

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Stahlbau

Bachelorarbeit

Erarbeitung eines Konstruktionskatalogs für die Revitalisierung
von Wohnbauten unter Einsatz des Baustoffs Stahl.

eingereicht von Jan Beyer
geb. am 28.07.1982 in Friedrichroda
Seminargruppe BB/02/A
Matrikelnummer 20002

Reg.-Nr. BB/2005/4

Erstprüfer	Prof. Dr.-Ing. habil. F. Werner
Zweitprüfer	Dipl.-Ing. A. Bubner

Ausgabedatum	23.05.2005
Abgabedatum	18.07.2005

Prof. Dr.-Ing. habil. Carsten Könke
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Thema: Erarbeitung eines Konstruktionskatalogs für die Revitalisierung von Wohnbauten unter Einsatz des Baustoffs Stahl.

Anlage zur Bachelorarbeit Nr.: BB/2005/4

Name: Jan Beyer

Ausgehend von praktischen Beispielen der Revitalisierung von Wohnbauten sind konstruktive Lösungen für typische Aufgabenstellungen zu entwickeln. Die Bearbeitung des Themas besteht in zwei Schwerpunkten. Unter Verwendung von Vorarbeiten zu Ausführungsbeispielen sind die eingesetzten Konstruktionen hinsichtlich ihrer mechanischen und konstruktiven Eigenschaften zu bewerten und zu klassifizieren. Aus den zur Verfügung stehenden Anwendungsfällen sind Randbedingungen und Anforderungen abzuleiten.

Für die Entwicklung eigener Vorschläge, welche den Hauptteil der Arbeit bilden, sind diese Analysen als Grundlage zu verwenden. Als Konstruktionsmaterial ist dabei überwiegend Stahl zu verwenden.

Schwerpunkte der Arbeit:

- Analyse der Ausführungsbeispiele und Ableitung von Anforderungen und Randbedingungen an statisch, konstruktive Ausführung
- Erläuterung und Beschreibung der für die weitere Bearbeitung relevanten Informationen der vorhandenen Lösungen
- Erarbeitung von Klassifikationskriterien und Zuordnung der Konstruktionen
- Entwicklung eigener Lösungen auf Grundlage der vorangegangenen Analysen
- Erstellung eines Konstruktionskataloges und Beschreibung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Konstruktionsarten

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	5
2. Begriffsbestimmung	6
3. Randbedingungen für die Wahl einer Konstruktion	7
3.1 Konstruktive Randbedingungen	8
3.1.1 Hauptabmessungen des bestehenden Gebäudes	8
3.1.2 Zustand der bestehenden Bausubstanz	10
3.1.3 Anwendung der Stahlkonstruktion und Einfluss auf die Profilwahl	11
3.1.4 Verbindungen und Verbindungsmittel	12
3.2 Statische Randbedingungen	12
3.2.1 Beschaffenheit der bestehenden Bausubstanz	12
3.2.2 statisches System und die Verwirklichung im Tragwerk	13
3.2.3 Lasteinleitung, -verteilung, -umlagerung, Lagerbedingungen	14
3.2.4 Aussteifungen und Verankerungen	15
3.2.5 Steifigkeit des neuen und des bestehenden Tragwerks	16
3.2.6 Die Art der aufzunehmenden Einwirkungen	17
3.3 Bauphysikalische Randbedingungen	18
3.3.1 Brandschutz	18
3.3.2 Wärmeschutz und Tauwasseranfall	19
3.3.3 Schallschutz	19
3.4 Zusätzliche Randbedingungen und Einflüsse	20
4. Die Konstruktionen	22
4.1 Träger	24
4.1.1 Tragstruktur und statische Systeme	24
4.1.2 Profilwahl	27
4.1.3 Auflager und Lasteinleitung	29
4.1.4 Verbindungen und Verbindungsmittel	37
4.1.4.1 Schraubverbindungen	38
4.1.4.2 Schweißverbindungen	45
4.1.4.3 Verbindungen im Stahlleichtbau	47
4.1.5 Steifigkeit der Verbindungen	48
4.2 Decken und Galerien	50
4.2.1 Trägerdecken ohne Verbund	51
4.2.2 Trägerdecken mit Verbund	51

4.2.3	Stahlblechverbunddecken	53
4.2.4	Flachdecken	54
4.2.5	Stahlleichtbauweise	57
4.2.6	Trägerroste	59
4.2.7	Stahl in Kombination mit Holz	60
4.2.8	Einfluss der Steifigkeit auf Deckenkonstruktionen	62
4.2.9	Bauphysikalische Betrachtungen	66
4.3	Stützen	70
4.3.1	Allgemeines, Modellbildung	70
4.3.2	Profilwahl	71
4.3.3	Lasteinleitung, Ausbildung des Stützenkopfes	72
4.3.4	Ausbildung des Stützenfußes	74
4.4	Wandkonstruktionen	75
4.4.1	Wandkonstruktionen nach dem Prinzip der Stahlrahmenbauweise	75
4.4.2	Wände in Stahlleichtbauweise / Ständerbauweise	77
4.4.3	Bauphysikalische Betrachtungen	79
4.5	Aussteifungssysteme und Verankerungen	81
4.5.1	Aussteifungen in horizontaler Ebene	82
4.5.2	Aussteifungen in vertikaler Ebene	85
4.6	Ertüchtigung / Verstärkung bestehender Konstruktionen	87
5.	Klassifikation der Stahlkonstruktionen	90
5.1	Die Klassifikationskriterien	91
5.1.1	Träger	92
5.1.2	Stützen-Träger-Systeme / Rahmen	95
5.1.3	Decken	96
5.1.4	Wände	100
6.	Zusammenfassung	101
	Literatur- und Quellenverzeichnis	102
	Abbildungsverzeichnis	106
	Tabellenverzeichnis	108
	Selbständigkeitserklärung	109
	Thesen	

1. Einleitung

Die Sanierung, Modernisierung und Revitalisierung von Bauwerken sind wichtige Bereiche des Bauwesens. Unter Verwendung der verschiedensten Technologien und Baustoffe wird alten Bauten neues Leben „eingehaucht“. Die Revitalisierung von Bauwerken spielt vor allem im Wohnungsbau eine große Rolle. So werden alte Industriehallen zu modernen Lofts und Künstlerateliers oder alte Scheunen zu teuren Eigentumswohnungen umgenutzt. Aber auch die Sanierung und Modernisierung von bestehenden Wohnbauten oder deren Bestandteilen sind wichtige Aufgaben auf diesem Gebiet.

Bestandteil dieser Arbeit ist die Revitalisierung von Wohnbauten unter Einsatz des Baustoffes Stahl. Unter Verwendung analysierter Beispiele werden Randbedingungen erarbeitet, die bei der Entwicklung von Konstruktionen zu beachten sind. Der Einfluss der bestehenden Bausubstanz spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Schwerpunkt der Betrachtungen sind Tragwerke. Unter dem Einfluss der Randbedingungen und den Wechselwirkungen zwischen ihnen werden die einzelnen Konstruktionen erarbeitet und auf ihre Einsatzmöglichkeiten beim Bauen im Bestand untersucht. Neben dem „konventionellen“ Stahlbau soll die Stahlleichtbauweise betrachtet werden. Eine abschließende Klassifikation und die Katalogisierung der einzelnen Ausführungsvarianten soll eine erste Entscheidungshilfe für die Auswahl einer geeigneten Stahlkonstruktion zur Revitalisierung eines Wohngebäudes geben. Hierbei werden typische Anwendungen, jedoch nicht jede mögliche Ausführungsvariante erläutert.

