum als Gift vorgestellt, handelt es sich um einen Stoff, der von Pilzen abgegeben wird und tödliche Wirkung auf Bakterien hat (*Penicillin als Gift*). Weil Lernern bereichsspezifisches Wissen zum Antibiotikum Penicillin nicht verfügbar ist, übertragen sie lebensweltliche Vorstellungen auf das Antibiotikum Penicillin. Bei diesem metaphorischen Verständnis beziehen Lerner Vorstellungen von Bakterien als Zellen meist nicht mit ein. Mithilfe der angebotenen Lernmöglichkeiten konnten bei den befragten Lernern Vorstellungsentwicklungen erfasst werden, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sich ihr Denken etappenweise den mikrobiologischen Vorstellungen von der Penicillinwirkung annähert.

Mithilfe der vorgelegten Fotografien von mit Penicillin behandelten und unbehandelten Bakterien (s. Intervention „*Penicillinwirkung*“) können Lerner das Antibiotikum Penicillin gedanklich mit ihrer Vorstellung von Bakterien als Behältern verknüpfen: Fast alle Lerner denken, dass die bakterielle Wandung durch Penicillin zerstört worden sei, sie denken Bakterien als geborstene *Behälter*. Da die Wandung eines Bakteriums konstitutiv für die Behältervorstellung ist, kann ein bakterieller Innenraum nach deren Zerstörung nicht mehr vom nichtbakteriellen Außenraum unterschieden werden. Mithilfe der Intervention „*Schichtenstruktur eines Bakteriums*“ entwickeln Lerner Vorstellungen davon, um welche Strukturen es sich handelt, die bei einem mit Penicillin behandelten Bakterium aus der Zelle ausgetreten sind. Aufgrund der Erfahrungen mit der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ können Lerner denken, dass es der hohe Innendruck ist, der in einem Bakterium herrscht, der nach penicillinbedingter Beschädigung oder Zerstörung der bakteriellen Wandung den Inhalt aus einem Bakterium her austreibt. Lerner können Bakterien als geborstene Druckbehälter vorstellen. Aufgrund dessen denken Lerner den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung nahe beieinanderliegend: Penicillin beschädigt die bakterielle Außenzellwand, sobald diese dem Innendruck nicht mehr standhält, platzt ein Bakterium auf. Während der Vorteil der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ darin zu sehen ist, dass Lerner die mikrobiologischen Bedingungen verstehen, unter denen Bakterien nach einer Beschädigung der bakteriellen Wandung als von der Umgebung abgegrenzte Einheit aufhören zu existieren, liegt ein Nachteil aus fachwissenschaftlicher Perspektive darin, dass Ursache und Wirkung des Antibiotikums Penicillin tatsächlich weder zeitlich noch räumlich so nahe beieinander liegen, wie Lerner es sich nach der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ vorstellen. Mithilfe der Intervention „*Bakterienteilung*“ können Lerner ihre Vorstellungen von der bakteriellen Zellteilung erweitern: Sie kann als zweiphasiger Prozess gedacht werden. Zunächst zieht ein in Teilung begriffenes Bakterium eine Trennwand ein, später trennen sich die beiden Teilzellen. Mithilfe der sprachlichen Intervention „*Penicillin-Querwand*“ können Lerner die Wirkung des Antibiotikums Penicillin gedanklich mit ihren

wissenschaftsorientierten Vorstellungen vom bakteriellen Teilungsprozess verknüpfen. Penicillin verhindert die Ausbildung der Trennwand, die Schäden an der bakteriellen Struktur treten erst ein, wenn die bakterielle Zelle sich teilt. Das Lernerverständnis hat sich mithilfe der Interventionen dahingehend entwickelt, dass Ursache und Wirkung des Antibiotikums Penicillin sowohl räumlich als auch zeitlich auseinanderliegend vorgestellt werden. Um welche Zeitspanne es sich aber handelt, die zwischen Ursache und Wirkung liegt, können Lerner nicht angeben, da ihnen bereichsspezifisches Wissen vom bakteriellen Teilungszyklus nicht verfügbar ist.

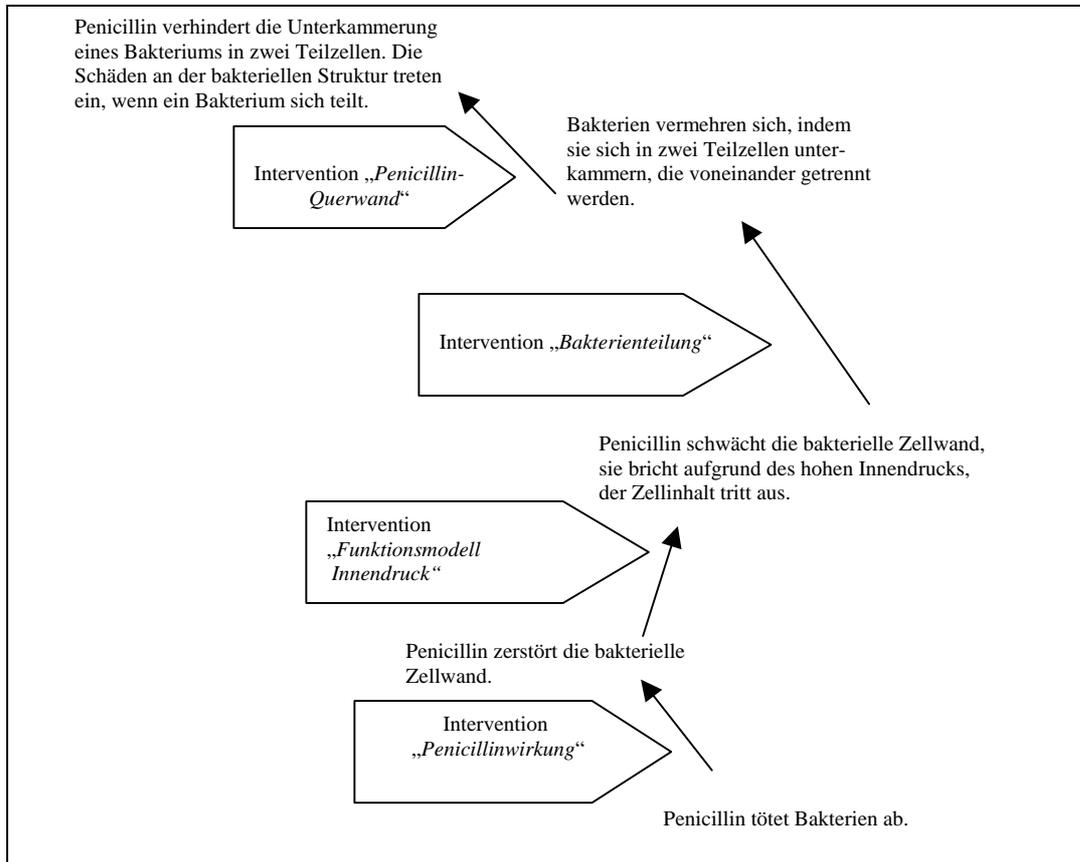


Abb. 9.16: Lernweg „Penicillinwirkung“. Die Grafik kann wie folgt gelesen werden: Verfügen Lerner über die Vorstellung „Penicillin tötet Bakterien ab“, verknüpfen diese Vorstellung aber nicht mit ihrer Vorstellung von Bakterien als Zellen, dann gibt ihnen das Lernangebot der Intervention „Penicillinwirkung“ (s. Abb. 9.13) Gelegenheit, die Vorstellung „Penicillin zerstört die Wandung eines Bakteriums“ zu entwickeln. Verfügen Lerner über die Vorstellung Penicillin wirke auf die bakterielle Zellwand ein, können sie aufgrund der Intervention „Funktionsmodell Innendruck“ (s. Abb. 9.9) die Vorstellung entwickeln, dass es der hohe Innendruck ist, der nach Penicillin bedingter Zerstörung oder Schwächung der bakteriellen Zellwand den Zellinhalt aus der Bakterie treibt (Ursache und Wirkung des Penicillins liegen zeitlich und räumlich sehr nahe beieinander). Die Intervention „Bakterienteilung“ (s. Abb. 9.14) ermöglicht es Lernern die bakterielle Zellteilung als zweiphasigen Prozess zu denken: Zunächst zieht ein in Teilung begriffenes Bakterium eine Querwand ein, um die beiden Teilzellen später voneinander zu trennen. Mithilfe der sprachlichen Intervention „Penicillin-Querwand“ können Lerner wissenschaftsorientierte Vorstellungen von den Ursachen und Wirkungen des Antibiotikums Penicillin entwickeln: Penicillin verhindert die Ausbildung der Querwand, die Schäden an der bakteriellen Struktur treten erst ein, wenn die bakterielle Zelle sich teilt (Ursache und Wirkung des Penicillins liegen zeitlich und räumlich nicht nahe beieinander).

9.7 Vorstellungsentwicklungen zu Bakterienkolonien

In ihrem mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner Nähragar und Tümpelwasser in Petrischalen miteinander vermischt und nach 24-stündiger Bebrütung Bakterienkolonien beobachtet. An dieser Stelle geht es darum herauszufinden, welche Wirkung didaktisch rekonstruierte Interventionen auf das Denken der Lerner im Sinne der Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen von Bakterienkolonien haben.

Mithilfe der Intervention „*Papierteilen*“ (nach Riemeier 2005) sollen die Lerner aufgefordert werden, ihre Vorstellungen zum Wachstum von Bakterien zu reflektieren. Die Lerner zerreißen ein Stück Papier, die Masse des Ganzen bleibt gleich, die Anzahl der Teile hingegen verdoppelt sich, die Teile werden kleiner. Die Intervention zielt darauf ab Lernern eine Gelegenheit zu bieten, den Widerspruch zwischen der Bakterienverkleinerung durch Teilung und dem Wachstum von Bakterienkolonien zu reflektieren.

Mithilfe der Intervention „*Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie*“ (s. Abb. 9.17) können Lerner die mediale Erfahrung machen, dass Bakterienkolonien aus zahlreichen Bakterien bestehen, und ihre darin gründenden Vorstellungen mit ihren Vorstellungen vom Koloniewachstum verknüpfen.

Mithilfe einer Sequenz aus dem Film „Die Zelle 2“ (Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg) der Intervention „*Filmsequenz*“ können Lerner mediale Erfahrungen mit dem mikroskopischen Wachstum von Bakterien als *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* machen. Die Sequenz zeigt drei separate Bakterienkolonien, die zum Beginn der Sequenz aus 6, 13, und 14 Bakterien bestehen. Es wird gezeigt, dass die Bakterien synchron an Größe zunehmen und sich dann teilen. Die drei Bakterienkolonien nehmen dabei an Größe zu und wachsen aufeinander zu, sind aber nicht konfluent. Die im Film gezeigten Bakterien wachsen auf dem Objektträger in einzelliger Lage, was insofern nicht den Bedingungen im Nähragar entspricht, als die Bakterienkolonien dort dreidimensional an Größe zunehmen. Im Film werden keine Angaben dazu gemacht, um welchen Zeitraum es sich handelt, der im Zeitraffer erfasst ist. Die Sequenz ist 5 Sekunden lang (Bandposition: min.: sec. 03,11-03,16) und wird den Lernern sowohl in Standardbandgeschwindigkeit (Dauer: 5 sec.) als auch in Einzelbildabfolge (Dauer: 25 sec.) mehrfach vorgeführt. Die Intervention zielt drauf ab, Lernern eine Möglichkeit zu bieten, Vorstellungen zum Wachstum von Bakterienkolonien als Gegenstände des Mikrokosmos zu entwickeln, und diese im Hinblick auf ihre Vorstellungen von makroskopischen Bakterienkolonien zu reflektieren. Bei den Analysen des Aussagenmaterials wird zu klären sein, ob Lernern aufgrund der medialen Erfahrungen mit der Intervention „*Filmsequenz*“ ein Verständnis möglich ist, dass das Wachstum einer Bakterienkolonie als Ganzes auf das Wachstum ihrer Bakterien zurückzuführen ist. Das filmische Material wurde weiterhin genutzt, um Lernern einen etwas anderen Zugang zu den mikrobiologischen Sachverhalten der Filmsequenz mithilfe von Zeichnungen zu ermöglichen (Intervention „*Koloniewachstum*“ und „*Zelllinie*“, s. Abb. 9.18. 9.19). Bei den Zeichnungen der beiden Interventionen handelt es sich um die Umrisszeichnungen von wachsenden Bakterienkolonien sowie von einzelnen Bakterien, die vom Autor anhand des filmischen Materials angefertigt wurden. Die Zeichnungen bezeichnen einerseits die mikrobiologische Vorstellung, dass mikroskopische Bakterienkolonien größer werden, zum anderen, dass die Bakterien der Kolonien dabei größer werden und sich teilen. Bei den Abbildungen der Intervention „*Koloniewachstum*“ handelt es sich um drei Zeichnungen, die den Flächeninhalt einer wachsenden Bakterienkolonie an drei verschiedenen Zeitpunkten (t_1 , t_2 , t_3). Bei den Abbildungen der Intervention „*Zelllinie*“ handelt es sich um drei

Zeichnungen, die die Größen mehrerer Bakterien aus der Kolonie der Intervention „Koloniewachstum“ an den Zeitpunkten t_1 , t_2 , t_3 wiedergeben. An den aus den Bakterienkolonien heraus vergrößerten Bakterien ist einerseits zu erkennen, dass bakterielle Zellen nicht in die Breite sondern nur in die Länge wachsen, und andererseits, dass sich die Bakterien in ihrer Mitte teilen.

Mithilfe der Intervention „Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien“ (s. Abb. 9.20) können Lerner mediale Erfahrungen mit der Struktur von Bakterienkolonien machen. Die Abbildung zeigt den Schnitt durch eine Bakterienkolonie. Da es sich um eine transmissionselektronenmikroskopische Darstellung handelt, sind die Bakterien zweidimensional und im Anschnitt als kreisförmige oder ovale Gebilde dargestellt. Die Abbildung zielt darauf ab, Lernern eine Möglichkeit zu bieten, ihre Vorstellungen von der Struktur einer Bakterienkolonie, die in den Erfahrungen mit der Bakterienkultur gründen, zu erweitern. Die Lerner kennen Bakterienkolonien als Gegenstände des Makrokosmos, zu klären wird sein, welche Vorstellungen Lerner mithilfe der Abbildung entwickeln und wie sie ihre Vorstellungen von der mikroskopischen Abbildung gedanklich mit ihren Vorstellungen von Bakterienkolonien als Gegenstände des Makrokosmos verknüpfen.

Die Intervention „Netz“ (s. Abb. 9.21) wird eingesetzt, um Lernern eine Möglichkeit zu bieten, Vorstellungen zur Struktur des Nähragars zu entwickeln. Sie können Erfahrungen mit dem Maschennetz eines Topreinigers machen, in dessen Maschensystem ein Knopf hinein manipuliert werden kann. Das Maschennetz setzt dem Knopf einen gewissen Widerstand entgegen. In den Gesprächen mit den Lernern wird erfasst, welche Vorstellungen Lerner mithilfe der Intervention „Netz“ entwickeln können und in welcher Weise sie ihre Vorstellungen von der makroskopischen auf die mikroskopische und submikroskopische Größenebene übertragen, um ein Verständnis der Situation der Bakterien im Nähragar zu erreichen.

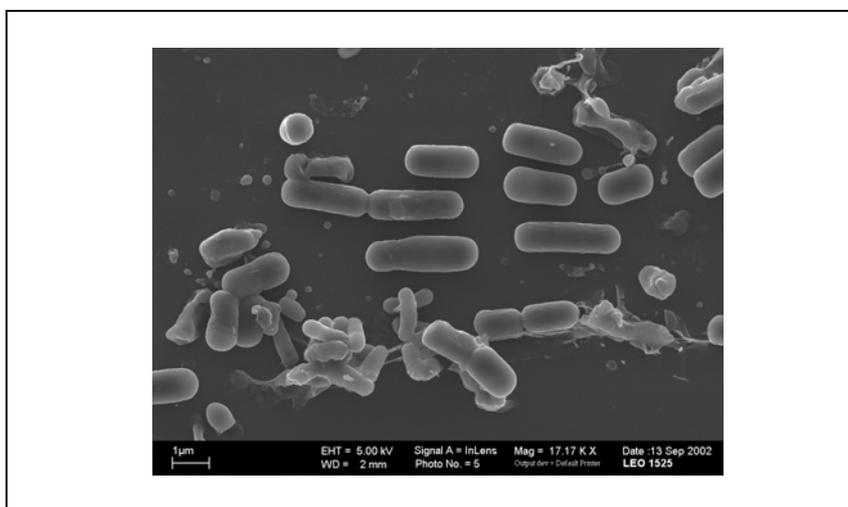
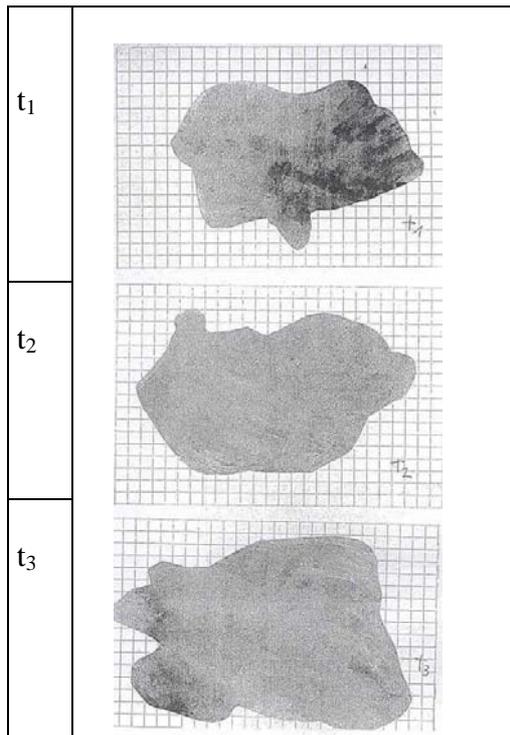


Abb. 9.17: Intervention „Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie“. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Abstrichs, der von einer Bakterienkolonie genommen wurde. Zur Abbildung gibt der Interviewer die Information, dass die dargestellten Bakterien von einer Bakterienkolonie abgenommen und dann im Zoologischen Institut der Universität Hamburg mithilfe eines Rasterelektronenmikroskops sichtbar gemacht wurden. Der Maßstab links unten bezeichnet eine Strecke von einem Mikrometer (Abbildung vom Autor angefertigt).



Wachstumsprozesses gemacht.

Abb. 9.18: Intervention „Koloniewachstum“. Die Bilderfolge wurde nach Vorlage einer mikroskopischen Filmaufnahme (s. Intervention „Filmsequenz“) angefertigt (aus: Die Zelle 2, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg). Die Bilderfolge erfasst den Umfang einer Bakterienkolonie zu Beginn (t₁), in der Mitte (t₂) und zum Ende (t₃) der Sequenz. Im Film werden keine Angaben zur realen Dauer des im Zeitraffer erfassten

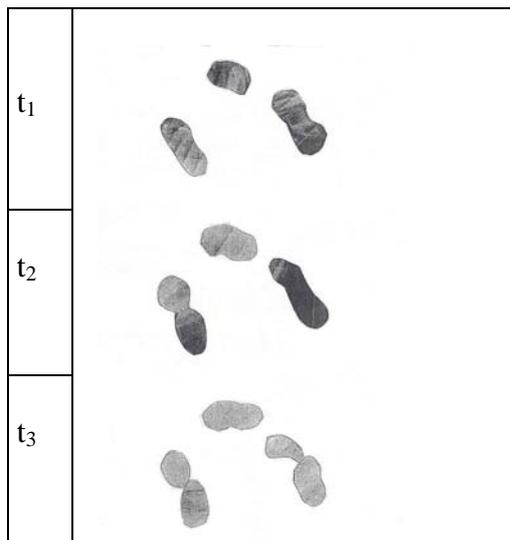


Abb. 9.19: Intervention „Zelllinie“. Die Bilderfolge wurden nach Vorlage einer mikroskopischen Filmaufnahme (s. Intervention „Filmsequenz“) angefertigt (aus: Die Zelle 2, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg). Die Bilderfolge erfasst den Umfang und die Gestalt von Bakterien zu Beginn (t₁), in der Mitte (t₂) und zum Ende (t₃) der Sequenz. Im Film werden keine Angaben zur realen Dauer des im Zeitraffer erfassten Wachstumsprozesses gemacht.

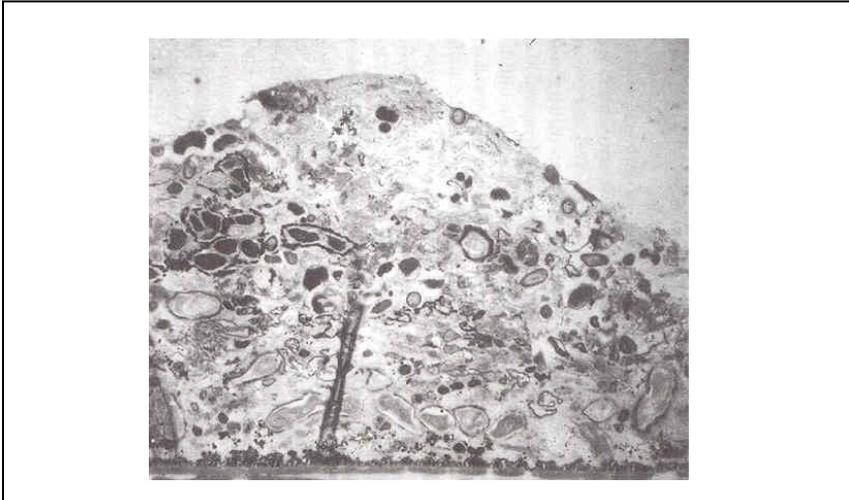


Abb. 9.20: Intervention „Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien“. Zu sehen ist der Schnitt durch eine Bakterienkolonie. Die Bakterien der Kolonie sind im Anschnitt als kreisförmige oder ovale Gebilde zu erkennen. Die Lerner bekommen die Information, dass es sich bei der transmissionselektronenmikroskopischen Aufnahme um einen Schnitt durch eine Bakterienkolonie handelt, und dass es sich bei den kreisförmigen Gebilden um angeschnittene Bakterien handelt (Abb. aus Brill 1995, S. 37, Aufnahme im Original ohne Größenmaßstab).



Abb. 9.21: Intervention „Netz“. Mithilfe der Intervention haben Lernern eine Möglichkeit, Vorstellungen zur Struktur des Nähragars zu entwickeln. Bei dem dargestellten Gegenstand handelt es sich um ein flexibles Netz, das die Struktur des Nähragars repräsentiert. Durch die Maschen des Netzes passt ein Knopf, der ein Bakterium repräsentiert, hindurch.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „Papierteilen“

Mithilfe der Intervention „Papierteilen“ haben Lerner eine Gelegenheit das Schema *Teil-Ganzes* (s. Winston et al. 1987) auf Bakterien und Bakterienkolonien zu übertragen und den Zusammenhang zwischen dem Wachstum einzelner Bakterien und Bakterienkolonien zu reflektieren. Im Kapitel „Lernervorstellungen zum Wachstum von Bakterien“ konnte erfasst werden, dass mehrere Lerner über das Schema bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* durch Teilung verfügen, nicht aber zugleich auch über das Schema bakteriellen Wachstums als *Größer-Werden*. Der experimentelle Befund, dass im Nähragar nach der Bebrütung mit

bloßem Auge Kolonien wahrzunehmen sind, kann fachwissenschaftlich befriedigend nicht erklärt werden, weil Bakterien dann zwar mehr aber insgesamt nicht größer werden und es zu keinem Zellbiomassenzuwachs kommt.

Katja: „Wenn man ein Blatt Papier durchreißt und dann beide Blätter noch mal durchreißt, sind es vier. Das kann erklären, dass man die Bakterien in der Tümpelwasserprobe nicht sehen kann, wohl aber, wenn man im Nähragar bebrütet hat, weil es dabei viel mehr Bakterien werden“. (Exp 4, Kol 2, Z 146, 150)

Katja überträgt das Ergebnis der Intervention „*Papierteilen*“ auf Bakterien. Sie denkt, dass die Vermehrung der Papierstücke durch wiederholtes Zerreißen erklären kann, dass man Bakterien nach der Bebrütung im Nähragar sehen kann, „weil es dabei viel mehr Bakterien werden“. Da es aber durch bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* durch Zellteilungen ohne *Größer-Werden* der Bakterien zu keinem Zellbiomassezuwachs kommt, kann Katjas Konzept das Sichtbarwerden von Bakterienkolonien nicht erklären.

Lisa: „Die Mutter muss so groß sein, dann teilt die sich einmal, dann sind die beiden so klein, dann wachsen die, bis sie groß genug sind, um selber wieder so eine Mutter zu sein, dann teilen die sich noch mal und alle vier wachsen auch. Und es werden immer mehr und mehr und immer größer und dann sieht man die irgendwann. Wenn die Bakterien sich nur teilen würden, dann würde man sie wahrscheinlich noch schlechter sehen“. (Lisa; Exp 4, Kol 2, Z 158-162, 166)

Lisa verfügt über die beiden Schemata bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden* (s. Lisa Kap. 7.4.5). Die Ergebnisse der Intervention „*Papierteilen*“ überträgt sie auf die Bakterien, mit denen sie im mikrobiologischen Praktikum experimentiert hat. Bakterien teilen sich in Lisas Vorstellung, die beiden kleineren Bakterien, die aus der Teilung hervorgehen, müssen auf eine bestimmte Größe heranwachsen, um sich ihrerseits zu teilen. Dadurch werden es „immer mehr“ Bakterien, die Masse der Bakterien wird „immer größer“ und „dann sieht man die“ Bakterien „irgendwann“ im Nähragar. Lisa stellt sich die bakterielle Vermehrung exponentiell und synchron vor. Sie denkt, dass Bakterien, die sich nur teilen, nicht sichtbar werden. Sie bezeichnet ein Bakterium, das sich teilt als „Mutter“, Lisa überträgt verkörperte Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Mutter gründen, auf Bakterien. Geht man davon aus, dass Lisa bakterielles *Mehr-Werden* metaphorisch als Geburt vorstellt, bestehen zwischen der Geburt eines Menschen und eines Bakteriums in Lisas Vorstellung grundsätzliche Unterschiede. Denn Lisa denkt, dass die aus einer Teilung resultierenden beiden Bakterien größer werden müssen, um sich ihrerseits wieder teilen zu können („dann wachsen die, bis sie groß genug sind, um selber wieder so eine Mutter zu sein“). Die vier aus dieser zweiten Teilung hervorgehenden Bakterien werden wiederum größer („und alle vier wachsen auch“) und teilen sich dann wieder. Der von Lisa vorgestellte bakterielle Wachstumsprozess entspricht den fachwissenschaftlichen Vorstellungen, die bakterielle „*Mutter*“ hört auf zu existieren, wenn sie sich teilt und geht in zwei Bakterien auf, bei denen es sich um die „*Kinder der Mutter*“ handelt. Lisas Konzept impliziert, dass die bakteriellen Kinder alle gleichen Alters sind und ihre Mutter nicht kennenlernen, weil diese mit ihrer Geburt aufhört zu existieren.

Luka: „Die Bakterien werden vergrößert, auch noch dicker. Wenn die Bakterien sich nur teilen würden, dann würde es die gleiche Masse sein und größer verteilt“. (Exp 3, Kol 2, Z 153, 156)

Luka verfügt über die Vorstellung bakteriellen Wachstums als *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* durch Teilung von Bakterien (s. Luka Kap. 7.4.5). Mithilfe der Intervention „*Papier-teilen*“ ist es dem Lerner möglich, seine Vorstellungen vom bakteriellen Wachstum zu präzisieren: Die Masse von Bakterien, die sich nur teilen, würde gleich bleiben, aber auf mehr Bakterien verteilt sein, die von Teilung zu Teilung zwar an Zahl zu-, aber an Größe abnehmen würden.

Maja: „Die Bakterien müssen eine bestimmte Größe erreichen, um sich wieder zu teilen, das machen sie, indem sie fressen. Dann bilden sich diese Zellen, aus denen die Kolonien bestehen oder mehrere Zellen dehnen sich aus und werden größer“. (Exp 5, Kol 1, Z 340, 341, 361, 363)

Maja ist zwar im Zusammenhang mit bakteriellem Wachstum das Konzept *Mehr-Werden* durch Teilung verfügbar, nicht aber das Konzept *Größer-Werden* (s. Maja Kap. 7.4.5). Mithilfe der Intervention „*Papier-teilen*“ haben sich ihre Vorstellungen vom bakteriellen Wachstum erweitert, Maja bezieht das Schema *Größer-Werden* in ihre Vorstellungen vom Aufbau einer Bakterienkolonie mit ein. „Bakterien müssen eine bestimmte Größe erreichen, um sich wieder zu teilen“. Dadurch „bilden“ sich Majas Meinung nach „diese Zellen“, aus denen „Kolonien bestehen“. Maja kann sich den Aufbau von Kolonien aber auch durch alleiniges *Größer-Werden* von Bakterien vorstellen, demnach „dehnen sich“ mehrere Zellen „aus (werden größer)“ und werden als Kolonie sichtbar.

Nina: „Es ist nicht mehr geworden, das ist eine Mutterzelle, die teilt sich und geht in zwei über. Die wachsen dann genauso groß, wie die Vorherigen und teilen sich dann wieder. So geht es immer weiter, dass die kleinen Bakterien, die sich geteilt haben, genauso groß werden und sich wieder teilen. Wenn sich die Bakterien immer nur teilen würden, glaube ich nicht, dass man sie sehen könnte, weil sie dann genauso klein wie vorher wären, nur, dass es dann viele kleine Bakterien gibt“. (Exp 1, Kol 2, Z 125-128, 131, 132)

Nina überträgt ihre Vorstellungen, die sie mithilfe der Intervention „*Papier-teilen*“ entwickelt hat, auf Bakterien: Bakterien vermehren sich ihrer Meinung nach zwar auch durch Teilung, im Unterschied zum Papier, das in zwei Hälften geteilt wird, wachsen Bakterien in Ninas Vorstellung nach der Teilung wieder auf die Ausgangsgröße an, bevor sie sich erneut teilen. Nina denkt die bakterielle Vermehrung exponentiell und synchron. Bakteriell Wachstum als *Mehr-Werden* durch Teilung ohne *Größer-Werden* kann Ninas Meinung nach den experimentellen Befund des Sichtbarwerdens von Bakterienkolonien nicht erklären. Nina geht davon aus, dass die bakterielle Zellbiomasse durch Wachstum als *Mehr-Werden* lediglich auf mehr Bakterien verteilt wird, ohne dass man die vermehrten Bakterien mit bloßem Auge wahrnehmen könne.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „*Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie*“

Margot kann sich vorstellen, dass ein mikroskopisch kleines Bakterium auf eine Größe heranwächst, so dass es mit bloßem Auge wahrgenommen werden kann (s. Konzept *Kolonie=Bakterium* Kap. 7.4.7). Nach dieser Vorstellung handelt es sich bei den nach der Bebrütung der Petrischalen mit bloßem Auge zu beobachtenden Kolonien also eigentlich gar nicht um Kolonien sondern um ein einziges Bakterium.

Margot: „Ich habe gerade ein Bild im Kopf, die Bakterien sind ja so wurmartig, ich habe so etwas mal auf Fotos in einem Buch gesehen, wie sich Bakterien im Zeitraffer vermehrt haben.

Ein Bakterium hat sich geteilt, es sah fast so aus, als wäre da ein anderes Bakterium rausgekommen, es da irgendwie raus geboren wird“. (Exp 7, Kol 1, Z 246-266)

Mithilfe der Intervention „*Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie*“ (s. Abb. 9.17) ist Margot in der Lage, ihr Konzept *Kolonie=Bakterium* zu reflektieren. Aufgrund der in der Abbildung dokumentierten Bakterien einer Kolonie kann Margot ihre Vorstellung von den experimentell dargestellten Bakterienkolonien mit schon bestehenden Vorstellungen von bakteriellem Wachstum als *Mehr-Werden* gedanklich verknüpfen und Bakterienkolonien als vielzellig strukturiert denken. Die Abbildung der Intervention erinnert sie an Fotos, die sie mal in einem Buch gesehen hat, auf denen sich vermehrende Bakterien im „Zeitraffer“ zu sehen waren. Die Vermehrung der Bakterien deutet Margot als Geburt („...es sah fast so aus, als wäre da ein anderes Bakterium raus gekommen, es da irgendwie raus geboren wird“).

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Interventionen „Filmsequenz“, „Koloniewachstum“ und „Zelllinien“

Krista denkt, dass es sich bei dem, was in der Filmsequenz größer geworden ist („Das, was gewachsen ist“) um „Stäbchen (Stäbchenbakterien“) handele. Die Lernerin hat also einzelne, stäbchenförmige Bakterien und deren *Größer-Werden* wahrgenommen, nicht aber, dass sich die Bakterien auch geteilt haben.