Revitalisierung oder auch Nutzungsänderung ist eng mit der Strukturveränderung eines Gebäudes verbunden. So sollen in dieser Arbeit Konstruktionen erarbeitet werden, die diese Strukturveränderung zulassen. Die Entwicklung und der Einbau neuer Tragwerke in bestehende Gebäude, aber auch der Ersatz bestehender Strukturen durch neue, alternativ aufgebaute Tragsysteme ist wesentlicher Bestand dieser Arbeit. Da die vorhandene Bausubstanz und vor allem ihr Tragwerk wesentlicher Bestand eines zu revitalisierenden Gebäudes sind, werden ergänzend Möglichkeiten zur Ertüchtigung bestehender Bausubstanz unter Verwendung von Stahl gezeigt. Um einen möglichst breiten Überblick über die einzusetzenden Varianten zu geben, werden einige Punkte in dieser Arbeit gezielt mit theoretischen Ansätzen erarbeitet. Durch verschiedene Beispiele werden diese Ansätze und die daraus resultierenden Konstruktionsmerkmale vertieft. So soll die Möglichkeit gegeben werden, die Eigenschaften bestimmter Ausführungsmöglichkeiten auf die konkret zu bearbeitende Aufgabe abzuleiten.

2. Begriffsbestimmung

Die in dieser Arbeit genutzten Begriffe zum Tragwerk, der Tragstruktur etc. werden in der Praxis bzw. in der Anwendung oft verwechselt oder uneinheitlich verwendet. Deshalb wird hier eine Definition der wichtigsten Begriffe gegeben wie sie in dieser Arbeit verwendet werden. Die Definitionen sind durch die Verknüpfung von Zitaten und eigenen Formulierungen bestimmt.

- Bauwerk
Das Bauwerk ist ein Teil der gebauten Umwelt. Es ist das „Ganze“.
- Tragwerk
„Das Tragwerk ist der Teil des Bauwerks, welcher die erforderlichen Tragfunktionen übernimmt.“ [2; S. 10] Das Tragwerk ist die real existierende, stoffliche Umsetzung der Tragstruktur, welche sich aus der gewünschten Tragfunktion ergeben muss.[23]
- Tragwerkselement
Das Tragwerkselement ist ein Teil des gesamten Tragwerks. z.B. ein Stahlträger welcher Bestandteil eines Rahmens ist.
- Tragfunktion
„Tragfunktion ist die Aufgabe des Tragwerkes, Kräfte und andere Einwirkungen aufzunehmen, weiterzuleiten, umzulenken und wieder abzugeben.“ [2; S. 11]
- Tragstruktur
„Die Tragstruktur ist ein unter dem Aspekt der Tragfunktion abstrahiertes Modell des Tragwerkes.“ [2; S. 10] Diese ist eng verknüpft mit der Darstellung als statisches System.
- Tragqualität
Mit der Tragqualität wird die Fähigkeit beschrieben, „wie gut“ das Tragwerk die Tragfunktion mit seinen Eigenschaften übernehmen kann. Sie beschreibt und verbindet die wesentlichen Eigenschaften der Tragstruktur, die zur Realisierung der Tragfunktion erforderlich sind [2; S. 11] (z.B. Material- und GeometrieKennwerte). Sie beschreibt das prinzipielle Tragverhalten.
- Tragverhalten
Das Tragverhalten verbindet die „Tragqualitäten“ der einzelnen Tragwerkselemente und beschreibt das gesamte Tragwerk in seinen mechanischen Eigenschaften unter dem konkreten Einfluss von Einwirkungen.

- **Tragsystem**
Das Tragsystem setzt sich aus mehreren Tragwerken bzw. ihrer Idealisierung zusammen. Ein Tragsystem entsteht durch die Kopplung der verschiedenen Tragwerke und deren Wechselwirkung mit sich selbst und der Umwelt. **[2; S. 10]** Als Beispiel ist das Tragsystem einer Industriehalle zu erwähnen.
- **Statisches System**
Das statische System ist, wie die Tragstruktur, eine Idealisierung des Tragwerks. Hier wird eine geometrietreue Betrachtung des Tragwerks unter Präzisierung der stofflichen Eigenschaften realisiert. Durch die Einführung von Lagerbedingungen und die Betrachtung einer konkreten Belastung kann jetzt eine quantitative Beschreibung erfolgen. Das statische System ist die Darstellung und Abstraktion des Tragsystems unter Verwendung festgelegter Begriffe und Symbole. **[23; S. 12]**

Diese Begriffe sind sehr theoretisch geprägt. Auf den ersten Blick drücken verschiedene Begriffe den selben Fakt aus. Zur Analyse eines Tragwerkes und zur Erstellung der Randbedingungen für die Tragwerksentwicklung sind diese differenzierten Betrachtungen allerdings erforderlich. Auch, wenn in einem daraus resultierenden Konstruktionskatalog nur das Tragwerk oder das Tragwerkelement angesprochen wird. Die analytische Entwicklung von der Tragstruktur bis zum endgültigen Tragwerk ist immer erforderlich.

3. Randbedingungen für die Wahl einer Konstruktion

Die bei der Wahl einer Konstruktion zu betrachtenden Randbedingungen sind sehr vielfältig. Die Ergebnisse aus der Analyse der Randbedingungen bilden die Grundlage für die Entwicklung bestimmter Konstruktionsprinzipien. Um bestimmte Forderungen mit konkreten Konstruktionen einzuhalten müssen die Randbedingungen auf diese umgelegt und bewertet werden. In dieser Arbeit sollen vor allem die konstruktiven, mechanischen und bauphysikalischen Randbedingungen aufgegriffen werden und als Grundlage für die verschiedenen Konstruktionsentwürfe genutzt werden.

3.1 Konstruktive Randbedingungen

Die konstruktiven Randbedingungen werden sowohl durch den Bestand als auch durch die neue Stahlkonstruktion festgelegt. Eine getrennte Erarbeitung und eine daran anschließend verbindende Betrachtung ermöglichen die Entwicklung einer optimalen Konstruktion. Einleitend sollen vier mögliche Stufen der Revitalisierung von Gebäuden betrachtet werden. Diese sind nach [6; S. 21] im einzelnen:

1. Originalgetreue Beibehaltung des alten Grundrisses, vor allem bei denkmalgeschützten Bauten. Behutsame Integration der neuen Nutzung mit Sanierung des Bestandes.
2. Beibehaltung wesentlicher Merkmale der alten Grundrissstruktur mit neuen Ein- und Aufbauten, Erweiterungen und Ausbauten, welche sich aus der neuen Nutzung ergeben.
3. Nur die Tragkonstruktion bleibt erhalten. Alle nicht tragenden Bauteile werden entfernt, so dass eine komplett neue Grundrissgestaltung möglich ist.
4. Durch die neue Nutzung werden Baukörperergänzungen durchgeführt. Diese können über den Grundriss hinaus gehen, so dass komplett neue Formen entstehen. Die Ergänzungen sind oft modern und stehen im Kontext zur alten Substanz.

Trotz der verschiedenen Stufen der Revitalisierung eines Gebäudes sind die nachstehend aufgeführten Randbedingungen stets zu beachten, zu bearbeiten und als Grundlage für den Entwurf des „Neuen“ zu verwenden.

3.1.1 Hauptabmessungen des bestehenden Gebäudes

Die Hauptabmessungen des Gebäudes in Grund- und Aufriss bilden einen ersten wichtigen Punkt, welcher beim Bauen im Bestand zu beachten ist. Diese Eigenschaften des Gebäudes wirken sich auf die zu wählende Konstruktion aus, indem sie maximale Abmessungen der einzubauenden Stahlbauteile begrenzen. Um eine Montierbarkeit zu gewährleisten, müssen die Abmessungen des Gebäudes oder gegebenenfalls die des Raumes beachtet werden, in den die neue Konstruktion integriert werden soll. Im Wohnungsbau sind Kenngrößen wie die lichte Durchgangshöhe oder eine bestimmte Raumhöhe entscheidende Parameter. Auch die Fragestellung nach einer gewünschten Stützenfreiheit bestimmter Räume muss unter dem Gesichtspunkt der Montierbarkeit von Konstruktionen sowie der Einhaltung zulässiger Trägerhöhen kritisch betrachtet werden. Die Abmessungen eines Raumes bilden auch die Grundlage dafür, dass zum Beispiel bestimmte Tragwerksprinzipien nicht angewandt werden können. So fallen auf Grund der Hauptabmessungen eines Gebäudes oder eines Raumes

bestimmte Konstruktionsmöglichkeiten heraus bzw. ergeben sich als nicht zweckmäßig für bestimmte Ausführungen. Abbildung 3.1 verdeutlicht dies noch einmal.