Krista: (Intervention „*Filmsequenz*“) „Das, was gewachsen ist, waren Stäbchen, vielleicht Stäbchenbakterien. (Interventionen „*Koloniewachstum*“ und „*Zelllinien*“). Die Aussage, dass es nur ein Bakterium gibt, das sich teilt und alle anderen nicht, ist falsch, weil sonst könnte sich das Bakterium in so einer kurzen Zeit gar nicht so viel vermehren und nicht an mehreren Stellen gleichzeitig. Die Aussage, hier ist eine Bakterie und dann kommen welche darauf zugewandert, ist falsch, weil es Bakterien sind, die sich eigentlich gar nicht selbständig bewegen können, deswegen könnten sie gar nicht drauf zuwandern. Bakterien, die von außen hinzukommen, braucht man eigentlich nicht, um die Koloniebildung zu erklären. Es waren im Videofilm drei Haufen, in denen sich die Bakterien einzeln vermehrt haben und dadurch sich dann zu einem großen Haufen zusammengeschlossen haben. Nein, es sind keine Bakterien von außen hinzugekommen. Ich würde nicht sagen, dass der Satz, Bakterien bilden nur im Agar Kolonien, weil der Agar die Bakterien zusammen hält, stimmt, weil auch in jeder anderen Konsistenz, in der die Bakterien sich vermehren, würden sie zusammengehalten, weil die Bakterien zum Teil selbst keine Bewegungsorgane haben, sie sich somit selbst gar nicht fortbewegen können, deswegen können die Bakterien nach der Vermehrung nicht weg. (Exp 10, Kol 1, Z 7, 46, 47, 63-73, 85-90, 93, 177-187)

Mithilfe der Interventionen „*Koloniewachstum*“ (s. Abb. 9.18) und „*Zelllinie*“ (s. Abb. 9.19) ist es Krista möglich zu denken, dass sich Bakterien teilen, also mehr werden. Sie hält die Aussage, dass es nur ein Bakterium in einer Kolonie gebe, dass sich teile, für falsch. Dies begründet sie damit, dass sich „das Bakterium in so kurzer Zeit“ „nicht so viel vermehren“, könne, womit sie die im Film gezeigte Vermehrung der Bakterien meint. Da unklar ist, um welche Zeitspanne es sich handelt, die im Zeitraffer zu sehen ist, werden Krista als Vergleichsmaßstab Vorstellungen von Vermehrungsprozessen makroskopischer biologischer Gegenstände gedient haben, an denen gemessen Krista die bakterielle Vermehrungstätigkeit als sehr hoch vorstellt. Krista hält die Aussage, dass sich Bakterienkolonien durch das Zusammenkommen von Bakterien bilden, aus zwei Gründen für falsch: Einerseits stellt sie sich Bakterien als nicht bewegungsfähig vor, andererseits hat die Lernerin im Film wahrgenommen, dass keine Bakterien „von außen“ hinzugekommen sind, vielmehr haben sich die Bakterien „einzeln vermehrt“.

Verena: (Intervention „*Filmsequenz*“) „Auf dem Video habe ich gesehen, dass da was wächst. Was da gewachsen ist, weiß ich auch nicht so genau. Dass etwas gewachsen ist, habe ich daran erkannt, dass die gesamte Menge größer wird, nicht die einzelnen Teile, die blieben gleich groß, aber das Gesamte, also da waren diese Stäbchen-Bakterien und die sind zusammen gegangen. (Interventionen „*Koloniewachstum*“ und „*Zelllinien*“). Die Bakterien haben sich vielleicht geteilt. Wenn sich alle Bakterien teilen, dann werden die größer, das kann das Größerwerden der Bakterienansammlung erklären. Die einzelnen Bakterien wachsen dann wieder an, bis sie wieder diese Größe haben, wo sie sich teilen und dann geht das immer so weiter. Erst war da ein Bakterium, das sich geteilt hat, dann haben die beiden sich wieder geteilt und dann wurden es immer mehr, es sind auf der Stelle solche Bakterien, so große, richtige Bakterienkolonien sind es nicht... Aber, ich glaube nicht, dass sich die Bakterien direkt aufeinander zu bewegen. Im Film sah es schon so aus, als wenn die Bakterien zusammen kommen würden und das nicht nur durch Wachstum, sondern durch selbständiges aufeinander zu Bewegen. Ich glaube, dass zu Beginn einer Kolonie ein Bakterium ist, das sich vermehrt, dann bilden sich darum ganz viele Bakterien, weil sie sich immer weiter teilen. Weil da erst nur eine Bakterie ist, bilden sich immer solche Kolonien (solche Ansammlungen). Ich glaube, wenn die Bakterien in der Petrischale ganz nahe aneinander liegen würden, dann würden sie auch zusammen kommen. Aber ich glaube, der Nähragar ist ein relativ fester Untergrund, da können sich die Bakterien nicht so weit bewegen, sondern bilden sich immer an das erste Bakterium. Die Bakterien der Ansammlung, die sich teilen, sind doch immer außen, die drücken sich wahrscheinlich weg, wenn sich innen in der Ansammlung drin eine Bakterie teilt (eine neue entsteht), dann drückt die die anderen Bakterien wahrscheinlich nach außen, wenn die Bakterienansammlung wächst. Innen in der Bakterienansammlung befindliche Bakterien teilen sich auch“. (Exp 10, Kol 1, Z 2, 4, 10-14, 25, 29-38, 59, 60, 75-81, 96-126, 159-162, 165)

Verena weiß zunächst nicht, um welchen biologischen Gegenstand es sich handelt, dessen Wachstum sie mithilfe der Intervention „*Filmsequenz*“ wahrgenommen hat. Verena hat Schwierigkeiten, mit dem Mikroskop vergrößerte Bakterien als Zellen zu identifizieren. Im Kapitel „*Lernervorstellungen zur Struktur von Bakterien*“ konnte ermittelt werden, dass Lernern Vorstellungen von der strukturellen Variabilität von Zellen nicht verfügbar sind. Aus diesem Grund dürfte es Verena auch schwer fallen, die im Film gezeigten Bakterien als Zellen zu identifizieren, weil sie nicht exakt ihrem Bild von einer Zelle entsprechen. Verena greift im Verlaufe des Gesprächs die Vorstellung ihrer Gesprächspartnerin Krista auf, dass es sich bei den einzelnen Teilen um „Stäbchenbakterien“ handele.

Verena deutet die Intervention „*Filmsequenz*“ dahingehend, „dass etwas gewachsen ist“, was sie daran erkannt hat, dass „die gesamte Menge größer wird“. Verena hat also das *Größer-Werden* als Ganzes wahrgenommen. Sie verfügt über die Vorstellung, dass zwar das Ganze größer geworden ist, nicht aber dessen Teile („nicht die einzelnen Teile, die blieben gleich groß“).

Aufgrund ihrer Vorstellungen von Bakterienkolonien, die in Erfahrungen mit der Bakterienkultur gründen, hält Verena die „Bakterienansammlungen“, die sie im Film wahrgenommen hat, für keine richtigen Bakterienkolonien. Verena legt bei dieser Aussage das Kriterium der Größe an, die Bakterienansammlungen weisen nicht die Größe der im Nähragar wahrgenommenen Kolonien auf. Qualitative Kriterien (z.B. unterschiedliche Transparenz, Morphologie oder Dimensionalität der Kolonien) legt die Lernerin bei ihrem Vergleich nicht an.

Während Verena im Film zwar das *Größer-Werden* einer Bakterienkolonie, nicht aber das *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* der Bakterien wahrgenommen hat, ist es der Lernerin mithilfe der Interventionen „*Koloniewachstum*“ und „*Zelllinie*“ möglich, ihre Vorstellungen vom *Größer-Werden* einer Bakterienkolonie auf das *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* der Bakterien zurückzuführen („Die einzelnen Bakterien wachsen dann wieder an, bis sie wieder diese Größe haben, wo sie sich teilen“). Verena verfügt über die Vorstellung, dass die Bakterien im Film auf „Stellen“ verteilt waren und an diesen Stellen „erst ein Bakterium“ gewesen ist, das sich vermehrt hat. Sie denkt also ein Bakterium als Begründer einer Kolonie. Beim *Größer-Werden* einer Kolonie drücken Bakterien, die sich innerhalb der Kolonie teilen, andere Bakterien nach außen.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“

Krista vergleicht die Abbildung der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ (s. Abb. 9.20) mit der Videosequenz der Intervention „*Filmsequenz*“: Sie hat nicht wahrgenommen, dass die Bakterien im Film „in die Höhe“ (also dreidimensional) gewachsen sind, vielmehr sind sie Kristas Meinung nach nur in die Breite gewachsen. Aufgrund dessen stellt sie sich die „Bakterienansammlungen“, deren Wachstum im Film gezeigt wurde, zweidimensional vor. Bakterienkolonien kann sie sich nach der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ dreidimensional vorstellen. Die Bakterien der Kolonie sind in Kristas Vorstellung auch „in die Höhe gewachsen“.

Krista: „Diese Aufnahme unterscheidet sich von der Videoaufzeichnung dadurch, dass wir zumindest nicht sehen konnten, dass die Bakterien im Videofilm in die Höhe gewachsen sind. Die Bakterienansammlungen im Film sind zweidimensional“. (Exp 10, Kol 1, Z 134, 136, 142)

Kristas Vorstellung, dass die Bakterien einer Kolonie in die Höhe wachsen, geht auf eine Übertragung verkörperter Vorstellungen zurück, die in Erfahrungen mit der Orientierung des eigenen Körpers im Raum gründen (Lakoff et Johnson 2000, S. 22). Krista überträgt das Schema *oben-unten* auf das Wachstum der Bakterienkolonien. Nähragar und Tümpelwasser hat die Lernerin in den „Boden“ der Petrischalen pipettiert und dann einen Deckel aufgelegt, die Bakterienkolonien sind vom Boden auf in die Höhe gewachsen.

Verena: (Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“) „Ich sehe da, ehrlich gesagt, nicht so viel. Ich frage mich, ob hier der Boden der Kolonie ist. Dann scheint es so, dass die Bakterien der Kolonie nicht zur Seite, sondern auch nach oben wachsen. Die Bakterien, die wir im Film gesehen haben, haben sich nur zur Seite ausgebreitet, die Bakterien der Aufnahme haben sich auch nach oben ausgebreitet“. (Exp 10, Kol 1, Z 123-129, 128, 129, 139, 140)

Verena hat zunächst Schwierigkeiten die Abbildung der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ zu deuten. Sie nimmt zum einen die zelluläre Struktur der Abbildung nicht wahr, zum anderen kann sie die Abbildung gedanklich nicht mit ihren Vorstellungen von makroskopischen Bakterienkolonien, die sie im Nähragar ihrer Petrischalen wahrgenommen hat, verknüpfen. Verena fragt sich, wo „der Boden der Kolonie“ ist. Verena kann sich vorstellen, dass die Bakterien der Kolonie nicht nur „zur Seite“ sondern auch „nach oben“ gewachsen sind (die Bakterien „haben sich auch nach oben ausgebreitet“). Im Unterschied dazu haben sich die Bakterien im Film Verenas Meinung nach „nur zur Seite ausge-

breitet“. Verena kann Bakterienkolonien mithilfe der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ dreidimensional denken.

Vorstellungsentwicklungen mithilfe der Intervention „Netz“

Die Lerner haben in ihrem mikrobiologischen Praktikum die experimentelle Erfahrung gemacht, dass der flüssige Nähragar, mit dem sie die Tümpelwasserproben vermischt haben, in den Petrischalen geliert ist. Darin gründen Lernervorstellungen vom festen Nähragar. Im Kapitel „*Lernervorstellungen zu Bakterienkolonien*“ konnte das Konzept *Mutterstädte-Kolonien* erfasst werden, Lerner denken, dass die Bakterien einer Kolonie vom umgebenden Nähragar zusammen gehalten werden. Mithilfe der Intervention „Netz“ (s. Abb. 9.2.1) können Lerner am Modell Vorstellungen zur Struktur des Nähragars entwickeln, in den die Bakterien einer Kolonie eingebettet sind.

Krista verfügt über die Vorstellung, dass die Bakterien einer Kolonie aufgrund der „Konsistenz“ des Nähragars zusammengehalten werden (s. Krista, weiter oben). Mithilfe der Intervention „Netz“ ist es ihr möglich zu denken, dass die Bakterien durch die „Maschen des Agargels passen“, weil die Bakterien ansonsten an der Entwicklung gehindert seien und nicht zu Kolonien aufwachsen („dann würden sie sich gar nicht soweit entwickeln (wachsen)“, „das Agargel“ „hält“ „die Bakterien“ „nicht fest“).

Krista: (Intervention „Netz“) „Wenn die Bakterien nicht durch die Maschen des Agargels passen würden, dann würden sie sich gar nicht soweit entwickeln. Dass Bakterien im Agar Kolonien bilden können, setzt voraus, dass die Bakterien zu einer Kolonie wachsen, weil man sie sonst nicht sehen könnte, und das Agargel die Bakterien auch nicht festhält, weil sie sonst gar nicht so weit wachsen könnten, so dass man eine Kolonie sieht“. (Exp 10, Kol 1, Z 273, 290, 291, 296, 297)

Krista stellt sich die Struktur des Nähragars als Netz vor, dessen Maschen eine Größe aufweisen, durch die Bakterien hindurchgelangen können. Da Krista andererseits über die Vorstellung verfügt, dass Bakterien nicht eigenbeweglich sind (s. Krista, weiter oben), kann die Lernerin denken, dass sich vermehrende Bakterien als Kolonien zusammenbleiben und sich nicht im Nähragar verteilen. Der Nähragar hat in Kristas Vorstellung also zwei Eigenschaften: Er zwingt die Bakterien einer Kolonie einerseits nicht ein, so dass sie am Wachstum gehindert wären, andererseits setzt er aufgrund seiner Konsistenz den Bakterien einer Kolonie aber auch einen mechanischen Widerstand entgegen, so dass sie sich nicht im Nähragar verteilen und dann als Kolonie nicht mehr wahrnehmbar wären.

Robert: (Intervention „Netz“) „Das Netz des Agars hält die Bakterien unter der Bedingung zusammen, dass das Bakterium so groß ist, dass es durch die Maschen des Agargels nicht durchpasst. ..Dass Bakterien im Agar Kolonien bilden können, setzt voraus, dass das Agargel die Bakterien nicht bindet“. (Exp 10, Kol 1, Z 248, 294)

Mithilfe der Intervention „Netz“ kann sich Robert einerseits vorstellen, dass „das Netz des Agars“ Bakterien nur zusammenhält, wenn diese größer als die Maschen des Agargels sind. Andererseits stellt sich Robert vor, dass Bakterien im Nähragar nur unter der Bedingung Kolonien bilden können, dass „das Agargel die Bakterien nicht bindet“. Die in experimentellen Erfahrungen gründende Vorstellung, dass Bakterienkolonien im Nähragar aufwachsen, führt Robert darauf zurück, dass im Nähragar auch der zur Vergrößerung der Kolonien benötigte Raum zur Verfügung steht. Robert kann mithilfe der Intervention „Netz“ Vorstellungen von Netzen auf den Nähragar übertragen. Den Knopf konnten die Lerner in den Topfreiniger

hineinmanipulieren, indem sie sein maschenbildendes Material verschoben haben, so dass die Weite der Maschen zugenommen hat. Aufgrund der Bedingungen des Modells der Intervention „Netz“ kann man davon ausgehen, dass sich Robert vorstellt, dass Bakterien die Maschen des Nährgarnetzes weiten, indem sie das maschenbildende Material wie bei einem Pullover, durch dessen Gewebe man mit einem Finger sticht, verschieben.

Verena: (Intervention „Netz“) „Wenn das Gel löchrig ist und die Bakterien da Halt finden würden, dass sie da vielleicht reinfallen oder stecken bleiben, könnte ich mir bei diesem Netz vorstellen. Die Bakterien bleiben im Netz stecken, weil sie kleiner sind als diese Maschen. Wenn die Bakterien größer als die Maschen des Agargels wären, dann würden sie in das Agargel aber gar nicht erst reinpassen. (V. versucht einen Knopf durch das Maschennetz des Gelmodells zu drücken) Der Knopf springt. So richtig bewegt sich das Maschennetz nicht, aber der Knopf geht auch nicht richtig da rein. Ja, doch, ja, es geht. Bei dem Gelmodell ist es kein Hindernis, der Knopf passt durch die Maschen durch. Wenn man die Petrischalen noch hätte länger stehen lassen, dann wären die Kolonien vielleicht noch weiter gewachsen (hätten sich weiter bewegt). Wenn die Bakterien nicht durch die Maschen des Agargels passen würden, dann hätten sie keinen Platz und könnten sich gar nicht verändern (teilen)“. (Exp 10, Kol 1, Z 205-223, 228, 229, 231, 233, 236-244, 250-256, 275, 276).

Verena verfügt über die Vorstellung, dass der Nähragar ein fester Untergrund ist, der der Beweglichkeit der Bakterien einen Widerstand entgegensetzt (s. Verena, weiter oben). Verena analogisiert Maschennetz und Knopf der Intervention „Netz“ mit Nähragar und Bakterium, sie denkt, die Größe eines Bakteriums müsse geringer als die Weite der Maschen des Nährgarnetzes sein, damit das Bakterium darin hängen bleibt („Die Bakterien bleiben im Netz stecken, weil sie kleiner sind als diese Maschen“). Auf den ersten Blick scheint diese Aussage widersprüchlich zu sein, denn wenn die Größe eines Bakteriums geringer als die Weite der Maschen ist, bleibt es auch nicht stecken. Zu verstehen ist diese Aussage, wenn man bedenkt, dass Verena zwei Anforderungen an den Nähragar stellt: Seine Maschen sollen so groß sein, dass Bakterien in den Nähragar passen („Wenn die Bakterien größer als die Maschen des Agargels wären, dann würden sie in das Agargel aber gar nicht erst reinpassen“), Bakterien im Nähragar sollen zugleich aber auch „Halt finden“, also als Kolonie zusammen gehalten werden. Nachdem Verena den Knopf in das Maschennetz, das sich etwas widerständig zeigte, hineinwirken konnte, sieht sie sich in ihrer Vorstellung bestärkt, dass die Größe der Bakterien geringer ist als die Maschenweite des Nährgargels („Wenn die Bakterien nicht durch das Netz passen würden, dann hätten sie keinen Platz und könnten sich gar nicht verändern (teilen)“). Aufgrund der Widerständigkeit des Maschennetzes dürfte sie ihre Anforderung, dass das Nährgargel den Bakterien einer Kolonie gleichzeitig auch Halt bieten kann, als gegeben ansehen.