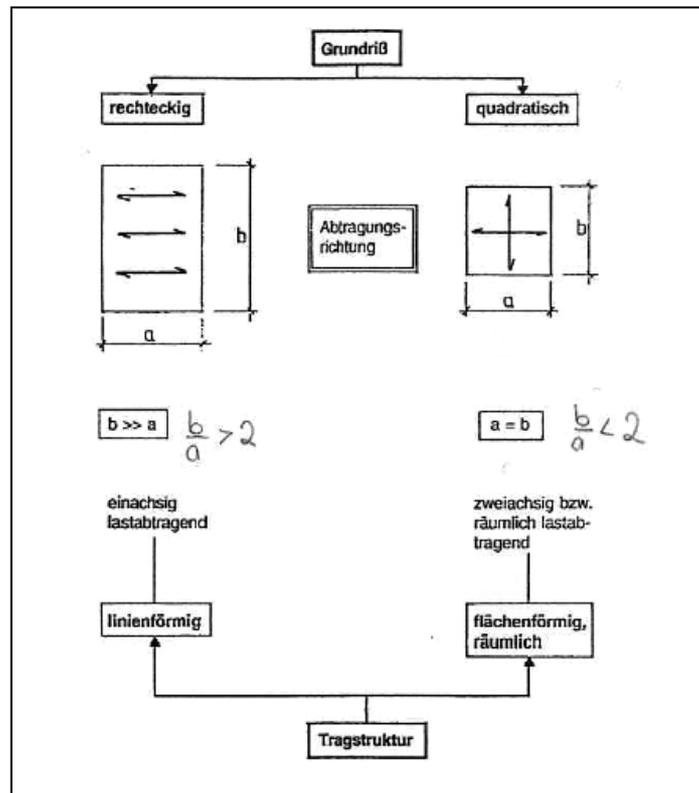


Abbildung 3.1: Einfluss der Geometrie auf die Tragstruktur; aus [13]

Zusammenfassend sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie lang und breit darf ein vorgefertigtes Element sein, so dass es im Raum montierbar ist?
- Besteht die Möglichkeit die einzelnen Bauteile in den gewünschten Raum zu transportieren und zu montieren, gegebenenfalls auch ohne Einsatz maschineller Hilfsmittel?
- Sind die erforderlichen Durchgangshöhen mit den gewählten Konstruktionen erreichbar?
- Wie verhalten sich Spannweite und Bauteilabmessungen zueinander?
- Lassen sich von vornherein bestimmte Konstruktionsprinzipien ausschließen oder eingrenzen?

Nicht nur beim Neueinbau einer Stahlkonstruktion, sondern vor allem auch bei der Verstärkung bestehender Bausubstanz sind die Abmessungen des Bestehenden zu beachten. Hierauf wird in Kapitel 4.6 eingegangen.

3.1.2 Zustand der bestehenden Bausubstanz

Die Beschaffenheit und der Zustand der bestehenden Bauteile wirken sich auf die Art der neu einzubauenden Konstruktion aus, da sie den Rahmen für die Ausführungsmöglichkeiten gegebenenfalls sehr einengen. Um den Zustand bestehender Bausubstanz bestimmen zu können, ist eine exakte maßliche, technische und statische Erfassung des Bestandes notwendig. Auch der Zustand verdeckter Konstruktionen muss, wenn auch mit kleinen Zerstörungen verbunden, erfasst werden [1]. Nach der Bestandsaufnahme werden wesentliche Randbedingungen erfasst, ausgewertet und gewichtet. Sie bilden die Grundlage für die Bewertung der bestehenden Bausubstanz und letztendlich für die Wahl der einzubauenden Stahlkonstruktion.

Aufbauend auf die Bestandsaufnahme sind folgende Fragestellungen zu betrachten:

- Wie sind die Querschnittsabmessungen wesentlicher Bestandteile des Tragwerks
- Wie sind die Querschnittsabmessungen bisher verborgener Tragwerkselemente?
- Wie ist der optische Zustand der bestehenden Bausubstanz?
- Wie stark ist die Substanz beschädigt?
- Wie stark sind Teile des bestehenden Tragwerks verformt?

Vor allem im Punkt der Beschaffenheit der Bausubstanz wird die Verknüpfung zwischen konstruktiven und statischen Randbedingungen deutlich, da sich die mechanischen Eigenschaften eines bestehenden Tragwerks unmittelbar aus seinem Zustand ergeben. Die Ableitung der statischen aus den konstruktiven Randbedingungen erfolgt in Kapitel 3.2.1.

Der Zustand der bestehenden Bausubstanz bildet aus noch einem weiteren Grund eine wichtige Randbedingung für die Entwicklung des Tragwerks der neuen Konstruktion. Ergeben sich aus den Randbedingungen Probleme bei der gewünschten Ausführung, so müssen alternative Konzepte entwickelt werden. Es müssen konstruktive Lösungen gefunden werden um die Realisierung des „Geforderten“ zu gewährleisten. So sind folgende Fragen zu stellen:

- Kann eine alternative Konstruktion bestimmte Konfliktpunkte ausschließen?
- Wie muss diese Konstruktion ausgeführt werden?
- Welche Anforderungen ergeben sich aus der neuen Konstruktionsvariante?

Des weiteren ist der Zustand der bestehenden Konstruktionen ausschlaggebend bei der Frage der Bauteilumwechslung oder -entfernung. Um beispielsweise ein altes Mehrfamilienhaus in ein Gebäude mit Eigentumswohnungen umzubauen, sind neue Raumaufteilungen nötig. Es treten Fragen wie z.B. „ist die Wand tragend oder nicht tragend“ auf. Hier ist ebenfalls die Bestandsanalyse die Grundlage für Entscheidungen und die

Ausführungen. Da hier aber die Auswirkungen auf die statischen Randbedingungen entscheidend sind, soll dieser Punkt im Kapitel 3.2.5 genauer betrachtet werden.

3.1.3 Anwendung der Stahlkonstruktion und Einfluss auf die Profilwahl

Die Anwendung der Stahlkonstruktion bildet vor allem für die Querschnittswahl eine Randbedingung. So müssen für die verschiedenen Fälle der Anwendung des Stahls und die verschiedenen Bauweisen die richtigen Profile gewählt werden. Beispielsweise erfordern Träger für eine Verbunddecke andere Eigenschaften als Profile für eine Stahlstütze.

Grundsätzlich kann zwischen folgenden Profilen unterschieden werden:

- Walzprofile (I-Profile, U-Profile, L-Profile, Kastenprofile...)
- kaltgeformte Hohlprofile
- Geschweißte Träger (z.B. für veränderliche Querschnittshöhen)
- Sonderformen wie z.B. Wabenträger, Profile mit Lochstegen
- kaltgeformte Leichtprofile (z.B. Z-Profile; Σ -Profile...)

Je nach gewünschter Konstruktion sind die Profile auszuwählen und einzusetzen. Bei der Wahl des Profils müssen folgende Fragen gestellt werden:

- Welche Anforderungen werden an die Konstruktion gestellt?
- Welche Lasten wirken und wie ist die hauptsächliche Beanspruchung?
- Mit welchen Profilen lässt sich die Konstruktion realisieren?
- Gibt es die Möglichkeit statische Randbedingungen mit konstruktiven Mitteln zu beeinflussen? (z.B. Stabilitätsprobleme)
- Wie lässt sich die Konstruktion realisieren?
- Steht diese mögliche Konstruktion im Kontext mit den nutztechnologischen Anforderungen und montagetechnischen Erfordernissen?

Abhängig von diesen Möglichkeiten ist die Konstruktion zu entwickeln.

Es ist zu erwähnen, dass neben den konstruktiven Randbedingungen auch wirtschaftliche und ästhetische Aspekte eine Rolle spielen. Für die Anwendung von Stahl beim Bauen im Bestand ist ein wichtiger konstruktiver Punkt noch einmal gesondert herauszustellen: das Gewicht der in den Bestand einzubauenden Konstruktion. Auch hier lassen sich Auswirkungen auf die Profilwahl herausstellen und in folgende Punkte zusammenfassen:

- Wie groß ist das maximal zulässige Gewicht der Stahlkonstruktion in Abhängigkeit vom Zustand der bestehenden Bausubstanz?
- Welche Profile müssen gewählt werden um gegebene Randbedingungen zu erfüllen?
- Welche Maßnahmen zur Gewichtsreduzierung können erfolgen?

3.1.4 Verbindungen und Verbindungsmittel

Die Möglichkeiten der Verbindungen im Stahlbau sind sehr vielfältig. Mit jeder Verbindungsart lassen sich bestimmte Eigenschaften eines Tragwerks erzielen. Um aber bestimmte statische Eigenschaften mit einer bestimmten Verbindungsart oder einem Verbindungsmittel zu erreichen, müssen konstruktive Randbedingungen eingehalten werden. Prinzipiell stehen folgende Verbindungsmittel zur Auswahl:

- Schraubverbindungen
- Schweißverbindungen
- Nietverbindungen
- Klebeverbindungen

Bei der Wahl der richtigen Verbindung müssen folgende konstruktive Fragen gestellt werden:

- Welche Verbindungsmittel eignen sich für das zu entwickelnde Tragwerk?
- Welche statischen Anforderungen werden an die Verbindung gestellt?
- Wie können diese mit konstruktiven Mitteln verwirklicht werden?
- Lassen sich die ausgewählten Verbindungsarten vor Ort ausführen, oder muss ein Großteil in der Werkstatt vorgefertigt werden?
- Gibt es bestehende Verbindungen in der alten Bausubstanz, denen die neuen angepasst werden können / müssen?
- besteht die Möglichkeit typisierte Anschlüsse zu verwenden?

3.2 Statische Randbedingungen

Zur Beurteilung eines Tragwerks müssen seine mechanischen Eigenschaften bekannt sein. Diese lassen sich in dynamische und statische Eigenschaften unterteilen. Unter Beachtung der in der Regel statischen Einwirkungen im Hoch- bzw. Wohnungsbau werden hier die dynamischen Eigenschaften der Tragwerke nicht bearbeitet. Es werden somit auch nur die statischen Randbedingungen in die Bearbeitung eingebunden. Diese lassen sich nicht konkret voneinander abgrenzen. Ebenso ist eine Abgrenzung zu den konstruktiven Randbedingungen nur schwer möglich, da die mechanische Betrachtung häufig auf Modelle und Idealisierungen zurückführt. Somit wird die Betrachtung der konstruktiven Verwirklichung statischer Randbedingungen und Erfordernisse notwendig.

3.2.1 Beschaffenheit der bestehenden Bausubstanz

Im Kapitel 3.1.2 sind die konstruktiven Randbedingungen die sich aus der Beschaffenheit des Bestandes ergeben bereits erläutert worden. Allerdings hat der Zustand der alten Bausubstanz auch wesentlichen Einfluss auf die Randbedingungen aus statischer Sicht.

Aufbauend auf die Bestandsanalyse und die Bewertung der Fragestellungen aus konstruktiver Sicht lassen sich statische Fragen beantworten. Im einzelnen handelt es sich hierbei um folgende Punkte:

- Ist das bestehende Tragwerk ausreichend tragfähig?
- Wie stark ist die bestehende Bausubstanz beschädigt und welche Schlüsse über die Tragfähigkeit der Tragwerkselemente lassen sich aus den Beschädigungen ziehen?
- Ist es möglich die neu entstehenden Lasten in das bestehende Tragwerk einzuleiten?
- Welche Maßnahmen zur Gewährleistung der Tragfähigkeit der Konstruktion sind notwendig? → Tragwerksertüchtigung
- Gibt es alternative Tragwerkskonzepte, um unzulässige Belastungen und auch Verformungen zu verhindern?
- Können diese unter dem Gesichtspunkt der Anforderungen an das Gesamtbauwerk realisiert werden?

Die Anforderungen an die statischen Eigenschaften des Tragwerkes einer bestehenden Konstruktion sind bei der Umnutzung von Gebäuden sehr häufig mit Änderungen in den Lastannahmen verbunden. Diese ergeben sich zum Einen aus der neuen Nutzung, zum Anderen aber auch auf Grund der Gültigkeit neuer Normen und Regelungen wie z.B. dem Teilsicherheitskonzept. Daraus ergibt sich oftmals, dass eine bestehende Tragkonstruktion unter den neuen Bedingungen nicht ausreichend tragfähig ist. Es zeigt sich, dass auch bei der Ertüchtigung von Tragwerken die Beschaffenheit des Bestandes und eventuell vorhandene Tragreserven eine wichtige Randbedingung für das weitere Vorgehen bilden. Auf die Ausführungsmöglichkeiten zur Ertüchtigung von Tragwerken wird im Kapitel 4.6 eingegangen.

3.2.2 statisches System und die Verwirklichung im Tragwerk

Die „Wahl“ des statischen Systems steht als weiterer Punkt bei der Planung eines Tragwerkes an. So sind die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme zu analysieren und auf die zu errichtende Konstruktion anzuwenden. Die Frage nach zulässigen Belastungen und Verformungen unter den Bedingungen bestimmter Belastungsarten und -formen ist hierbei zentral zu betrachten. Bei der „Entwicklung“ bzw. Auswahl des statischen Systems sind folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Einwirkungen wie z.B. Lasten, Temperatur haben Einfluss auf das Tragwerk?
- Welche statischen Systeme kommen für gegebene Einwirkungen in Frage?
- Wie können die einwirkenden Kräfte auf dem kürzesten Weg abgeleitet werden?
- Wie sind die vorherrschenden Lagerbedingungen?

- Welche statischen Systeme stehen zur Auswahl → wo liegen ihre Vor- und Nachteile
- Lassen sich durch statisch unbestimmte Systeme Materialeinsparungen erzielen?
- Lassen sich statisch unbestimmte Systeme realisieren?
- Kann mit dem gewählten statischen System das Tragwerk des Bestandes eventuell entlastet werden?

Diese Fragestellungen sind zu analysieren und zu bewerten. Um den Punkt der statisch unbestimmten Systeme noch einmal aufzugreifen, muss erwähnt werden, dass es schwierig ist in Stahlbauweise in ein bestehendes Gebäude statisch unbestimmte Systeme zu integrieren, da die herstellungstechnologischen Randbedingungen wie z.B. die Montagefreundlichkeit etc. häufig eine wichtigere Rolle spielen. Es entsteht eine Wechselwirkung zwischen den einzelnen Randbedingungen.

3.2.3 Lasteinleitung, -verteilung, -umlagerung, Lagerbedingungen

Auf die Fragestellung der Lagerbedingungen für konkrete Einwirkungen auf bestimmte Tragwerke soll in diesem Abschnitt eingegangen werden. Hierbei sind die Probleme der Lasteinleitung, -verteilung, und -umlagerung zu beachten. Im wesentlichen kann zwischen zwei verschiedenen Problemstellungen unterschieden werden.

Die Lasteinleitung in die Stahlbauteile

Hier sind folgende Punkte zu beachten:

- Welche Lasten wirken auf die Stahlkonstruktion und wie können diese in die Stahlkonstruktion eingeleitet werden? (Einzellasten, Linienlasten, Flächenlasten)
- Welche konstruktiven Maßnahmen müssen für eine sichere Einleitung erfolgen?
- Auf welchen „Wegen“ soll die Last verteilt und weitergeleitet werden?
- Wie soll die Lastabtragung erfolgen? → Tragstruktur

Die Lasteinleitung in das bestehende Bau- bzw. Tragwerk → Lagerbedingungen

Hier sind folgende Punkte zu beachten:

- Ist die Auflagerkonstruktion ausreichend tragfähig um die Lagerkräfte aus dem Stahltragwerk aufzunehmen?
- Kann die geplante Lagerbedingung konstruktiv ausgeführt werden?
- Wie lassen sich die Kräfte in die bestehende Konstruktion einleiten?
- Wie erfolgt die weitere Lastverteilung und ist sie zulässig?