9.7.1 Bewertung der didaktisch rekonstruierten Lernangebote zu Bakterienkolonien

Mithilfe der Intervention „Papierteilen“ ist es allen Lernern – bis auf eine Ausnahme – möglich, ihr Konzept bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* um das Schema *Größer-Werden* zu ergänzen, um den experimentellen Befund zu erklären, dass sich nach der Bebrütung der Petrischalen Bakterienkolonien im Nähragar befunden haben. Die Lerner können sich vorstellen, dass Bakterien, die sich durch Teilung vermehren, zwar mehr aber eben auch kleiner werden. Ohne Zuwachs an Zellbiomasse aber bleiben die Bakterien in den Vorstellungen der Lerner Gegenstände der mikroskopischen Größenebene. Damit wird die lernförderliche Wirkung der Intervention, die von Riemeier (2005) in etwas abgewandelter Form in Vermittlungsexperimenten eingesetzt wird, bestätigt. Die Intervention „Papierteilen“ bietet Lernern weitere Gelegenheiten, ihre Vorstellungen von Bakterien zu entwickeln. Lerner reflektieren

nach der Intervention die Bakteriengröße sowie die „*verwandtschaftlichen Beziehungen*“ innerhalb einer Bakterienkolonie. Die Bakteriengröße kann aufgrund der Erfahrungen mit „*Papierteilen*“ als nach „*oben*“ und „*und*“, „*unten*“ begrenzt gedacht werden: Die geringste Größe weisen Bakterien unmittelbar nach ihrer Teilung auf, am größten sind Bakterien unmittelbar vor der Teilung, Lerner stellen sich die Größe von Bakterien als variabel vor. Sich teilende Bakterien werden von mehreren Lernern metaphorisch als Mutter vorgestellt. Aus einer bakteriellen Teilung gehen zwei Bakterien hervor, wobei die Mutter aufhört zu existieren, wenn sich die beiden Teilzellen, also die Kinder, individualisiert haben. Die Vorstellung impliziert, dass in einer Bakterienkolonie zu einem gegebenen Zeitpunkt entweder Mütter, Kinder oder Heranwachsende existieren.

Mithilfe der Abbildung der Intervention „*Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie*“ ist es Lernern möglich, ihre Vorstellung von der Struktur einer Bakterienkolonie zu reflektieren und diese als mehrzellig zu denken. Lerner können ihre Vorstellungen von den experimentell dargestellten Bakterienkolonien aufgrund medialer Erfahrungen mit verfügbaren Vorstellungen von Wachstum als *Mehr-Werden* gedanklich verknüpfen und die vielzellige Struktur der Kolonien auf die bakterielle Vermehrungstätigkeit zurückführen. Eine andere Möglichkeit, Erfahrungen mit der zellulären Struktur zu stiften, könnte bei einem größeren Zeitangebot dadurch erreicht werden, dass Lerner Abstriche von Bakterienkolonien mithilfe des Lichtmikroskops untersuchen.

Mithilfe der Intervention „*Filmsequenz*“ ist es Lernern zwar möglich wahrzunehmen, dass die im Film gezeigten Bakterienkolonien an Größe zunehmen und die Bakterien mehr werden, nicht aber, dass die Bakterien größer werden und sich teilen. Dieser Befund dürfte darauf zurückzuführen sein, dass sich die Filmaufnahme durch einen hohen Komplexitätsgrad auszeichnet, die Bakterien der drei gezeigten Kolonien nehmen synchron an Größe zu und teilen sich. Die Lerner richten ihre Aufmerksamkeit auf die Bakterienkolonien als Ganzes und nehmen wahr, dass diese an Größe zunehmen und die Abstände zwischen den Kolonien aufgrund dessen geringer werden, sie richten ihre Aufmerksamkeit nicht auf einzelne Bakterien der Kolonien. Die medialen Erfahrungen mit der mikroskopischen Filmaufnahme können also von Lernern nicht genutzt werden, ihre Vorstellungen vom *Größer-Werden* einer Bakterienkolonie gedanklich mit dem *Mehr-Werden* und *Größer-Werden* der Bakterien zu verknüpfen. Dies bedeutet aber auch, dass mikroskopische Erfahrungen mit sich vermehrenden Bakterien keine lernförderlicheren Wirkungen gehabt hätten, weil die gezeigten Abläufe aufgrund ihrer Dauer für Lerner in „*Echtzeit*“ noch schwerer zugänglich gewesen wären. Die gezeigte Filmsequenz ist aus diesem Grund auch nicht als Ersatz für eine originale mikroskopische Begegnung der Lerner mit Bakterien ausgewählt worden (vgl. Hering u. Killermann 1991). Lernern ist es erst mithilfe der Intervention „*Zelllinien*“ möglich zu denken, dass das *Größer-Werden* einer Bakterienkolonie sowohl auf dem *Größer-Werden* als auch dem *Mehr-Werden* ihrer Bakterien beruht. Die Zeichnungen der Intervention unterscheiden sich von der Filmaufnahme durch eine deutliche Reduktion der Informationsdichte. Während die Intervention „*Koloniewachstum*“ im Vergleich zur Intervention „*Filmsequenz*“ aufgrund der erfassten Lernervorstellungen keine neue Information enthält, bezeichnen die Abbildungen der Intervention „*Zelllinien*“ die mikrobiologische Vorstellung, dass Bakterien größer werden und sich teilen. Aufgrund der Erfahrungen mit den drei Interventionen böte es sich bei einem größeren Zeitangebot an, den Lernweg anders zu gestalten: Die Lerner könnten gebeten werden, die Umrisse der im Film gezeigten Bakterienkolonien und einzelner Bakterien an verschiedenen Zeitpunkten mithilfe von Overheadfolien, die auf den Bildschirm gebracht werden, selber anzufertigen. Die Erfahrungen der Lerner mit dem Filmmaterial würden dadurch vertieft, ihre Aufmerksamkeit könnte auf die aus Sicht der Mikrobiologie wesentlichen Sachverhalte gelenkt werden. Die Lernerzeichnungen könnten wie die Abbildungen der Interventionen „*Ko-*

loniewachstum“ und „Zelllinien“ in Vermittlungsexperimenten genutzt werden, um den Lernern eine Möglichkeit zu bieten, ihre Vorstellungen vom *Größer-Werden* der Bakterienkolonien zu reflektieren.

Mithilfe der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ können Lerner mediale Erfahrungen mit der Struktur von Bakterienkolonien machen. Sie entwickeln die Vorstellung, dass die Bakterienkolonien, die sie im mikrobiologischen Praktikum kultiviert haben, zellulär und dreidimensional organisiert sind. Lernern ist es mithilfe der Abbildung auch möglich, die Struktur einer Bakterienkolonie gedanklich mit bakteriellem Wachstum zu verknüpfen und herzuleiten: Die Bakterien wachsen beim Aufbau einer Kolonie dreidimensional. Allerdings stellt die Zweidimensionalität der transmissionselektronenmikroskopischen Abbildung, die einen Schnitt durch eine Bakterienkolonie darstellt, eine Lernhürde dar. Lerner haben ohne zusätzliche sprachliche Impulse Schwierigkeiten, die Abbildung zu deuten. Das betrifft einerseits die zelluläre Struktur der in der Abbildung gezeigten Bakterien und andererseits die Frage, welcher Ausschnitt einer Kolonie gezeigt wird. Von vergleichbaren Schwierigkeiten beim Übergang von der makroskopischen zur mikroskopischen, also zellulären Anschauungsebene berichten Knippels (2002, S. 90) und Riemeier (2005, S. 288). Die Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ könnte dadurch verbessert werden, dass der Übergang von makroskopischen Bakterienkolonien zu mikroskopischen Bakterienkolonien anders gestaltet wird. Dies könnte beispielsweise dadurch erreicht werden, dass den Lernern schematische Abbildungen von Bakterienkolonien in dreidimensionaler Darstellungsweise im Anschnitt gezeigt werden (s. Abb. 7.5c Kap. „*Lernervorstellungen zu Bakterienkolonien*“), um ihnen ein räumliches Verständnis der zweidimensionalen Abbildung der Bakterienkolonie zu erleichtern. Eine andere Lernmöglichkeit könnte Lernern in Vermittlungssituationen mit großem Zeitangebot eröffnet werden, indem sie mit den Methoden der Transmissionselektronenmikroskopie vertraut gemacht werden. Dies ist z.B. mithilfe von Materialien, wie sie in gängigen Schulbiologiebüchern (z.B. Beyer u.a., 2005, S. 20, 21) zu finden sind, möglich.

Mithilfe der Intervention „*Netz*“ ist Lernern eine Vorstellungsentwicklung möglich, in der Nähragar als dreidimensionales Netz gedacht werden kann, dessen Maschen weiter als Bakterien groß sind. Der Nähragar schränkt aufgrund dessen einerseits das Größenwachstum der Bakterienkolonien nicht ein, andererseits hält er die Bakterien einer Kolonie aber auch zusammen, er bietet Halt. Lerner verfügen nicht über bereichsspezifisches chemisches Wissen, das es ihnen ermöglichen würde, den flüssigen Agar als Sol und den gelierten Agar als Ge vorzustellen, die durch Erwärmen und Abkühlen ineinander umgewandelt werden können (Seelich u. Gründig 1983). In der Solform, die die Lerner durch Aufkochen des Agars hergestellt haben, sind die Agarteilchen nicht miteinander vernetzt und können sich frei bewegen. Aufgrund dessen haben die Lerner die experimentelle Erfahrung gemacht, dass die Tümpelwasserprobe mit dem flüssigen, handwarmen Agar gut vermischbar ist. Beim weiteren Abkühlen konnten sie die Verfestigung des Nähragars beobachten. Da Lernern bereichsspezifisches Wissen von Gelen, die ein Mittelding zwischen fest und flüssig darstellen (Seelich u. Gründig 1983), nicht verfügbar ist, dürften sie Vorstellungen auf den sich verfestigenden Nähragar übertragen, die in lebensweltlichen Erfahrungen z.B. mit dem Kochen von Pudding gründen: Das Puddingpulver wird in Flüssigkeit gegeben und aufgekocht, beim Abkühlen verfestigt sich der Pudding. Mithilfe der Intervention „*Netz*“ können sich Lerner den gelierten Agar als Netzwerk vorstellen. Jeder Mensch macht alltäglich Erfahrungen mit Netzen verschiedenster Art, z.B. mit Einkaufsnetzen, dem Netz der Apfelsinengebinde, mit Volleyballnetzen, dem Netz eines Fußballtores oder dem Netz eines gestrickten Pullovers. Den genannten Netzen ist zu Eigen, dass sie als *Behälter* für Gegenstände vorgestellt werden können, wenn ihre Maschen eine Weite aufweisen, welche die im Netz befindliche Gegenstände nicht

passieren lassen. Gegenstände, die größer als die Maschenweite sind, können aber unter verschiedenen Bedingungen durch die Wandung eines Netzes treten: Sie quetschen sich durch die Maschen, indem sie sich verformen, sie dehnen das Material, aus dem das Netz besteht oder sie weiten die Maschen, indem sie das maschenbildende Material wie bei einem Pullover, durch dessen Gewebe man mit einem Finger sticht, verschieben.

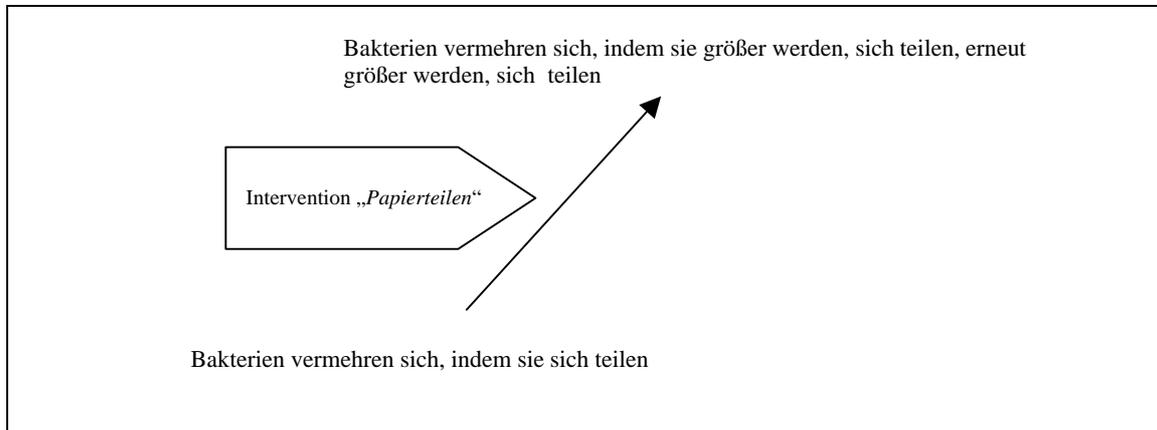


Abb. 9.22: Lernschritt „*Bakterielles Wachstum als Größer-Werden und Mehr werden*“. Denken Lerner, Bakterien würden lediglich durch Teilung mehr werden, haben sie aufgrund der Intervention „*Papierteilen*“ Gelegenheit, ihre Vorstellung um das Schema *Größer-Werden* zu ergänzen.

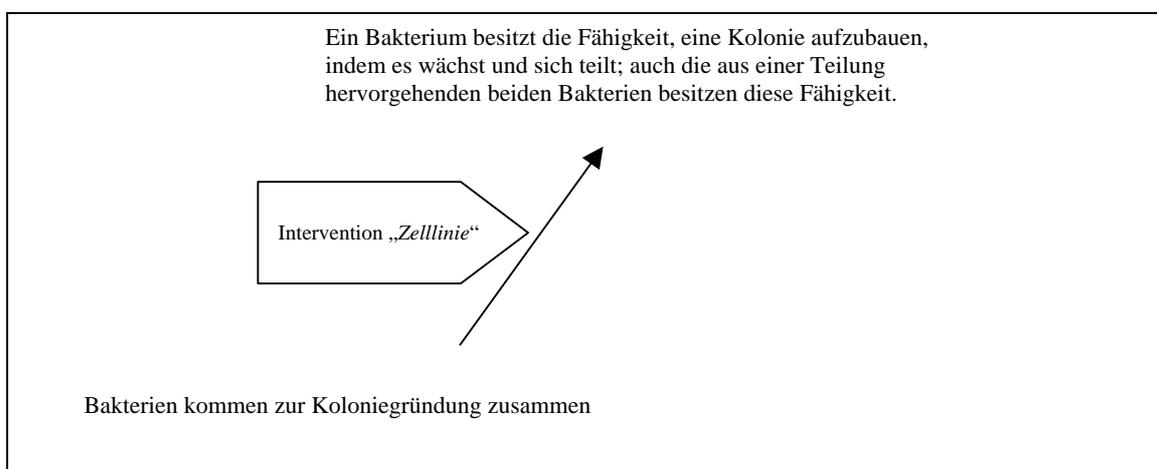


Abb. 9.23: Lernschritt „*Koloniewachstum*“. Denken Lerner, Bakterien müssten zusammenkommen, um eine Kolonie zu begründen, kann die Intervention „*Zelllinie*“ eingesetzt werden, um ihnen zu ermöglichen zu denken, dass die Gründung einer Kolonie auf ein einzelnes Bakterium zurückgehen kann, das größer wird, sich teilt, woraufhin die beiden aus der Teilung hervorgegangenen Bakterien erneut wachsen und sich teilen.

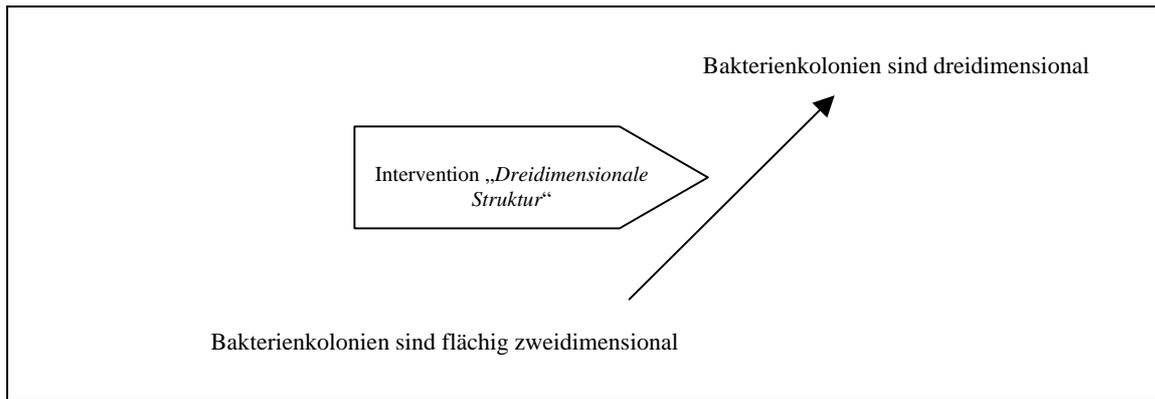


Abb. 9.24: Lernschritt „Dreidimensionale Bakterienkolonien“. Denken Lernern, dass Bakterienkolonien flächig, zweidimensional sind, kann die Intervention „Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien“ eingesetzt werden, um ihnen zu ermöglichen, Kolonien dreidimensional denken zu können.

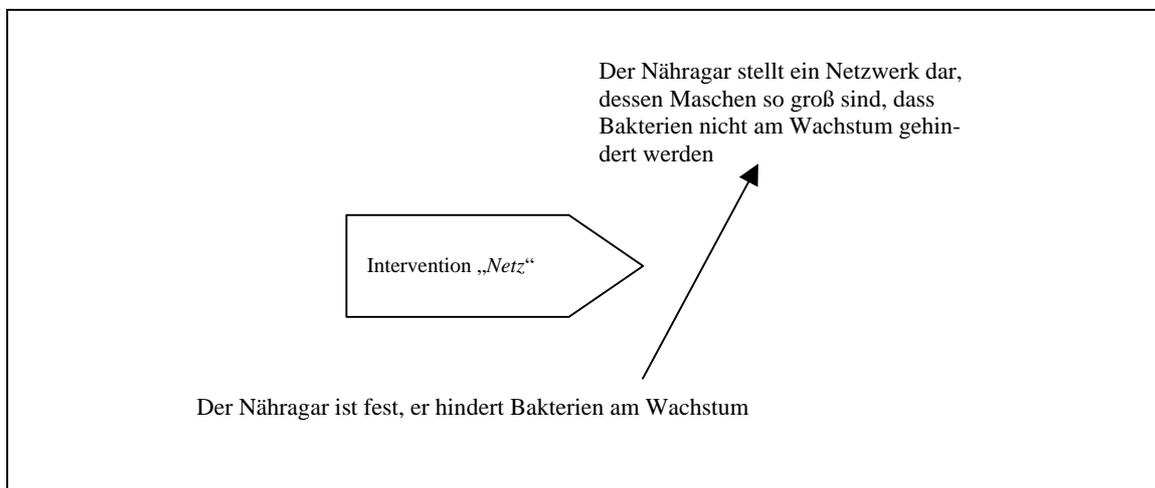


Abb. 9.25: Lernschritt „Nähragar als Gel“. Denken Lerner, der Nähragar sei fest und hindere Bakterien einer Kolonie am Wachstum, kann die Intervention „Netz“ eingesetzt werden, um ihnen zu ermöglichen, den Nähragar als weitmaschiges dreidimensionales Netz zu denken.

9.8 Zusammenfassung

In den Vermittlungsexperimenten sind Lernern mithilfe didaktisch rekonstruierter Interventionen zum einen Vorstellungsentwicklungen möglich, die hin zu einem fachwissenschaftlichen Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen führen. Zum anderen wurden auch Vorstellungsentwicklungen mithilfe von Interventionen erfasst, auf die diese Aussage nicht zutrifft.

9.8.1 Interventionen, die ein Lernen der mikrobiologischen Zusammenhänge fördern

Lerner sind nach den Interventionen „Maßstab 1“ und „Maßstab 2“ in der Lage, die Größe von makroskopischen, mikroskopischen und submikroskopischen Gegenständen mithilfe der Einheiten des metrischen Systems anzugeben und die Größen auch aufeinander zu beziehen. Die Intervention „Größenvergleich“ bietet Lernern eine Gelegenheit, das Größenverhältnis

von Gegenständen der mikroskopischen und submikroskopischen Größenebene zu reflektieren. Lerner übertragen das Schema *Teil-Ganzes* auf Moleküle und Bakterien.

Die sprachliche Intervention „*Schwamm*“ ermöglicht es Lernern, wissenschaftsorientierte Vorstellungen von der Struktur des Nähragars, in dem sie die Bakterien kultiviert haben, zu entwickeln. Nährstoffe können sich im Hohlraumssystem des Agars frei bewegen, die Bakterien einer Kolonie bewegen sich nicht auf Nährstoff zu. Mithilfe der Intervention „*Eiweißmolekül*“ können Lerner die Vorstellung entwickeln, dass Bakterien Nährstoffe aufnehmen, Bakterien fressen nicht. Da die Wandung des bakteriellen Behälters Poren aufweist, können Nährstoffe bis zu einer bestimmten Größe durch diese Poren in das Bakterium gelangen. Lerner haben mithilfe der Intervention „*Eiweißmolekül*“ Gelegenheit, das Schema *Teil-Ganzes* auf bakteriellen Nährstoff zu übertragen: Nährstoff, der zu groß ist, um durch die Poren der bakteriellen Wandung in ein Bakterium zu gelangen, wird vom Bakterium mithilfe von Wirkstoffen in Teile zerlegt.

Aufgrund der verfügbaren Vorstellung von einer bakteriellen Zelle als *Behälter* können Lerner mithilfe der Intervention „*Funktionsmodell Innendruck*“ denken, dass eine bakterielle Zelle bei der Teilung geschlossen bleiben muss, weil ansonsten z.B. das Erbgut in Gefahr sei. Mithilfe der Intervention „*Konstante Bakterienform*“ ist es Lernern möglich, den bakteriellen Zellteilungsprozess als Unterkammerung vorzustellen. Ein Bakterium zieht eine trennende Wand ein, das in Teilung begriffene Bakterium geht in zwei gleich großen Teilzellen auf, die eine ähnliche Form wie das Ausgangsbakterium aufweisen.

Mithilfe der Intervention „*Penicillinwirkung*“ können Lerner mediale Erfahrungen mit der intakten und mit der von Penicillin zerstörten bakteriellen Struktur machen. Die darin gründenden Vorstellungen können Lerner darauf zurückführen, dass das Antibiotikum Penicillin die Wandung eines Bakteriums, das als *Behälter* gedacht wird, zerstört. Mithilfe der Interventionen „*Bakterienteilung*“ und „*Penicillin-Querwand*“ können Lerner ihre Vorstellungen von der durch Penicillin zerstörten bakteriellen Struktur auf den durch das Antibiotikum Penicillin gestörten bakteriellen Teilungsmechanismus zurückführen.

Aufgrund der medialen Erfahrungen mit der Intervention „*Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie*“ entwickeln Lerner die wissenschaftsorientierte Vorstellung, dass Bakterienkolonien aus zahlreichen Bakterien bestehen. Mithilfe der Intervention „*Papierteilen*“ können Lerner ihre Vorstellungen vom bakteriellen Wachstum reflektieren. Sie ergänzen das Schema *Mehr-Werden* durch Zellteilung um das Konzept bakteriellen Wachstums als *Größer-Werden*. Sie entwickeln wissenschaftsorientierte Vorstellungen vom Wachstum der Bakterienkolonien, indem sie das Schema *Teil-Ganzes* auf Bakterien und Bakterienkolonien übertragen. Ausgehend von der in experimentellen Erfahrungen gründenden Vorstellung des *Größer-Werdens* der Bakterienkolonien ist es Lernern auch mithilfe der Intervention „*Zelllinie*“ möglich, das Schema *Teil-Ganzes* auf Bakterien und Bakterienkolonien zu übertragen. Das *Größer-Werden* einer Kolonie können sie auf das *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* der Bakterien zurückführen. Die Intervention „*Netz*“ bietet Lernern eine Gelegenheit, ihre Vorstellungen vom Nähragar zu reflektieren. Sie entwickeln die Vorstellung, dass es sich beim gelierten Agar um ein flexibles Netzwerk handelt, dass dem *Größer-Werden* der Bakterienkolonien gegenüber nicht widerständig ist.

9.8.2 Interventionen, die ein Lernen der mikrobiologischen Zusammenhänge nicht fördern

Mithilfe der Intervention „*Schichtenstruktur*“ wird es Lernern zwar ermöglicht, Vorstellungen von der Schichtenstruktur der bakteriellen Wandung zu entwickeln. Die Konzepte, die hinter den beiden Termini Zellwand und Zellmembran stehen, sind Lernern nicht verfügbar. Lerner denken Bakterien als *Behälter*, der eine Wandung aufweist, sie differenzieren nicht nach bakterieller Zellwand und Zellmembran. Vorstellungen zum bakteriellen Zellteilungsprozess werden unabhängig von der Vorstellung von der Schichtenstruktur der bakteriellen Wandung entwickelt.

Mikroskopische Abbildungen von Bakterien sind für Lerner schwer zu deuten, insbesondere wenn es sich um zweidimensionale Abbildungen dreidimensionaler biologischer Gegenstände handelt. Mithilfe der medialen Erfahrungen der Intervention „*Dreidimensionale Struktur von Bakterienkolonien*“ ist es Lernern ohne weitere sprachliche Impulse nicht möglich, Bakterienkolonien auf der mikroskopischen Größenebene als dreidimensionale Gebilde denken zu können.

Ausgehend von der in experimentellen Erfahrungen gründenden Vorstellung des Koloniewachstums als *Größer-Werden* können Lerner mit der Intervention „*Filmsequenz*“ zwar das *Größer-Werden* von Bakterienkolonien auf der mikroskopischen Ebene wahrnehmen, die medialen Erfahrungen befähigen sie aber nicht, das *Größer-Werden* der Kolonien auf das *Größer-Werden* der Bakterien zurückzuführen. Dies gelingt ihnen auch nicht mit der Intervention „*Koloniewachstum*“, die die mikrobiologische Vorstellung des *Größer-Werdens* von Bakterienkolonien bezeichnet.

10 Diskussion

Im Folgenden werden der gewählte theoretische Rahmen der vorgelegten Studie und das methodische Vorgehen auf dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse reflektiert. Abschließend wird die Frage nach der biologiedidaktischen Bedeutung der vorgelegten Untersuchungen beantwortet und die Relevanz der Ergebnisse für den Biologieunterricht eingeschätzt.

10.1 Reflexion des theoretischen Rahmens

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, die konstruktivistische Sichtweise des Lernens und der conceptual-change-Ansatz bilden den theoretischen Rahmen der vorgelegten Untersuchungen von Lernervorstellungen zu Bakterien und zu bakteriellen Prozessen. Im Folgenden soll geklärt werden, ob die theoretischen Ansätze zu einer Klärung der Fragen, die das durchgeführte Forschungsvorhaben angeleitet haben, beitragen konnten.

Die erfassten Lernervorstellungen wurden mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens interpretiert. Diese Theorie erlaubt es, die Genese individueller Vorstellungen zu erfassen und nach einem direkten und einem metaphorischen Verständnis zu unterscheiden. Zwar haben Lerner alltäglich Kontakt mit Bakterien, da diese aber aufgrund der geringen bakteriellen Größe nicht wahrgenommen werden können, sind die Kontakte nicht vorstellungsbildend in Bezug auf Bakterien. Zudem haben die durchgeführten Analysen ergeben, dass Lerner über ein geringes bereichsspezifisches mikrobiologisches Wissen verfügen. Diese Konstellation erlaubt aus Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens die Voraussage, dass Lerner ein metaphorisches Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen verwenden. Lerner übertragen Vorstellungen auf Bakterien, die in nichtmikrobiologischen Erfahrungen gründen. Die Analysen der durchgeführten Befragungen haben ergeben, dass es sich dabei einerseits um verkörperte Vorstellungen handelt, die in lebensweltlichen Erfahrungen gründen und andererseits um fachwissenschaftliche Vorstellungen, die in erster Linie auf unterrichtliche Vermittlung zurückgeführt werden können. In ihrem mikrobiologischen Praktikum, das den Befragungen vorausging, konnten die Lerner einige experimentelle Erfahrungen mit Bakterien sammeln. Die darin gründenden wissenschaftsorientierten Vorstellungen zeichnen sich durch ihre hybride Natur aus: Lerner kombinieren bereits bestehende Vorstellungen mit den aufgrund der experimentellen Erfahrungen entwickelten Vorstellungen. Beispielsweise führen die allermeisten Lerner den experimentellen Befund, dass im Agar ohne Nährstoffe nach der Bebrütung der Petrischalen keine Bakterienkolonien zu beobachten waren, wohl aber im Ansatz, dem die Lerner Nährpulver beigemischt hatten, darauf zurück, dass Bakterien essen. Lerner verwenden ein metaphorisches Verständnis, indem sie verkörperte Vorstellungen von Essen durch Imagination auf mikroskopisch kleine Bakterien übertragen. Die Denkfigur *Tierliche Bakterien* erlaubt es Lernern, unterschiedliche verkörperte Vorstellungen auf Bakterien zu übertragen und mit fachwissenschaftlichen Vorstellungen zu verknüpfen. Lerner erreichen auf diese Weise ein umfassendes Verständnis von den bakteriellen Strukturen und Funktionen, ihr Verständnis hat Gestalteigenschaft.

Auf Basis der Erkenntnisse der Untersuchungsaufgabe *„Erfassen der Lernerperspektiven: Analyse von Interviewphasen in Vermittlungsexperimenten“* konnten Vermittlungssituationen theoriegeleitet geplant und durchgeführt werden. Die aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens entwickelten Lernangebote haben den Lernern eine Gelegenheit geboten, wissenschaftsorientierte Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen zu

entwickeln. Somit liegt eine Theorie des Verstehens vor, die es ermöglicht, anhand der individuellen Vorstellungsentwicklungen den Lernprozess, der mithilfe der Lernangebote ermöglicht wurde, empirisch zu erfassen. Welche Interventionen Lernern ein Verständnis im Sinne eines Lernens wissenschaftsorientierter Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen ermöglichen und welche nicht, wurde in der Untersuchungsaufgabe „*Lernprozessbeobachtungen*“ analysiert. Evidenzbasiert konnten bei einigen Lernangeboten auch Lernhürden erfasst werden. Diese Erkenntnisse wurden genutzt, um die Interventionen zu optimieren. Vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens können Lehr-Lern-Arrangements nicht nur geplant, durchgeführt und analysiert, sondern aufgrund der Prozessorientierung auch optimiert werden.

Der konstruktivistischen Sichtweise entsprechend wurde Lernen in der vorgelegten Studie als aktive Konstruktion auf der Grundlage bereits vorhandener Vorstellungen aufgefasst. Die Lerner haben sich ihr Wissen nicht angeeignet, indem sie „vorbereitete und situationsentho-bene Wissenspakete“ (vgl. Terhart 1999) aufgenommen haben, die in ihren Köpfen als Kopien widergespiegelt werden und die in den Befragungen von ihnen reproduziert werden. Vielmehr handelt es sich bei dem Wissen der Lerner um individuelle Konstruktionen, die im Rahmen der vorgelegten Studie ernst genommen wurden. Die Forschungsfragen waren daher zum einen auf die Erfassung der Variabilität des auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen individuellen Denkens der Lerner hin ausgerichtet; zum anderen wurde ein methodisches Vorgehen gewählt, das eine prozessorientierte Erfassung von Vorstellungsänderungen erlaubte. So konnten Lernschritte und Lernwege von Lernern beschrieben werden und Aussagen zur Entwicklung des Lernerverständnisses von Bakterien und bakteriellen Prozessen getroffen werden. Die mithilfe der Interventionen gestifteten Lernmöglichkeiten wurden sowohl unter Einbeziehung der Erkenntnisse über die Lernerperspektiven, als auch unter Einbeziehung der Perspektiven von Mikrobiologen entwickelt; den Vorstellungswelten beider Gruppen wurde die gleiche Berechtigung beigemessen. Dies entspricht insofern der konstruktivistischen Sichtweise, als angenommen wird, dass sich wissenschaftliche Erkenntnisbildung und Alltagserkenntnis nicht grundsätzlich sondern nur graduell voneinander unterscheiden (s. Terhart 1999). Dem Interviewer als Lehrendem fiel in den Vermittlungsexperimenten die Rolle eines Anregers und Auslösers von Lernprozessen zu, indem er situationsangemessen Lernmöglichkeiten angeboten hat, die aufgrund der in den Interviewphasen ermittelten Lernervorstellungen entwickelt wurden. Dies entspricht dem konstruktivistischen Verständnis der Rolle eines Lehrers, der „Lernumwelten aufbaut bzw. inzeniert“, in denen Lernen „als in sozialen und situativen Kontexten stattfindendes Ko-Konstruieren und Restrukturieren wahrscheinlicher wird“ (s. Terhart 1999). Phasenweise hat der Interviewer in den Vermittlungsexperimenten situationsbedingt diese Rolle aber auch aufgeben müssen, um – stärker lenkend – die Forschungsfragen im zeitlichen Rahmen der Befragungen einer Klärung zuführen zu können. Die Befragungen wurden in Dreiergruppen durchgeführt, die Lerner hatten aufgrund dessen die Möglichkeit, ihre individuellen Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen nicht nur im Gespräch mit dem Interviewer sondern auch in der gemeinsamen Diskussion in der Gruppe vorzustellen und zu reflektieren. Dem sozialen Kontext des Lernens wird aus konstruktivistischer Perspektive die Bedeutung zugewiesen, in der Diskussion die Möglichkeit zu haben, individuelle Interpretationen und Sinngebungen komplexer Lernsituationen zu überdenken und gewonnene Erkenntnisse besser zu strukturieren (s. Dubs 1999).