Diese Fragen müssen analysiert werden und gegebenenfalls müssen Lösungen zur Realisierung bestimmter Randbedingungen gesucht werden. Prinzipiell ist zu sagen, dass es erstrebenswert ist, bestehende Konstruktionen nicht zusätzlich zu belasten. Ist die Tragfähigkeit der bestehenden Konstruktion nicht ausreichend, so können zum Einen Ertüchtigungsmaßnahmen erfolgen, zum Anderen muss man versuchen auf Tragwerke auszuweichen, welche ihre Lasten möglichst unabhängig vom Bestand ableiten können.

3.2.4 Aussteifungen und Verankerungen

Bei der Konstruktion von Stahltragwerken ist es notwendig Aussteifungen zu realisieren. Dies kann zum Einen über zusätzliche Aussteifungselemente geschehen, zum Anderen über die Verwendung der vorhandenen Bausubstanz. Um eine Aussteifung der Stahlkonstruktion mit Hilfe der vorhandenen Bausubstanz realisieren zu können, müssen aber zum Teil erhebliche Maßnahmen erfolgen, um die Stahlkonstruktion so kraftschlüssig mit dem Bestand zu verbinden, dass eine aussteifende Wirkung genutzt werden kann. Prinzipiell kann zwischen horizontaler, vertikaler und räumlicher Aussteifung unterschieden werden. Hierbei stehen jeweils verschiedene Ausführungsvarianten zur Auswahl. Es kann unterschieden werden zwischen:

- Einzelstäbe
- flächige Ausbildung als Scheibe
- Ausbildung steifer Verbindungen im Tragwerk

Eine weitere Möglichkeit zur Stabilisierung eines Tragwerks besteht in der Verankerung in der bestehenden Bausubstanz. Hierbei müssen die Anforderungen an diese aber unter dem Einfluss der einzelnen Randbedingungen betrachtet werden. Prinzipiell müssen bei der Planung des Aussteifungssystems folgende Fragen beantwortet werden:

- In welchem Maße sind Aussteifungen des gewählten Systems notwendig?
- In welchen Ebenen und Richtungen muss das System ausgesteift werden?
- Wie lassen sich die erforderlichen Aussteifungen realisieren?
- Werden Aussteifungen im Montagezustand des Tragwerks benötigt?
- Besteht die Möglichkeit Aussteifungen über die bestehende Bausubstanz zu realisieren?
- Welche Erfordernisse bestehen dabei für den Bestand?
- Welche Einflüsse auf die Gesamtsteifigkeit haben die verschiedenen Aussteifungsvarianten?

3.2.5 Steifigkeit des neuen und des bestehenden Tragwerks

Die Untersuchung der Steifigkeit des Systems muss aus zwei Sichtweisen erfolgen:

1. Betrachtung des neuen Tragwerks
2. Auswirkungen von Änderungen auf das bestehende Tragwerk

„Die Steifigkeit eines Tragwerks oder Tragwerkselements ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit gegen elastische Verformungen infolge konkreter Einwirkungen“ [11].

Es lassen sich folgende Steifigkeiten definieren:

- Dehnsteifigkeit, Biegesteifigkeit, Schubsteifigkeit, Torsionssteifigkeit.

Die Steifigkeit vereinigt die Einflüsse der Querschnittsgeometrie (Kapitel 3.1.3) und die Materialeigenschaften des verwendeten Tragwerkelementes. Dies wird auch noch einmal in Abbildung 3.2 verdeutlicht.

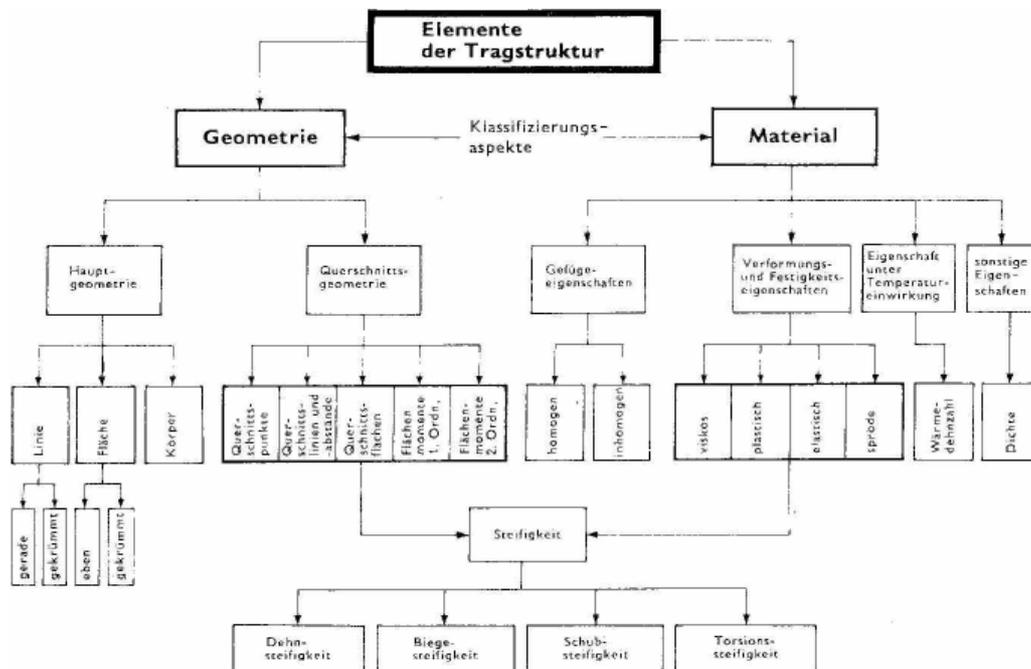


Abbildung 3.2: Einflüsse auf die Steifigkeit; aus [3]

Die Betrachtung der Steifigkeit des Tragwerks ist die Grundlage für die Ermittlung auftretender Spannungen und Verformungen. Darauf basierend können Aussagen über die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit des neuen und des bestehenden Tragwerks getroffen werden. Änderungen an bestehenden Tragwerken, wie z.B. Ertüchtigungsmaßnahmen wirken sich auf die Steifigkeit des Systems aus. Auch die Ausführung von Verbindungen und die Ausbildung der Auflager haben Einfluss auf die Steifigkeit des Gesamttragwerks. Diese Punkte wirken sich auf die Berechnungsannahmen

für ein statisches System, die Ermittlung der Schnittgrößen und die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit aus. Somit kann die Betrachtung der Steifigkeitsbedingungen Einflüsse auf die Tragwerkswahl und die Ausführungsvariante haben. Zur Beurteilung müssen folgende Fragen gestellt werden:

- Wie ist die Steifigkeit des Systems zu bewerten?
- Wie sind die Beanspruchungen des Tragwerks und welche Anforderungen an die Steifigkeit ergeben sich daraus?
- Welchen Einfluss haben Verbindungselemente auf die Systemsteifigkeit?
- Welche Ausführungsmöglichkeiten gibt es?
- Welche Anforderungen an die bestehende Bausubstanz ergeben sich aus der Ausbildung gezielter Steifigkeiten? z.B. einspannendes Auflager
- Welche Einflüsse auf die Steifigkeit hat der Austausch von Tragelementen und welche Folgen sind zu erwarten?
- Welche Änderungen in der Tragwerksidealisierung ergeben sich daraus?

3.2.6 Die Art der aufzunehmenden Einwirkungen

Zur Beschreibung des Einflusses der aufzunehmenden Einwirkungen soll folgende Übersicht herangezogen werden.