In ihrem mikrobiologischen Praktikum haben die Lerner experimentelle Erfahrungen mit mikrobiologischen Gegenständen gesammelt, ihnen wurden komplexe Erfahrungsräume beim gemeinsamen Arbeiten im mikrobiologischen Labor eröffnet. Die in den wahrgenommenen mikrobiologischen Phänomenen gründenden Lernervorstellungen von Bakterien und bakteri-

ellen Prozessen haben den Ausgangspunkt der Befragungen dargestellt. Aus konstruktivistischer Sicht ist das gewählte methodische Vorgehen aus mehreren Gründen lernförderlich: Es wird nämlich angenommen, dass Lernen immer situativ eingebunden ist („situated cognition“, s. Terhart 1999) und eine aktive Auseinandersetzung des Individuums mit einer Lernumgebung voraussetzt, sowie, dass Lernen prinzipiell in konkreten Situationen verankert sein müsse („anchored instruction“). Ein entscheidendes Element wirksamer Lernumgebungen sind Anker, die das Interesse der Lerner erzeugen. Durch „Teilhabe und Mitvollzug“ sowie durch „direkt handlungsbezogenes Mit-Lernen“ („cognitive apprenticeship“) sei ein „höherer Wirkungsgrad“ des Lernens zu erreichen (Terhart 1999). Allerdings hat der Interviewer in seiner Rolle als Anleiter des mikrobiologischen Schülerpraktikums Wert darauf gelegt, dass sich die Lerner nicht in der Rolle von Lehrlingen gesehen haben. Die Lerner wurden vom Interviewer mit dem sachgemäßen Gebrauch der Einrichtungen des mikrobiologischen Labors und auch mit den einschlägigen Sicherheitsbestimmungen im Umgang mit Bakterien vertraut gemacht. Danach haben die Lerner „Hand angelegt“, der Interviewer konnte die Rolle eines Beobachters einnehmen und hat nur im „Ernstfall“ oder auf Bitte der Lerner in das Geschehen eingegriffen. Obwohl andere als kognitive Erlebnisse nicht Gegenstand der vorgelegten Untersuchungen gewesen sind, kann rückblickend festgestellt werden, dass das gewählte methodische Vorgehen nach Einschätzung des Interviewers den Lernern auch emotionale und motivationale mentale Erlebnisse ermöglicht hat, deren lernförderliche Wirkung angenommen werden dürfen.

Die Bedingungen des conceptual-change-Ansatzes (Unzufriedenheit, Verständlichkeit, Plausibilität, Fruchtbarkeit) wurden in den vorgelegten Untersuchungen als Voraussetzung von auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogene Vorstellungsänderungen angenommen. Bei der Rekonstruktion und dem Einsatz der Interventionen wurden diese Bedingungen beachtet. Im Gegensatz zu den in erster Linie produktorientierten Erhebungen der conceptual-change-Forschung (vgl. v. Aufschnaiter 2003) hat in den vorgelegten Untersuchungen nicht die Frage nach der fachlichen Angemessenheit der mithilfe der Interventionen möglichen Vorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen, sondern vielmehr die Frage nach der Entwicklung und Qualität der individuellen Lernervorstellungen im Vordergrund gestanden. Die von Duit et Treagust (1998) beschriebenen vier Szenarien, in denen ein kognitiver Konflikt ausgelöst werden kann, konnten bei den Analysen der Transkripte an verschiedenen Stellen der Befragungen identifiziert werden. Anhand einiger ausgewählter Beispiele aus dem vorgelegten umfangreichen Transkriptmaterial wird gezeigt, dass Lerner auf kognitive Konflikte sehr unterschiedlich reagieren können (vgl. Chinn et Brewer 1993):

1. Die Diskrepanz zwischen den Vorhersagen der Lerner zu ihren mikrobiologischen Versuchsansätzen und den später erhobenen Versuchsergebnissen kann einen kognitiven Konflikt auslösen, der von Lernern auf sehr unterschiedliche Weise aufgelöst wird. Beispielsweise hat die Lernerin Lilli in ihrem penicillinhaltigen Nähragar keine Schimmelpilze erwartet. Den kognitiven Konflikt, der aus der überraschenden Beobachtung erwächst, dass nach der Bebrütung in diesem Ansatz Schimmelpilze vorhanden waren, löst Lilli auf, indem sie sich vorstellt, dass dieser Ansatz missraten sei („...irgendwas ist da in die Hose gegangen“. Exp 1, Kol 2, Z 16). Für Lina waren die Schimmelpilze im penicillinhaltigen Ansatz ebenfalls ein nicht erwartetes Versuchsergebnis, die Lernerin löst den kognitiven Konflikt dadurch auf, dass sie annimmt, mit dem Penicillinpulver Pilzsporen in den Nähragar gegeben zu haben, aus denen sich der Schimmelpilz heraus entwickelt hat. Philis hat ebenfalls keine Schimmelpilze in ihrem Ansatz mit Penicillin erwartet, der Umstand, dass sie in diesem Ansatz dennoch welche wahrgenommen hat, löst bei dieser Lernerin keinen erkennbaren kognitiven Konflikt aus, der überraschende Sachverhalt wird von ihr nicht angesprochen.

2. Aus dem Unterschied zwischen den verfügbaren Lernervorstellungen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen kann ein kognitiver Konflikt entstehen. Während alle Lerner, die lediglich über das Konzept bakteriellen Wachstums als *Mehr-Werden* verfügten, mithilfe der Intervention „*Papierteilen*“ die Vorstellung entwickeln konnten, dass das Sichtbarwerden von Bakterienkolonien auf bakteriellem Wachstum als *Mehr-Werden* und *Größer-Werden* beruht, stellt Katja eine Ausnahme dar. Sie denkt, dass bakterielles Wachstum als *Mehr-Werden* ohne *Größer-Werden* das Sichtbarwerden von Kolonien erklären kann. Die Lernerin nimmt den Unterschied zwischen der ihr verfügbaren Vorstellung von bakteriellem Wachstum und den fachwissenschaftlichen Vorstellungen nicht wahr.
3. Interindividuelle Unterschiede zwischen Vorstellungen, die bei Lernern einer Gruppe verfügbar sind, können auf die erfassten individuellen Vorstellungsentwicklungen der Beteiligten unterschiedliche Wirkung haben. Während Krista sich nach den Interventionen „*Filmsequenz*“ und „*Zelllinie*“ von der Vorstellung *Versammlung*, über die ihre Gesprächspartnerin Verena verfügt, distanziert und dies aus Sicht des Interviewers auch anhand ihrer Vorstellungen, die in den Erfahrungen mit den Interventionen gründen, überzeugend begründet, greift Verena die Vorstellung ihrer Gesprächspartnerin nicht auf und hält es nach wie vor für möglich, dass das Zusammenkommen von Bakterien eine Rolle bei der Bildung von Bakterienkolonien spielt. Die Lernerin löst den kognitiven Konflikt, der aus Sicht des Interviewers aus ihrer eigenen und der Vorstellung ihrer Gesprächspartnerin erwächst, nicht auf.
4. Intraindividuelle Unterschiede, die sich aus den Vorstellungen ergeben, über die ein einzelner Lerner verfügt, können unterschiedlich für die Vorstellungsentwicklung genutzt werden. Marlies beispielsweise verfügt über die Vorstellung *Einverleiben*, sie stellt sich die bakterielle Nahrungsaufnahme als Phagozytose vor, sie denkt aber zugleich auch, dass Bakterien fressen. Der Lernerin bleibt der kognitive Konflikt, der sich für den Interviewer aus den beiden Vorstellungen *Essende Bakterien* und *Einverleiben* ergibt, verborgen. Dieser Sachverhalt konnte mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nachvollzogen werden. Margot verfügt sowohl über die Vorstellung *Kolonie=Bakterium* als auch über die Vorstellung *Versammlung*. Mithilfe der Intervention „*Mehrzelligkeit einer Bakterienkolonie*“ wird Margot der kognitive Konflikt bewusst, der sich aus den beiden ihr verfügbaren Vorstellungen ergibt: Denn entweder bestehen mit bloßem Auge wahrnehmbare Bakterienkolonien aus nur einem Bakterium oder aus mehreren Bakterien. Mithilfe der Intervention nimmt Margot den kognitiven Konflikt wahr und löst ihn auf.

10.2 Reflexion des methodischen Vorgehens

Das mikrobiologische Praktikum, das den Befragungen immer vorausgegangen ist, hatte die Funktion, Lernern Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen zu ermöglichen, um eine breite und vielfältige Basis für die Vorstellungsermittlung zu schaffen. Die in den experimentellen Erfahrungen gründenden Vorstellungen wurden bei den Befragungen ermittelt und für die Strukturierung von Lernangeboten im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion genutzt. Bei den Interviews stellte der Zusammenhang zwischen Urheberchaft der durchgeführten Versuche, den gesammelten Erfahrungen und den darin gründenden Vorstellungen den roten Faden dar. Die experimentellen Aufgaben wiesen einen Komplexitätsgrad auf, so dass die Versuche für die Lerner einerseits eine Herausforderung dargestellt, andererseits aber auch ihr experimentelles Wissen und ihre praktischen Fähigkeiten nicht überfordert haben. Die Lernumgebung beim Experimentieren ermöglichte es den Schülern, experimentelles Wissen und experimentelles Geschick situativ und erst, wenn dies die Versuche

erforderlich machten, zu entwickeln. Roth (1995, S. 243) spricht in diesem Zusammenhang von einer „just-in-time“ und einer „need-to-know“ Basis. Der Interviewer hat aus diesen Gründen die Rolle eines „coach“ nicht nur bei der Entwicklung der experimentellen Aufgaben, sondern auch beim Experimentieren der Lerner eingenommen: So hat er beim Experimentieren Hinweise zum praktischen sterilen Arbeiten beispielsweise erst gegeben, nachdem die Lerner den Nähragar zum Kochen gebracht hatten, zu einem Zeitpunkt also, als dies für den weiteren Verlauf der Versuche entscheidend war. Den Zielen der durchgeführten Studie und dem Zeitangebot entsprechend wurden die Interaktionen der Lerner untereinander und mit dem Interviewer während des mikrobiologischen Praktikums nicht erfasst und analysiert. Gleichwohl werden der sozial-konstruktivistischen Sichtweise des Lernens folgend auch in dieser Studie die Interaktionen in der sozialen Gruppe als lernförderlich angesehen (vgl. Dubs 1999). Den Forschungsfragen der vorgelegten Studie folgend ging es nicht darum, z.B. den Wissens- und Erkenntniserwerb oder die Interessen- und Einstellungsänderungen der Lerner, die beim gemeinsamen experimentellen Arbeiten im Labor erzielt werden können (s. Klautke 1997; Euler 2001), z.B. im Vergleich zu anderen Vermittlungsstrategien, empirisch zu erfassen.

Innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion wurden in der vorgelegten Studie methodisch kontrolliert und theoriegeleitet einerseits mit der „*Fachlichen Klärung*“ die Vorstellungen von Mikrobiologen, andererseits die auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Vorstellungen von Lernern analysiert. Dabei wurden zwei Methoden herangezogen: Die Reanalysen empirischer Befunde von Lernervorstellungen zu Bakterien, von denen in der Literatur berichtet wird, haben einen Überblick über den Stand der diesbezüglichen empirischen Forschung ermöglicht. Die erzielten Ergebnisse wurden im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens reinterpretiert, Verständnisschwierigkeiten, die Lerner im Bereich der Mikrobiologie haben, konnten erkannt werden. Die Analysen der Literaturbefunde wurden allerdings dadurch erschwert, dass die unterrichtlichen Vorerfahrungen der befragten Lerner bei den allermeisten Veröffentlichungen unklar sind. Andererseits wurden auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogene Lernervorstellungen aber auch in eigenen Befragungen erhoben und im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens interpretiert. Die Ergebnisse der Teilaufgaben „*Fachliche Klärung*“ und „*Erfassen der Lernerperspektiven*“ wurden innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion anhand forschungsleitender Fragen kriteriengeleitet miteinander verglichen, wobei nicht nur den Vorstellungen der Mikrobiologen sondern auch denjenigen der Lerner Sinn unterstellt wurde. Die Ergebnisse der Teilaufgabe „*Didaktische Strukturierung*“ wurden als Leitlinien zusammengefasst. Mit den Leitlinien liegen Aussagen für die Vermittlung im Bereich der Mikrobiologie vor. Auf dieser Basis wurden Lernangebote rekonstruiert und in Vermittlungsexperimenten auf ihre lernförderliche Wirkung hin evidenzbasiert getestet und auch optimiert. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion erlaubt also die methodisch kontrollierte und theoriegeleitete Entwicklung von Lernangeboten. Das Vermittlungsexperiment hat sich bei den innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion verfolgten forschungsanleitenden Fragen als geeignete Methode bewährt, um einerseits in Interviewphasen Lernervorstellungen zu erheben und andererseits in Vermittlungsphasen Vorstellungsentwicklungen zu erfassen. In den Vermittlungsexperimenten hatten die Lerner auch die Möglichkeit, ihre Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen untereinander und unabhängig vom Interviewer zu diskutieren, zu reflektieren und durch die Impulse der anderen Gruppenmitglieder ihre Vorstellungen individuell weiterzuentwickeln. In diesen Situationen hat der Interviewer eine passive Vermittlerrolle eingenommen, um den Forschungsfragen folgend situativ angemessen später wieder die Vermittlerrolle einzunehmen. Aus der konstruktivistischen Sichtweise des Lernens sind Phasen der Artikulation und der Reflexion förderlich, um die Kontextbindung zu

lösen und Lernern die Entwicklung abstrahierenden Wissens zu ermöglichen, das, mit Situationsbezügen verknüpft, auch in anderen Kontexten anwendbar sein sollte.

10.3 Bedeutung der Untersuchung für die biomedizinische Lehr-Lern-Forschung

In der vorliegenden Studie wurden im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion Lernangebote für den Bereich der Mikrobiologie entwickelt und hinsichtlich ihres Vermittlungserfolges überprüft. Auf Basis der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens konnte evidenzbasiert ermittelt werden, welche Vorstellungen der Lerner genutzt werden können, um ihnen die Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen zu ermöglichen. Da der Prozess der Vorstellungsentwicklung der Lerner erfasst wurde, kann aufgrund der vorgelegten Untersuchungen nicht nur die Frage beantwortet werden, ob eine Vorstellungsänderung mithilfe der Lernangebote erreicht werden konnte, vielmehr liegen darüber hinaus Aussagen dazu vor, welche Hürden Lerner beim Prozess der Vorstellungsentwicklung hin zu einem fachwissenschaftlichen Verständnis von Bakterien und bakteriellen Prozessen zu überwinden haben. Die evidenzbasierten Aussagen zur Lernförderlichkeit oder Lernhinderlichkeit der Lernangebote können zukünftig bei der Planung von Lehr-Lern-Arrangements im Bereich der Mikrobiologie herangezogen werden. Die Gruppendiskussionen und das kommentierte Zeichnen wurden in die Vermittlungsphasen eingeflochten. Dabei wurde angenommen, dass die Reflexion der eigenen Vorstellungen eine entscheidende Bedingung für die Vorstellungsentwicklung darstellt. Die Vermittlungssituationen waren aber nicht darauf angelegt, Lernern explizit metakognitive Kompetenzen (s. Hewson et Hewson 1992) zu vermitteln.

Mit dem Vermittlungsexperiment, das in den Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion integriert wurde, liegt für die fachdidaktische Forschung eine empirische Methode zur Erfassung und Analyse von Vermittlungssituationen vor. Die Kommunikations- und Vermittlungswege konnten in der vorgelegten Studie mithilfe dieser Methode nachvollzogen und analysiert werden. Aufgrund der mit der Methode erzielten Ergebnisse kann festgestellt werden, dass die Interaktionen innerhalb der Lerngruppen lernförderliche Bedingungen für die auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Vorstellungsentwicklungen darstellen. Die Frage, ob diese Aussage auch auf Klassensituationen zutrifft, in denen ein Versuchsleiter fehlt, müsste in entsprechenden Feldstudien (s. z.B. Seidel u.a. 2003) untersucht werden. Keine Aussagen können den forschungsanleitenden Fragestellungen der vorgelegten Studie gemäß über die Abhängigkeit der Lernprozesse von der konkreten Situation im mikrobiologischen Labor getroffen werden. Diese Feststellung bezieht sich zum einen auf die Frage nach der optimalen Gestaltung der Lernumgebung, in der die Schüler gemeinsam gearbeitet haben, zum anderen aber auch auf die Kognitionen, die in den konkreten experimentellen Handlungen und Aktivitäten gründen (s. z.B. Klahr et Dunbar 2000).