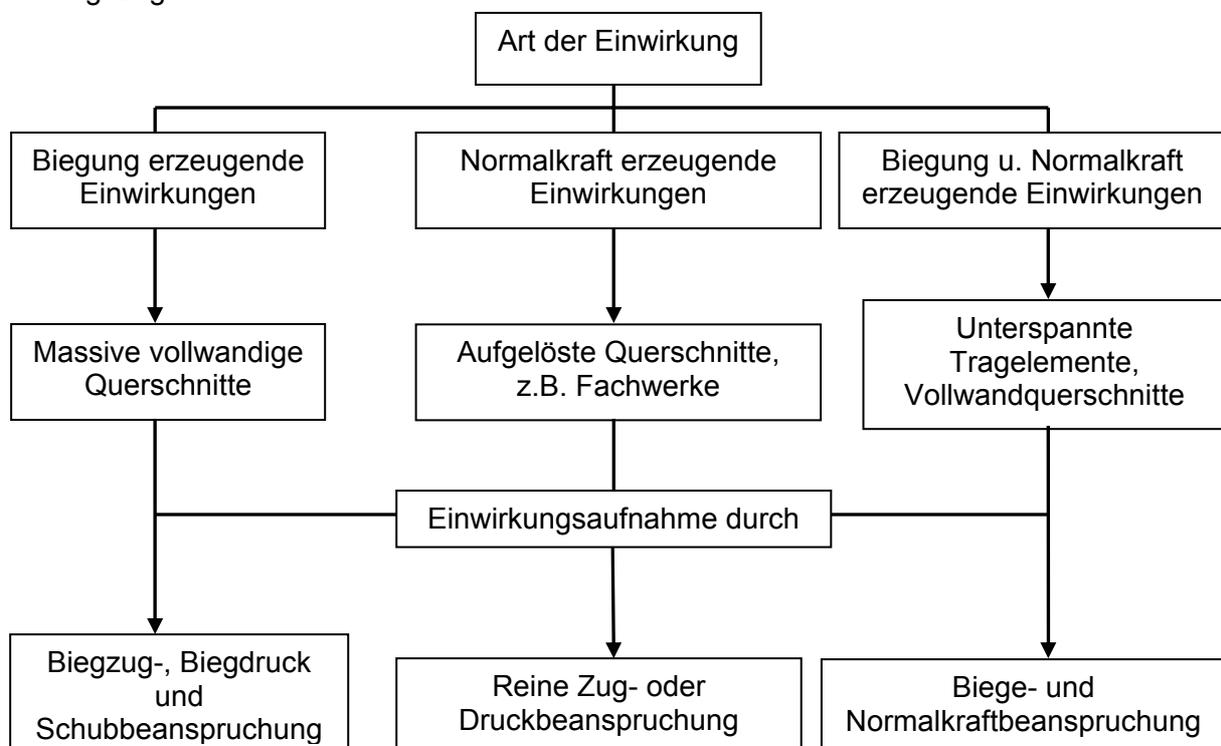


Abbildung 3.3: Einfluss der Einwirkung auf die Tragelementwahl; abgeleitet aus [13]

Neben den oben angegebenen Einwirkungen sind Torsionseinwirkungen eine weitere Art. Hier sind torsionssteife Profile, vor allem mit geschlossenem Querschnitt, zu bevorzugen. Es zeigt sich, dass die aufzunehmenden Einwirkung und die Art der Verwendung des Tragwerks eng miteinander verknüpft sind. Wie bereits in Kapitel 3.1.3 beschrieben, hat die Art der Verwendung des Tragwerks großen Einfluss auf dessen Gestaltung. Die Art der Verwendung beschreibt die konstruktive Umsetzung der Anforderungen, die aus der aufzunehmenden Einwirkungen entstehen. Über die Wechselwirkung der statischen und konstruktiven Randbedingungen ergeben sich nun ähnliche zu beantwortende Fragen bei der Entwicklung des Tragwerks:

- Welche Einwirkungen ergeben sich für das Tragwerk?
- Welche Beanspruchungen für die Tragelemente ergeben sich daraus?
- Welche Elementabmessungen ergeben sich aus der Beanspruchung?

3.3 Bauphysikalische Randbedingungen

Die Randbedingungen die sich aus der Bauphysik ergeben, lassen sich in die Bereiche Wärmeschutz, Feuchteschutz Schallschutz und Brandschutz einteilen. Die Betrachtungen sollen sich vor allem auf den Mindestwärmeschutz und den Schallschutz beziehen. Der Feuchteschutz soll hier nur am Rande erwähnt werden. Ergeben sich allerdings aus den Aufgaben an die Stahlkonstruktion besondere Anforderungen an den Feuchteschutz, ist die DIN 18195 zu Rate zu ziehen. Vor allem im Stahlbau ist der Brandschutz ein wichtiger Aspekt, da Stahlkonstruktionen ohne bauliche Brandschutzmaßnahmen eine nur sehr geringe Feuerwiderstandsfähigkeit besitzen.

3.3.1 Brandschutz

Wie bereits erwähnt, ist der Brandschutz ein wichtiger Bestandteil der Planung von Stahltragwerken. Für einzeln stehende Wohngebäude gelten keine besonderen Brandschutzanforderungen, jedoch gelten für Wohngebäude im allgemeinen Anforderungen, die eine Feuerwiderstandsklasse von mindestens F 30 bis F 90 voraussetzen [6]. Bei der Revitalisierung von Wohnbauten sind auch die bestehenden Brandschutzanforderungen zu beachten. Um die richtigen Brandschutzmaßnahmen für die gewählte Stahlkonstruktion auszuwählen, müssen folgende Fragen bearbeitet werden.

- Welche Brandschutzanforderungen sind für den Bestand gültig?
- Ergeben sich aus der Umnutzung neue und somit schärfere Brandschutzanforderungen?
- Wie können die Brandschutzanforderungen erfüllt werden?
- Müssen eventuell neue Brandschutzkonzepte zur Einhaltung der Anforderungen erarbeitet werden?

3.3.2 Wärmeschutz und Tauwasseranfall

Im Wohnungsbau mit Stahl ist wie bei jeder anderen Bauweise darauf zu achten, dass die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Gebäude mit normalen Innentemperaturen eingehalten werden. Die Einhaltung der Mindestanforderungen an den Wärmeschutz nach DIN 4108-2 **[N1]** bildet die Grundlage hierfür. Bei der Integration von Stahlbauwerken in bestehende Gebäude müssen die Probleme des Wärmeschutzes differenziert und vereinzelt betrachtet werden. Auf Grund ihrer sehr großen Wärmeleitfähigkeit sind Stahlbauteile stets Wärmebrücken. Dieser Aspekt ist vor allem bei der Konstruktion von Durchdringungen zu unbeheizten Räumen oder nach außen sowie beim Einsatz von Stahl im Dachbereich zu beachten. Um einen entsprechenden Wärmeschutz zu gewährleisten und die Bildung von Tauwasser und Schimmelpilz zu vermeiden, müssen konstruktive Randbedingungen eingehalten werden. Der Einfluss der Mindestanforderungen an den Wärmeschutz auf die Wahl einer Konstruktionsvariante wird in Kapitel 4.2.9 herausgestellt. Prinzipiell sind aber folgende Fragen zum Thema Mindestwärmeschutz zu stellen:

- Wie können die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz eingehalten werden?
- Welche konstruktiven Anforderungen bzw. Einschränkungen ergeben sich daraus?
- Welche Einschränkungen für das Gesamttragwerk sind zu erwarten?