10.4 Bedeutung der Untersuchung für den Biologieunterricht

Die Ergebnisse der vorgelegten Untersuchung belegen, dass im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens einerseits Aussagen bezüglich des auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Lernverständnisses getroffen werden können. Zum anderen konnte gezeigt werden, mithilfe welcher didaktisch rekonstruierter Lernangebote Vorstellungsentwicklungen in Richtung wissenschaftsorientierter Lernervorstellungen möglich sind. Da individuelle Vorstellungen und ihre Entwicklung im Mittelpunkt der Untersuchungen standen,

können die Ergebnisse zur Planung und Durchführung eines schülerorientierten und individualisierten Biologieunterrichts genutzt werden: Lehrende können ihren Schülern im Bereich der Mikrobiologie Lernangebote je nach den verfügbaren Vorstellungen machen. Dabei erleichtern die in Konzepten und Denkfiguren zusammengefassten auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Lernervorstellungen dem Lehrenden in einem binnendifferenzierten Biologieunterricht zum einen die Diagnose der individuell verfügbaren Schülervorstellungen. Zum anderen kann auf dieser Grundlage mithilfe der Lernangebote das fachliche Lernen angeregt werden. Biologielehrer, die einen schülerorientierten und individualisierten Unterricht anstreben (zur Wirkung unterschiedlicher „Lehrertypen“ auf schulische Lehr-Lern-Prozesse aus konstruktivistischer Sicht des Lernens, s. Müller 2003), leisten dieses Vorgehen implizit natürlich auch. Der Unterschied besteht darin, dass dieses Vorgehen in der vorliegenden Studie auf einer wissenschaftlichen Basis systematisch entwickelt und begründet wurde.

Das gewählte methodische Vorgehen im Rahmen des vorgestellten biologiefachdidaktischen Forschungsprojektes lässt sich nicht ohne Änderungen auf die Klassensituation übertragen. Dies betrifft insbesondere das Arbeiten der Lerner im mikrobiologischen Labor: Bei der methodischen Gestaltung von experimentellen Unterrichtsphasen spielen nicht nur Fragen die Experimente betreffend, sondern auch Fragen nach der Einbettung der Experimente in den Unterrichtsablauf eine Rolle (vgl. Tesch 2003). Um die mikrobiologischen Experimente erfolgreich in den Unterricht einbetten zu können, müssen mehrere Entscheidungen getroffen werden, die sich meist wechselseitig beeinflussen. Die Fragen, die zu entscheiden sind, lauten im Einzelnen:

1. Kommt die Theorie vor dem Experiment oder umgekehrt, bzw. wie viel Theorie benötigen Schüler, um die mikrobiologischen Experimente durchführen und verstehen zu können?
2. Sollen Lerner Hypothesen testen, indem Aussagen, die unterrichtlich erarbeitet wurden, überprüft werden?
3. Sollen die Versuche als Demonstrationsexperimente vom Lehrer oder von Schülern durchgeführt werden?
4. Sollen Schüler arbeitsteilig oder arbeitsgleich, einzeln, in Gruppen, an Stationen experimentieren?
5. Sollen die mikrobiologischen Versuche als qualitative oder quantitative Experimente durchgeführt werden?
6. Wie können die Versuche in den Unterrichtsverlauf (Vorbereitung, Experimentierphase, Nachbereitung) eingebettet werden?
7. Soll die Versuchsplanung offen gestaltet werden, so dass auf Vorschläge von Schülern zum Versuchsaufbau und zur Versuchsdurchführung eingegangen werden kann?
8. Sollen die Schüler bei der Versuchsauswertung eigenständig arbeiten, bzw. welche Anteile der Auswertung können offen, welche Anteile können nicht offen gestaltet werden?

Um Schülern in einer „starken Lernumgebung“ im Sinne konstruktivistisch orientierten Unterrichts experimentelle Erfahrungen im Bereich der Mikrobiologie zu ermöglichen, sollten die Versuche in Teams durchgeführt werden und eine Schülerbeteiligung nicht nur während der Experimentierphase sondern auch bei der Planung und Auswertung der Versuche gegeben sein. Da der Materialaufwand der mikrobiologischen Versuche, die die Lerner in dieser Studie durchgeführt haben, eher gering einzuschätzen ist, die Methoden einfach zu erlernen sind und der Zeitaufwand rund 90 Minuten beträgt, kann davon ausgegangen werden, dass die in dieser Studie vorgestellten Experimente auch innerhalb des regulären Biologieunterrichts durchgeführt werden können. Die Vorstellungsermittlungen könnten in der Klassensituation metho-

disch beispielsweise mithilfe von Schülerzeichnungen, Voraussageprüfungen oder der Kartenabfrage (s. Gropengießer 1996) durchgeführt werden. Diese Methoden zeichnen sich durch einen im Vergleich zu den Vermittlungsexperimenten geringeren Zeitaufwand aus. Ob damit individuelle Vorstellungsentwicklungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen in Klassensituationen aber auch angemessen nachgezeichnet werden können, müsste mithilfe empirischer Feldstudien überprüft werden.

10.5 Die erreichten Ziele

Ziel der vorgelegten Studie war es herauszufinden, welche Rolle individuelle Vorstellungen von Lernern für die Vermittlung im Bereich der Mikrobiologie spielen. Das Ergebnis der Untersuchungen stellen Lernangebote dar, die in einem ersten Schritt theoriegeleitet und methodisch kontrolliert rekonstruiert und deren Lernwirksamkeit dann auch empirisch erfasst wurden. Mithilfe der evidenzbasierten Lernangebote können unterrichtliche Lehr-Lern-Arrangements im Bereich der Mikrobiologie verbessert werden. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die Kognitionen der Lerner, andere Formen des mentalen Erlebens wurden nicht erfasst.

Den theoretischen Hintergrund der Untersuchungen bilden die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, die konstruktivistische Sichtweise des Lernens und der conceptual-change-Ansatz. Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wurde nach einem direkten Verständnis und einem imaginativen Verständnis unterschieden. Letzteres entsteht durch Übertragung von Vorstellungen aus einem Ursprungsbereich in einen Zielbereich. Der konstruktivistischen Sichtweise des Lernens und dem conceptual-change-Ansatz entsprechend wurde angenommen, dass es unter bestimmten Bedingungen zu einer Veränderung der auf Bakterien und bakterielle Prozesse bezogenen Lernervorstellungen kommt. Bei diesem individuellen Vorstellungsentwicklungsprozess stellen die Vorstellungen zum mikrobiologischen Themenbereich, die den Lernern vor dem Lernprozess verfügbar sind, den Ausgangspunkt des Lernens dar.

Die vorgelegte Studie wurde im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion durchgeführt. Die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsaufgaben des Modells wurden aufeinander bezogen, um die Fragen nach dem auf Bakterien bezogenen Lernerverständnis auf dem Hintergrund einer Theorie des Verstehens zu beantworten. Die Lernervorstellungen wurden mithilfe von zwei Methoden erfasst:

- a) Im Rahmen der Untersuchungsaufgabe „*Reanalyse von empirisch erfassten Lernervorstellungen*“ wurden 21 Publikationen erfasst. Die dort versammelten Befunde zu Lernervorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen wurden reinterpretiert und zu 34 Konzepten zusammengefasst. Mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens konnten die Konzepte in neue Sinnzusammenhänge gestellt und zu 6 Denkfiguren zusammengefasst werden.
- b) Mithilfe der Analysen von Interviewphasen aus 12 Vermittlungsexperimenten konnten 40 Konzepte bei Gymnasialschülern der zehnten Klasse (N=33) ermittelt und zu 5 Denkfiguren zusammengefasst werden.

Die Lernerperspektiven beider Untersuchungsaufgaben wurden im Kapitel „*Zusammenführung und Verallgemeinerung der erfassten Lernervorstellungen zu Bakterien und bakteriellen Prozessen*“ kriteriengeleitet miteinander verglichen: Lerner verstehen Bakterien und bakterielle Prozesse in erster Linie metaphorisch, indem sie Vorstellungen aus nichtmikrobiologi-

schen Ursprungsbereichen auf Bakterien übertragen. Lernern machen lebensweltlich keine und unterrichtlich kaum Erfahrungen mit Bakterien und bakteriellen Prozessen. Aus diesem Grund sind ihnen wissenschaftsorientierte Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen meist auch nicht verfügbar.

Die aktuelle fachwissenschaftliche Perspektive auf Bakterien und bakterielle Prozesse wurde im Rahmen der Untersuchungsaufgabe „*Fachliche Klärung*“ erfasst. Die Vorstellungen von Mikrobiologen wurden anhand des Lehrwerks „*Mikrobiologie*“ (Madigan et al. 2001) kritisch analysiert.

Die Untersuchungsaufgabe „*Didaktische Strukturierung*“ wurde dreischrittig durchgeführt:

- 1) Durch den Vergleich der wissenschaftlichen Vorstellungen mit den im Kapitel „*Reanalyse von empirisch erfassten Lernervorstellungen*“ erfassten Lernervorstellungen konnten Leitlinien für die Vermittlung im mikrobiologischen Bereich formuliert werden.
- 2) Auf Basis der Leitlinien konnten 19 Lernangebote für die Vermittlung im mikrobiologischen Bereich didaktisch rekonstruiert werden.
- 3) Die Vorstellungsentwicklungen, die Lernern mithilfe der didaktisch rekonstruierten Interventionen möglich sind, wurden in Vermittlungsexperimenten erfasst und analysiert. Auf empirischer Grundlage konnten Aussagen über die Lernförderlichkeit oder Lernhinderlichkeit der Lernangebote gemacht werden. Auf dieser Grundlage konnten Lernangebote auch optimiert werden, um ihre Wirkung bei der Vermittlung im mikrobiologischen Bereich im Sinne einer Entwicklung wissenschaftsorientierter Vorstellungen von Bakterien und bakteriellen Prozessen zu steigern.

Folgeuntersuchungen wird es vorbehalten sein, folgende Fragen empirisch zu klären:

- Welche individuellen Kognitionen gründen in den konkreten experimentellen Handlungen und Aktivitäten der Lerner?
- Welche Bedeutung haben die experimentellen Erfahrungen für die Behaltensleistung?
- Wie lange sind die in den Vermittlungsexperimenten entwickelten Vorstellungen verfügbar?
- Wie können die didaktisch rekonstruierten Lernangebote erfolgreich in die Klassensituation integriert werden?

11 Literatur

Alexopoulou, E., Driver, R. (1996). Small-group discussions in physics: peer interaction modes in pairs and fours. In: *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 33, No. 10, 1099-1114

Aufschnaiter, C. v. (2003). Interactive processes between university students: Structures of interactions and related cognitive development. In: *Research in Science education* 33, 341-374

Bast, E. (2001). *Mikrobiologische Methoden: eine Einführung in grundlegende Arbeitstechniken*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin

Barenholz, H., Tamir, P. (1987). The design, implementation and evaluation of a microbiology course with special reference to misconceptions and concept maps. In: Novak, J. (Ed.) *Proceedings of the 2. International Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, Vol. 1, 32-45. Cornell University, Ithaca

Bayrhuber, H., Lucius, E.R. (Hrsg.) (1992). *Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik Bd. 3*. Metzler Schulbuchverlag, Hannover

Bayrhuber, H., Lucius, E.R. (Hrsg.) (1997). *Handbuch der praktischen Mikrobiologie und Biotechnik Bd. 2*. Schroedel Verlag, Hannover

Bayrhuber, H., Stolte, S. (1997). Schülervorstellungen von Bakterien und Konsequenzen für den Unterricht. In: Bayrhuber, H., u.a. *Biologieunterricht und Lebenswirklichkeit*, 311-315. Kiel, IPN

Bereiter, C. (1985). Towards a solution of the learning paradox. In: *Review of Educational Research*, Vol. 55, 201-226

Beyer, I., Bickel, H., Gropengießer, H., Kluge, S., Knauer, B., Kronberg, I., Krull, H.-P., Lichtner, H.-D., Schneeweiß, H., Ströhla, G., Tischer, W. (2005). *Natura, Biologie für Gymnasien. Oberstufe*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart

Bohnsack, R., Marotzki, W., Meuser, M. (Hrsg.) (2006). *Hauptbegriffe qualitativer Sozialforschung*. Verlag Barbara Budrich, Opladen

Braun, W., Ginschel, G., Hagen, G. (1989). *Etymologisches Wörterbuch des Deutschen*. Akademie Verlag, Berlin

Brill, H. (1995). *Mikrobielle Materialzerstörung und Materialschutz*. Gustav Fischer Verlag, Jena

Brookmann, I. (2000). *Was ist lebendig? Fachliche Klärung und Erhebung von Alltagsvorstellungen*. Oldenburger Vordrucke Nr. 428, Didaktisches Zentrum, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, ISSN 0932-7584

Brown, J.S., Collins, A., Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. In: *Educational Researcher*, Vol. 18, No. 1, 32-42

- Brumby, M. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. In: Science education, Vol. 68, No 4, 493-503
- Chinn, C.A., Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. In: Review of Educational Research, 63, 1-49
- Claus, R., Dobler, H.-J., Frank, R., Haala, G., Lauer, V., Schweizer, J., Stephan, F., Strecker, H., Wichert, G. (1991). *Natura. Biologie für Gymnasien, Band 2*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart
- Diaz de Bustamante, J., Aleixandre, M.P. J. (1998). Interpretation and drawing of images in biology learning. In: Bayrhuber, H., Brinkman, F. (Eds.) *What-Why-How? Research in Didactic of Biology*, 93-102. Kiel, IPN
- Dreyfus, A., Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. In: *International Journal of Science Education*, Vol. 10, No. 2, 211-229
- Dreyfus, A., Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. In: *Journal of Biological Education*, Vol. 23, No. 1, S. 49- 55
- Dreyfus, A., Jungwirth, E. (1990). Macro and micro about the living cell: which explains what? In: Lijnse, P.L., Licht, P., Vos, W. de, Waarlo, A.J. (Eds), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, 107 –108. Utrecht, CD-b Press
- Dubs, R. (1995). *Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus Sicht der Unterrichtsgestaltung*. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 41. Jg., Nr. 6, 890-903
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 41. Jg., Nr. 6, 905-926
- Duit, R. (2007). *Bibliography-STCSE. Students` and teachers` conceptions and science education*. <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuel/stcse/stcse.html> (letzter Zugriff: 17.06.2007)
- Duit, R., von Rhöneck, C. (1996). Lernen in den Naturwissenschaften. Einführende Bemerkungen. In: Duit, R., von Rhöneck, C. (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften*, 7-12. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel
- Duit, R., Treagust, D.F. (1998). Learning in science – from behaviorism towards social constructivism and beyond. In: Fraser, B.J., Tobin, K.G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, 3-25. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers
- Eckbrecht, D., Schneeweiß, H. (2003). *Naturwissenschaftliche Bildung. Gedanken und Beispiele zur Umsetzung von scientific literacy*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart
- Euler, M. (2001). Lernen durch Experimentieren. In: Ringelband, U., Prenzel, M., Euler, M. (Hrsg.) *Lernort Labor*, 13-42. IPN-Kiel
- Flick, U. (1995). *Qualitative Forschung*. Rowohlt Verlag, Reinbeck bei Hamburg

- Flores, F. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view. In: *International Journal of Science Education*, Vol. 25, No. 2, 269-286
- Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Bildung und Sport (2003). *Bildungsplan Sekundarstufe 1, Neunstufiges Gymnasium*
- Fuchs, G. (Hrsg.) (2006). *Allgemeine Mikrobiologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Fuerst, J.A., Webb, R.I. (1991). Membrane-bounded nucleoid in the eubacterium *Gemmata obscuriglobus*. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 88, 8184-8188
- Gayford, C.G. (1986). Some aspects of the problem of teaching about energy in school biology. In: *European Journal of Science Education*, Vol. 8, No. 4, 443-450
- Giesbrecht, P., Kersten, T., Maidhof, H., Wecke, J. (1998). Staphylococcal cell wall: Morphogenesis and fatal variations in the presence of penicillin. In: *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Vol. 62, No. 4, 1371-1414
- Groeben, N., Wahl, D., Schlee, J., Scheele, B. (1988). *Forschungsprogramm Subjektive Theorien. Eine Einführung in die Psychologie des reflexiven Subjekts*. A. Francke Verlag, Tübingen
- Gropengießer, H. (1996). Die Bilder im Kopf. Von den Vorstellungen der Lernenden ausgehen. In: *Friedrich Jahresheft 1996*, 11-13. Seelze: Erhard Friedrich Verlag
- Gropengießer, H. (1997). *Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 1*, Didaktisches Zentrum Oldenburg
- Gropengießer, H. (2003). *Lebenswelten / Denkwelten / Sprechwelten Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 4*, Didaktisches Zentrum Oldenburg, ISBN 3-8142-0856-0
- Gropengießer, H. (2005). *Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung*. In: Mayring, P., Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.), *Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse*, 172-189. Beltz Verlag, Weinheim
- Gropengießer, H. (2007). *Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens*. In: Krüger, D., Vogt, H. (Hrsg.), *Theorien der biologiedidaktischen Forschung*, Springer Verlag Berlin
- Gropengießer, H., Kattmann, U. (1998). *Didaktische Rekonstruktion kurz gefasst*. In: Günther-Arndt, H. *Fachdidaktik als Zentrum professioneller Lehrerbildung*. Oldenburger Vordrucke 387. Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- Hammann, M. (2002). *Kriteriengeleitetes Vergleichen im Biologieunterricht*. Studienverlag, Innsbruck
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W., Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftliche Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. IPN, Kiel