3.3.3 Schallschutz

Gerade im Wohnungsbau ist der Schallschutz eine wichtige Randbedingung im Rahmen der Tragwerksplanung und -entwicklung. Es ist zwischen dem Schutz vor Außenschall und dem Schutz vor Innenschall zu unterscheiden. Die Mindestanforderungen an den Schallschutz sind in DIN 4109 **[N5]** geregelt. Außenbauteile wie z.B. Wände aus Mauerwerk, aber auch Wände aus Stahlleichtprofilen müssen die Anforderungen vor allem gegen Luftschall erfüllen. Innenbauteile wie zum Beispiel Decken müssen vor allem einen Trittschallschutz aufweisen. In diesem Bereich lassen sich durch die richtige Planung bereits viele Schall-

schutzanforderungen erfüllen. Bei der Entwicklung von Tragwerken aus Stahl sind folgende Fragen aus Sicht des Schallschutzes zu stellen:

- Welche Schallschutzanforderungen ergeben sich aus der Nutzung des Gebäudes?
- Wo entstehen Schallübertragende Knotenpunkte und wie können diese schallschutztechnisch ausgebildet werden?
- Welche Trittschallschutzmaßnahmen sind erforderlich?
- Wie kann der Luftschallschutz mit leichten Stahlkonstruktionen realisiert werden?

3.4 Zusätzliche Randbedingungen und Einflüsse

Neben den statischen, konstruktiven und bauphysikalischen sind noch weitere Randbedingungen zu beachten und in die Betrachtung einzuarbeiten. Diese ergeben sich aus den Bereichen

- Herstellungstechnologie
- Wirtschaftlichkeit
- Ästhetik/ Nutzertechnologie
- Rechtliche Belange
- Ökologie

In den vorhergehenden Kapiteln wurde schon vereinzelt auf den Einfluss der Herstellungstechnologie eingegangen. Die Stahlbauweise ist eine Montagebauweise. Oftmals werden einfache Systeme verwendet um komplexe Tragwerke zu entwickeln. Aus diesem Grund ist bei der Betrachtung der statischen und vor allem der konstruktiven Randbedingungen immer die Wechselwirkung zur Herstellungstechnologie zu suchen. Vor allem beim Bauen im Bestand werden besondere Anforderungen an Bauelemente deutlich. Sie müssen leicht montierbar und oftmals ohne technische Hilfsmittel transportierbar sein. Die Integration neuer Bausubstanz in bestehende Gebäude erfordert neben der Betrachtung des „Neuen“ auch eine kritische Auseinandersetzung mit alter Bausubstanz. Auf Grund der vielfältigen Randbedingungen beim Bauen im Bestand sind die Kosten in diesem Bereich höher als bei der Errichtung eines neuen Bauwerks. Somit muss versucht werden, unter Einhaltung aller statisch-konstruktiven Einflüsse, die wirtschaftlichste Lösung zu finden. Auch unter dem Einfluss des stark gestiegenen Stahlpreises ist dieser Gesichtspunkt nicht unwichtig.

Die Revitalisierung von Bauwerken mit dem Baustoff Stahl wird oftmals aus einem ganz bestimmten Grund anderen Varianten vorgezogen. Stahl vermittelt aus der Sicht vieler Bauherren das Gefühl einer „modernen“ Konstruktion. Dieser Fakt wird genutzt, um ein architektonisches Wechselspiel zwischen „Altem“ und „Neuem“ in einem Bauwerk zu

erreichen. Aus diesem Grund sind schon bei der Tragwerksplanung für solche Objekte die ästhetischen Punkte zu beachten und einzuarbeiten. Die Wirkung auf bestimmte Randbedingungen lässt sich somit deutlich erkennen.

Über all diesen Fragen steht aber ein Gesichtspunkt, der einen wesentlichen Einfluss auf zu entwickelnde Objekte hat: die rechtliche Grundlage. Beim Bauen im Bestand bzw. bei der Revitalisierung von Bauwerken sind vor allem Fragen des Bestandsschutzes und des Denkmalschutzes zu klären. Aber auch andere baurechtliche Grundlagen, wie die Baugenehmigung zur Umnutzung, müssen beachtet und erörtert werden.

Als letzter, aber nicht unwichtigster Punkt sei der Punkt der Ökologie genannt. Die Umnutzung eines Bauwerks z.B. zur Wohnnutzung muss nicht die letzte Umnutzung im Leben eines Bauwerkes sein. So sind am Rande auch Fragen der Umweltfreundlichkeit und Recyclingfähigkeit zu klären. Stahlkonstruktionen können ohne großen Energieaufwand zurückgebaut werden und zu annähernd 100 Prozent recycelt und wieder verwendet werden. Dies stellt einen klaren Vorteil des Stahls gegenüber anderen Baustoffen dar.

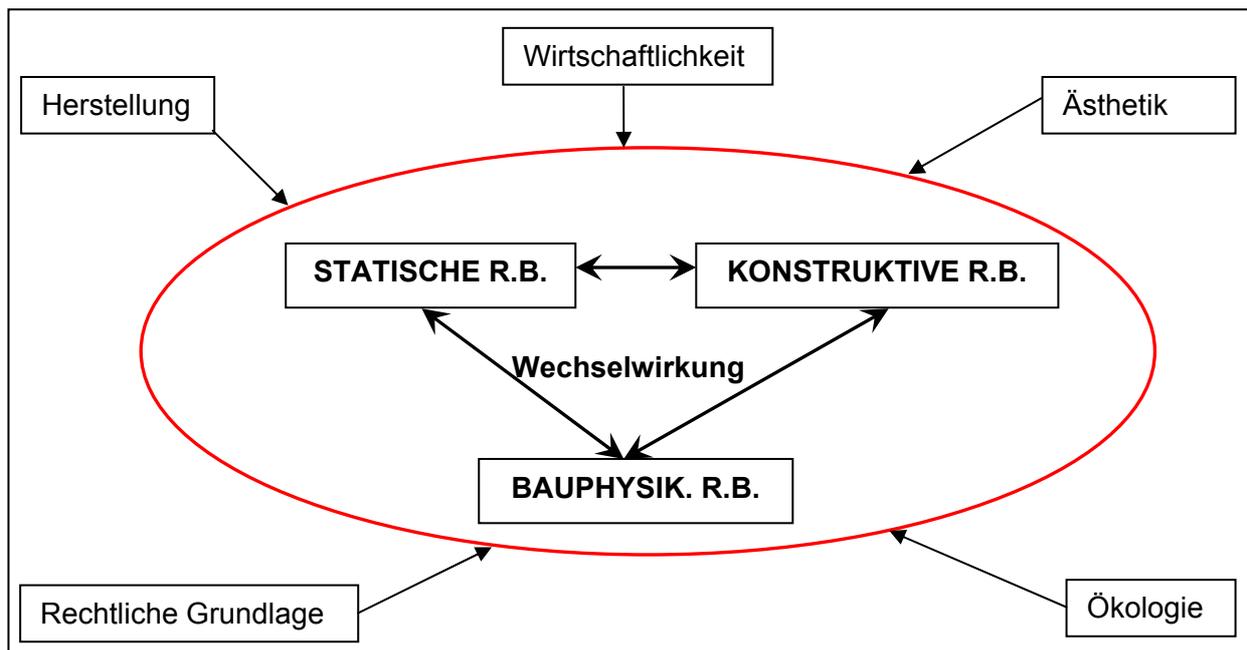


Abbildung 3.4: Randbedingungen und Einflüsse bei der Konstruktionsauswahl

4. Die Konstruktionen

In diesem Abschnitt werden die erarbeiteten Randbedingungen den jeweiligen Konstruktionen zugeordnet. Die Erarbeitung der einzelnen Details und statischen Annahmen erfolgt auf Grundlage der Fragestellungen in den einzelnen Randbedingungen. Die Bearbeitung wird auf die Anwendungen des Hochbaus und gegebenenfalls auf die des Wohnungsbaus eingeschränkt. Auf die Bearbeitung von Großtragwerken wie z.B. Bogen oder Seilkonstruktionen wird deshalb bewusst verzichtet. Einleitend soll eine Einteilung der Konstruktionen nach ihrer Nutzung bzw. Anwendung erfolgen. So wird folgende Gliederung vorgenommen:

- Träger
- Decken und Galerien
- Stützen
- Wandkonstruktionen
- Aussteifungssysteme und Verankerungen
- Ertüchtigung von bestehenden Tragwerken

Die Ertüchtigung bestehender Tragwerke soll behandelt werden, da sie oftmals Grundlage für die Weiterverwendung bestehender Bausubstanz im Rahmen der Umnutzung eines Gebäudes ist. Bei der Bearbeitung der einzelnen Punkte zu den Konstruktionen werden die Anforderungen an die bestehende Substanz herausgestellt und der Einfluss der Randbedingungen deutlich gemacht.