Helldén, G. (1999). A longitudinal study of pupils' understanding of conditions for life, growth and decomposition. In: Bandiera, M., Caravita, S., Torracca, E., Vicentini, M. (Eds.), *Research in Science Education in Europe*, 23-30. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher

Helman, C.G. (1978). "Feed a cold, starve a fever" – folk models of infection in an English suburban community, and their relation to medical treatment. In: *Culture, Medicine and Psychiatry*, vol. 2, 107–137

Hewson, P.W., Hewson, M.G. (1992). The status of student's conceptions. In: Duit, R., Goldberg, F., Niedderer, H. (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*, 59-73. Institute for Science Education at the University of Kiel

Hiering, P.C., Killermann, W. (1991). Original oder Abbild? Überlegungen zu einer permanenten Kontroverse im Biologieunterricht. In: *Biologie in der Schule* 40, 6, 229-232

Hilge, C. (1999). Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen – ein Beitrag zur didaktischen Rekonstruktion. Dissertation, Universität Oldenburg: Didaktisches Zentrum (DIZ), ISBN: 3-8142-0685-1

Huber, G. L. (2000). Lernen in kooperativen Arrangements. In: Duit, R., v. Rhöneck, C. (Hrsg.), *Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung*, 55-76. IPN-Kiel

Jahn, I. (2000, Hrsg.). *Geschichte der Biologie*, 2. Aufl. Spektrum Akademischer Vlg., Heidelberg

Janich, P., Weingarten, M. (1999). *Wissenschaftstheorie der Biologie*. W. Fink Verlag, München

Jenkins, C., Kedar, V., Fuerst, J.A. (2002). Gene discovery within the planctomycete division of the domain Bacteria using sequence tags from genomic DNA libraries. In: *Genome Biology*, Vol. 3, No. 6, 301-311

Johnson, M. (1992). *The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. Chicago, London, The University of Chicago Press

Jones, M.G., Andre, T., Superfine, R., Taylor, R. (2003). Learning at the Nanoscale: the impact of students' use of remote microscopy on concepts of viruses, scale, and microscopy. In: *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 40, No. 3, 303-322

Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik / Chemie*, 34, 2-6

Kapteijn, M. (1990). The functions of organisational levels in biology for describing and planning biology education. In: Lijnse, P.L., Licht, P., Vos, W.de, Waarlo, A.J. (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, 139-150. Utrecht, CD-b Press

Kattmann, U. (1992). Von der Macht der Namen. In: Entrich, H., Staeck, L. (Hrsg.), *Sprache und Verstehen im Biologieunterricht*, 90-101. Leuchtturm-Verlag, Alsbach

- Kattmann, U. (2003). "Vom Blatt zum Planeten"- Scientific literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht und darüber hinaus. In: Moschner, B., Kiper, H., Kattmann, U. (Hrsg.), PISA 2000 als Herausforderung, 115-137. Schneider Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler
- Kattmann, U., Gropengießer, H. (1998). Schulnahe fachdidaktische Lehr/Lernforschung: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Oldenburger Vordrucke, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3, 3, 3-18
- Kitchener, R. (1992). Piaget`s Genetic Epistemology: Epistemological Implications for Science Education. In: Duschl, R.A., Hamilton, R.J. (Eds.), Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice, 116-146. State University of New York Press
- Klahr, D., Dunbar, K. (2000). A Paradigm for Investigating Scientific Discovery in the Psychology Lab. In: Klahr, D. (Ed.) Exploring Science. The Cognition and Development of Discovery Processes, 41-59. MIT Press Cambridge
- Klautke, S. (1997). Ist das Experimentieren im Biologieunterricht noch zeitgemäß? In: MNU 50, 6, 323-329
- Knippels, M.C. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education – The yoyo learning and teaching strategy. Utrecht, CD-b Press
- Knippers, R. (1997). Molekulare Genetik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Komorek, M., Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. In: International Journal of Science Education, Vol. 26, No. 5, 619-633
- Krapp, A. (1996). Psychologische Bedingungen naturwissenschaftlichen Lernens: Untersuchungsansätze und Befunde zu Motivation und Interesse. In: Duit, R., von Rhöneck, C. (Hrsg.), Lernen in den Naturwissenschaften, 37-68. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel
- Lakoff, G. (1987). Women, Fire, and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind. Chicago, London, The University of Chicago Press
- Lakoff, L., Johnson, M. (1980). Metaphors we live by. Chicago, London, The University of Chicago Press
- Lakoff, G., Johnson, M. (1999). Philosophy in the flesh. New York, Basic Book
- Lakoff, G., Johnson, M. (2000). Leben in Metaphern. Zweite, korrigierte Auflage. Carl-Auer-Systeme Verlag, Heidelberg

- Leach, L., Driver, R., Scott, P., Wood-Robinson, C. (1995). Children`s ideas about ecology 1: theoretical background, design and methodology. In: International Journal of Science Education, Vol. 17, No. 6, 721-732
- Leach, L., Driver, R., Scott, P., Wood-Robinson, C. (1996 a). Children`s ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. In: International Journal of Science Education, Vol. 18, No. 2, 129-141
- Leach, L., Driver, R., Scott, P., Wood-Robinson, C. (1996 b). Children`s ideas about ecology 3: Ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organisms. In: International Journal of Science Education, Vol. 17, No. 6, 721-732
- Lijnse, P.L. (1990). Macro-Micro: What to discuss? In: Lijnse, P.L., Licht, P., Vos, W. de, Waarlo, A.J. (Eds.), Relating macroscopic phenomena to microscopic particles. 6-11, Utrecht, CD-b Press
- Lucius, E.R. (1994). Sicherheit biotechnischen Arbeitens in der Schule. In: Bayrhuber, H., Etschenberg, K., Gehlhaar, K.H., Grönke, O., Klee, R., Kühnemund, H., Mayer, J. (Hrsg.), Interdisziplinäre Themenbereiche und Projekte im Biologieunterricht, 345-349. IPN-Kiel, 1994
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J. (2001). Mikrobiologie. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg
- Margulis, L., Schwartz, V. (1989). Die fünf Reiche der Organismen: Ein Leitfaden. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg
- Mayring, P. (2003). Qualitative Inhaltsanalyse. Beltz Verlag, Weinheim
- Mayring, P. (2005). Neuere Entwicklungen in der qualitativen Forschung und der qualitativen Inhaltsanalyse. In: Mayring, P., Gläser-Zikuda, M., (Hrsg.), Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse, 7-19. Beltz Verlag, Weinheim
- Mayring, P., Gläser-Zikuda, M., (2005). Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse. Beltz Verlag, Weinheim
- Müller, M. (1994). Sicherer Umgang mit Mikroorganismen an Schulen. In: Bayrhuber, H., Etschenberg, K., Gehlhaar, K.H., Grönke, O., Klee, R., Kühnemund, H., Mayer, J. (Hrsg.), Interdisziplinäre Themenbereiche und Projekte im Biologieunterricht, 350 –353. IPN-Kiel
- Müller, C.T. (2003). Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht. Dissertation, Logos Verlag Berlin
- Nagy, M.H. (1953). The representation of germs by children. In: Journal of Genetic Psychology, Vol. 83, 227-240
- Piaget, J (1988). Das Weltbild des Kindes. DTV, München
- Prout, A. (1985). Science, health and everyday knowledge: a case study about the common cold. In: European Journal of Science Education, Vol. 7, No. 4, 399-406

- Rahmann, H. (1996). Neurobiologische Grundlagen von Lernen und Gedächtnis. In: Duit, R., von Rhöneck, C. (Hrsg.), Lernen in den Naturwissenschaften, 88-116. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel
- Riemeier, T. (2005). Biologie verstehen: Die Zelltheorie. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 7. Didaktisches Zentrum, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, ISSN 1617-3139
- Romeis, B. (1989). Mikroskopische Technik. Verlag Urban & Schwarzenberg, München
- Roth, W.M. (1995). Authentic school science: knowing and learning in open-inquiry science laboratories. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Roth, W.M. (1996). Situated cognition. In: Duit, R., von Rhöneck, C. (Hrsg.), Lernen in den Naturwissenschaften, 163-179. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel
- Russel, T., Watt, D. (1990). Growth. Primary Space Projekt Research Report. Liverpool University Press, ISBN 0-85323-476-0
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R., Lehrke, M. (2003). Technischer Bericht zur Videostudie "Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht". IPN-Kiel
- Schlegel, H.G. (1981). Allgemeine Mikrobiologie. Thieme Verlag, Stuttgart
- Schneeweiß, H. (1996 a). Blutzellen aus der Miesmuschel. Zellbiologische und immunbiologische Experimente – Teil 1: Fressen und gefressen werden. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 6 (45), 30-32
- Schneeweiß, H. (1996 b). Blutzellen aus der Miesmuschel. Zellbiologische und immunbiologische Experimente – Teil 2: Zytotoxische Aktivität. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 7 (45), 28-31
- Schneeweiß, H. (1996 c). Blutzellen aus der Miesmuschel. Zellbiologische und immunbiologische Experimente – Teil 3: Wozu braucht eine Blutzelle ein Zytoskelett? In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 8 (45), 34-37
- Schneeweiß, H. (1997 a). Blutzellen aus der Miesmuschel. Zellbiologische und immunbiologische Experimente – Teil 4: Nachweis einer Enzymaktivität. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 1 (46), 34-35
- Schneeweiß, H. (1997 b). Blutzellen aus der Miesmuschel. Zellbiologische und immunbiologische Experimente – Teil 5: Agglutinierende Moleküle. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 2 (46), 40-42
- Schneeweiß, H. (1998 a). Phagozytose, amöboide Wanderungsaktivität, Zytotoxizität und Agglutination unter dem Schülermikroskop. Zusammenfassung eines Praktikums während der 88. MNU-Hauptversammlung 1997 in Hamburg. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 2, 110-114

Schneeweiß, H. (1998 b). Schülerversuche mit Körperflüssigkeiten wirbelloser Tiere – Teil 1: Wachsende Koagulationsinseln in der Hämolymphe. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 5 (47), 43-46

Schneeweiß, H. (1998 c). Schülerversuche mit Körperflüssigkeiten wirbelloser Tiere – Teil 2: Zellen aus der Leibeshöhle des Regenwurmes. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 6 (47), 39-40

Schneeweiß, H. (1998 d). Schülerversuche mit Körperflüssigkeiten wirbelloser Tiere – Teil 3: Intrazelluläres oder extrazelluläres Hämozyanin in der Weinbergschnecke? In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 7 (47), 33-35

Schneeweiß, H. (1998 e). Schülerversuche mit Körperflüssigkeiten wirbelloser Tiere – Teil 4: Schwankende Konzentrationen weißer Blutzellen. In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 8 (47), 36-40

Schneeweiß, H. (1999). Schülerversuche mit Körperflüssigkeiten wirbelloser Tiere – Teil 5: Zielsteuerung weißer Blutzellen durch Chemotaxis? In: Praxis der Naturwissenschaften, Biologie; Heft 1 (48), 39-41

Schneeweiß, H. (2003). Trinkwasser und Hygiene. In: Praxis der Naturwissenschaften / Biologie in der Schule, Heft 7 (52), 41-43

Schnotz, W. (1996). Psychologische Aspekte des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In: Duit, R., von Rhöneck, C. (Hrsg.), Lernen in den Naturwissenschaften, 15-36. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel

Schulz, H.N., Brinkhoff, T., Ferdelman, T.G., Hernandez Marine, M., Teske, A., Jörgensen, B.B. (1999). Dense populations of giant sulphur bacterium in namibian sediments. In: Science, Vol. 284, No. 5413, 493-495

Seelig, F., Gründig, E. (1983). Arbeitsbuch Chemie. Band 1, Allgemeine Chemie. Urban & Schwarzenberg, München

Seyffert, W. (Hrsg.) (1998). Lehrbuch der Genetik. Gustav Fischer Verlag Stuttgart

Simonneaux, L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with 'microbes', as a contribution to research in biotechnology education. In: International Journal of Science Education, Vol. 22, No. 6, 619-644

Sogin, M.L. (1993). Giants among the prokaryotes. In: Nature, Vol 362, No. 6417, 207

Steffe, L.P., D'Ambrosio, B.S. (1996). Using teaching experiments to understand students' mathematics. In: Treagust, D., Duit, R., Fraser, B. (Eds.), Improving teaching and learning in science and mathematics, 65-76. New York, Teacher College Press

Stewart, E.J., Madden, R., Paul, G., Taddei, F. (2005). Aging and Death in an Organism that reproduces by morphologically symmetric division. In: PLOS Biology (Internet: www.plosbiology.org), Vol. 3 (2), 295-300

Strike, K.A., Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: Duschl, R.A., Hamilton, R.J. (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practise*, 147-176. New York, State University of New York

Terhart, E. (1999). Konstruktivismus und Unterricht. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, Jg. 45, Nr. 5, 629-647

Teixeira, F. M. (2000). What happens to the food we eat? Children's conceptions of the structure and function of the digestive system. In: *International Journal of Science Education*, Vol. 22, No. 5, 507-520

Tesch, M. (2003). Experimente im Physikunterricht. In: Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R., Lehrke, M. (Hrsg.), *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“*, 129-149. IPN, Kiel

Vollmer, G. (2002). *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Hirzel Verlag, Stuttgart

Wang, J., Jenkins, C., Webb, R.I., Fuerst, J.A. (2002). Isolation of Gemmata-like and Isophaera-like planctomycete bacteria from soil and freshwater. In: *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 68, No. 1, 417-422

Wiesmann, E. (1982). *Medizinische Mikrobiologie*. Thieme Verlag, Stuttgart

Winston, M.E., Chaffin, R., Herrmann, D. (1987). A taxonomy of part-whole relations. In: *Cognitive Science*, 11, 417-444

Zamora, S. E., Guerra, M. (1993). Misconceptions about cells. 3rd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. New York, Cornell University

14 Danksagungen

Ich möchte allen herzlich danken, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Allen voran danke ich Herrn Prof. Dr. Harald Gropengießer, der mich in vielen Diskussionen fortwährend unterstützt hat. Ohne ihn wäre es mir nicht gelungen, lebensweltliche und wissenschaftliche Perspektiven zu erkennen und zu unterscheiden.

Ein herzlicher Dank geht auch an die Mitglieder der Arbeitsgruppe „Biologiedidaktik“ der Universität Hannover. Die Diskussionen dort haben mir fruchtbare Impulse vermitteln können, die für die vorliegende Arbeit sehr wichtig waren. Namentlich möchte ich Frau Prof. Dr. Tanja Riemeier, Herrn Dr. Jorge Gross und Herrn Jörg Zabel danken. Danken möchte ich auch Herrn Oberstudienrat a. D. M. Ruppelt (Hamburg) für die kompetente Beratung bei schwierigen Frage die deutsche Sprache betreffend.

Ein sehr herzlicher Dank geht auch an die namentlich nicht genannten Schülerinnen und Schüler, die sich bereiterklärt haben, das mikrobiologische Praktikum zu absolvieren und mit mir bereitwillig über ihre Gedanken gesprochen haben. Erst dadurch war es mir möglich, die Schülerperspektiven in den Blick zu nehmen.

Schließlich möchte ich auch meiner Familie danken. Caroline, Hendrik und Gabriele haben mir in den letzten drei Jahren, Julius im vergangenen Jahr, stets Verständnis entgegengebracht, auch wenn ich aus ihrer Perspektive oft nicht ganz bei der Sache war.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Die vorliegende Dissertation ist nicht schon als Prüfungsarbeit verwendet worden.

(Dr. Horst Schneeweiß)

Lebenslauf

Name: Schneeweiß, Dr.
Vorname: Horst, Robert, Michael
Geburtsdatum: 26.10.1960
Geburtsort: Eitorf
Familienstand: ledig, drei Kinder
Hendrik Müller
geb. 09.04. 1989

Caroline, Marie Müller
geb. 13. 08. 1993

Julius Sauer
geb. 28.03. 2007

Anschrift: Erlenweg 38
22880 Wedel

Ausbildung:

1966 -1979 Köln: Grundschule, Gymnasium
1983 -1989 Hamburg
Studium der Fächer Biologie, Sport,
Erziehungswissenschaft
20.06.1989 Erste Staatsprüfung für das Lehramt an der
Oberstufe- Allgemeinbildende Schulen
1989 -1991 Promotion Universität Hamburg, Fachbereich
Biologie
13.02.1992 Erlangung des Doktorgrades
1992 -1994 Studienseminar Hamburg, Referendariat
10.06.1994 Zweite Staatsprüfung für das Lehramt an
Gymnasien

Berufspraxis

1980-1983 Wechselnde berufliche Tätigkeiten
September 1991-Oktober 1992 Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im
Zoologischen Institut der Universität Hamburg
seit September 1994 Lehrtätigkeit im Hamburger Schuldienst
(Gesamtschule, Gymnasium)
seit Juni 1998 Abgeordnet für "Wettbewerbe und schul-
übergreifende Angebote für Maßnahmen
der Begabungsvielfalt"
Ernennung zum Studienrat im
10.08.1998 Beamtenverhältnis
auf Lebenszeit