Tragwerke aus Stahl lassen sich nach [21; S. 122 ff] durch vier verschiedene Bauweisen entwickeln. Mit Bauweise wird hierbei die „Art und Weise bezeichnet, in der einzelne Werkstoffe geformt und miteinander zu Bauteilen verbunden werden“. [21; S. 122]. Es wird in Differentialbauweise, Integralbauweise, Integrierende Bauweise und Verbundbauweise unterschieden. Diese Einteilung erlaubt eine schnelle Einschätzung und Bewertung der statisch-konstruktiven Eigenschaften eines Bauteils.

Die Differentialbauweise ist gekennzeichnet durch die punktförmige Verbindung von einfachen Elementen zu einem Bauteil oder einem ganzen Tragwerk. Typische Verbindungsmittel sind **Schrauben**, Bolzen und Nieten. Die Differentialbauweise ist für das Bauen im Bestand vorzugsweise zu verwenden, da sie ein einfaches Fügen von Elementen ermöglicht. Es ist zu beachten, dass durch die punktförmigen Verbindungen Spannungskonzentrationen in den Verbindungsbereichen entstehen. Diese können starke Spitzenwerte aufweisen. Vergleiche hierzu [21; S. 123, Abb. 4.10, 4.11]

Die Integralbauweise wird im Stahlbau zur Herstellung von z.B. Sonderformen verwendet. Hierbei ist zu beachten, dass sich der Begriff nicht auf das Fügen von Bauteilen oder Tragwerken bezieht, sondern auf die Herstellung von einzelnen Elementen wie z.B. Sonderkantteile im Stahlleichtbau oder komplizierte Verbindungselemente. Typische Integralbauweisen sind das Gießen, das **Walzen** oder auch das Schmieden.

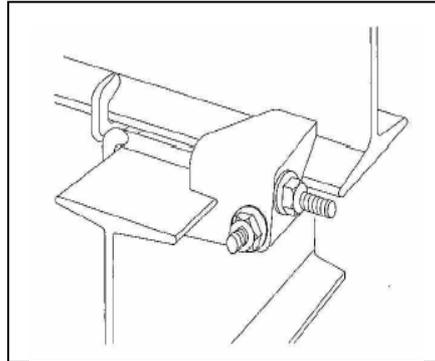


Abbildung 4.1: Bauteil in Integralbauweise; aus [21]

Die integrierende Bauweise ist dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Bauelemente aus dem gleichen Material zu einem „quasi homogenen“ Bauteil zusammengefügt werden. Es werden die Vorteile der beiden zuvor genannten Bauweisen verbunden. Die einfache Herstellung komplexer Bauteile aus einzelnen Elementen (Differentialbauweise) wird kombiniert mit einem nahezu homogenen Kraftfluss innerhalb des Bauteils (Integralbauweise). Die typischste Fügetechnik ist hier das **Schweißen**. Allerdings gewinnt auch das Kleben von Bauteilen im Stahlbau immer mehr an Bedeutung.

Die Verbundbauweise ist durch die Kombination mehrerer Werkstoffe gekennzeichnet. Hierbei werden die positiven Eigenschaften des jeweiligen Werkstoffs genutzt und durch Kombination mit anderen Werkstoffen erweitert. Die für den Stahlbau typischen Verbundbauweisen sind der Stahl-Beton-Verbund und der Stahl-Stahlbeton-Verbund.

Durch die Kombination der Bauweisen und die Beachtung der Randbedingungen die ein bestehendes Gebäude an ein neues Stahltragwerk stellt, lässt sich nahezu jedes Tragwerk mit den gewünschten Eigenschaften in die bestehende Bausubstanz integrieren.

Unabhängig von der Bauweise und den verwendeten Elementen muss beim Bauen mit Stahl der **Korrosionsschutz** immer betrachtet werden. Durch das Einhalten festgelegter Regeln und Konstruktionsdetails kann ein optimaler Korrosionsschutz gewährleistet werden. So bleibt die Qualität und Funktionalität der Stahlkonstruktion erhalten.

4.1 Träger

Unterzüge, Deckenträger, Pfetten und auch Sparren sind linienförmige Bauteile, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie ihre Lasten einachsig abtragen. Die Bauteile sind hauptsächlich biegebeansprucht. Aus diesem Grund können sie als Träger zusammengefasst werden. Aber auch Druck- und Zugbeanspruchungen können, vor allem bei der Verwendung als Sparren, auftreten. Bei der Revitalisierung von Bauwerken wird sehr häufig auf linienförmige Bauteile zurückgegriffen, da sich diese mit einem geringen maschinellen Einsatz montieren lassen. Unterzüge kommen sowohl beim Neueinbau von Tragwerken als auch bei der Verstärkung bestehender Konstruktionen zum Einsatz. Die Auflager für Unterzüge, Deckenträger, Pfetten und Sparren bilden in der Regel Wände oder wieder Unterzüge, aber auch Einzelstützen. Der Einfluss der einzelnen Randbedingungen auf die Ausführungsmöglichkeiten wird in den nächsten Abschnitten deutlich.

4.1.1 Tragstruktur und statische Systeme

Zur Einteilung und Bewertung von Tragwerken werden diese zu statischen Systemen idealisiert. Träger aus gewalzten Vollwandprofilen oder Leichtprofilen tragen ihre Lasten nach dem Prinzip des Biegebalkens bzw. Biegeträgers ab. Die typischen statischen Systeme sind Einfeldträger, Mehrfeldträger und eingespannte Träger. Die Hauptbelastung der Bauteile ist senkrecht zur Stabachse. Sie kann gleichmäßig verteilt, aber auch punktweise eingetragen werden. Bei größeren Tragwerksabmessungen, z.B. bei der Umnutzung einer alten Industriehalle zu einem Wohnbau, werden gegebenenfalls auch unterspannte Biegeträger oder Fachwerkträger realisiert. Bei Fachwerkträgern erfolgt die Lasteinleitung in der Regel nur in die Knoten. Durch die Wahl des statischen System, können vor allem bei Biegeträgern, Querschnittshöhen und Spannweiten beeinflusst werden. Dies begründet sich aus der unterschiedlichen Beanspruchung der Querschnitte in Abhängigkeit vom statischen System. Durch die Änderung eines Systems von statisch bestimmt zu statisch unbestimmt können die auftretenden Maximalmomente um bis zu 50 % reduziert werden [21; S. 195]. Als typisches Beispiel soll hier der Vergleich Einfeldträger, Mehrfeldträger angeführt werden (Abbildung 4.2). Beim Zweifeldträger sind die Schnittgrößen und die Beanspruchungen im Querschnitt geringer als beim Einfeldträger. Allerdings müssen an die Auflager eines Zweifeldträgers höhere Anforderungen gestellt werden, da diese in einem statisch unbestimmten System höher sind als in einem vergleichbaren statisch bestimmten System. Es ist also in Abhängigkeit von den einzelnen Randbedingungen des bestehenden

Gebäudes zu entscheiden, welche Varianten sich mit einem wirtschaftlich und herstellungstechnologisch vertretbaren Aufwand realisieren lassen.

Bei der Umnutzung einer alten Wäscherei in Wittenberg [8] wurde beispielsweise das System der Deckenträger vom Durchlaufträger zum Einfeldträger geändert. Die Deckträger waren zwar tragfähig, aber die Unterzüge auf denen sie auflagen, konnten auf Grund der neuen Nutzung und den damit verbundenen Änderung in den Lastannahmen keine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen. Durch die Änderung des statischen Systems der Deckenträger konnten die Auflagerkräfte auf die Unterzüge verringert und somit der Tragfähigkeitsnachweis erfüllt werden. [8; S. 29]

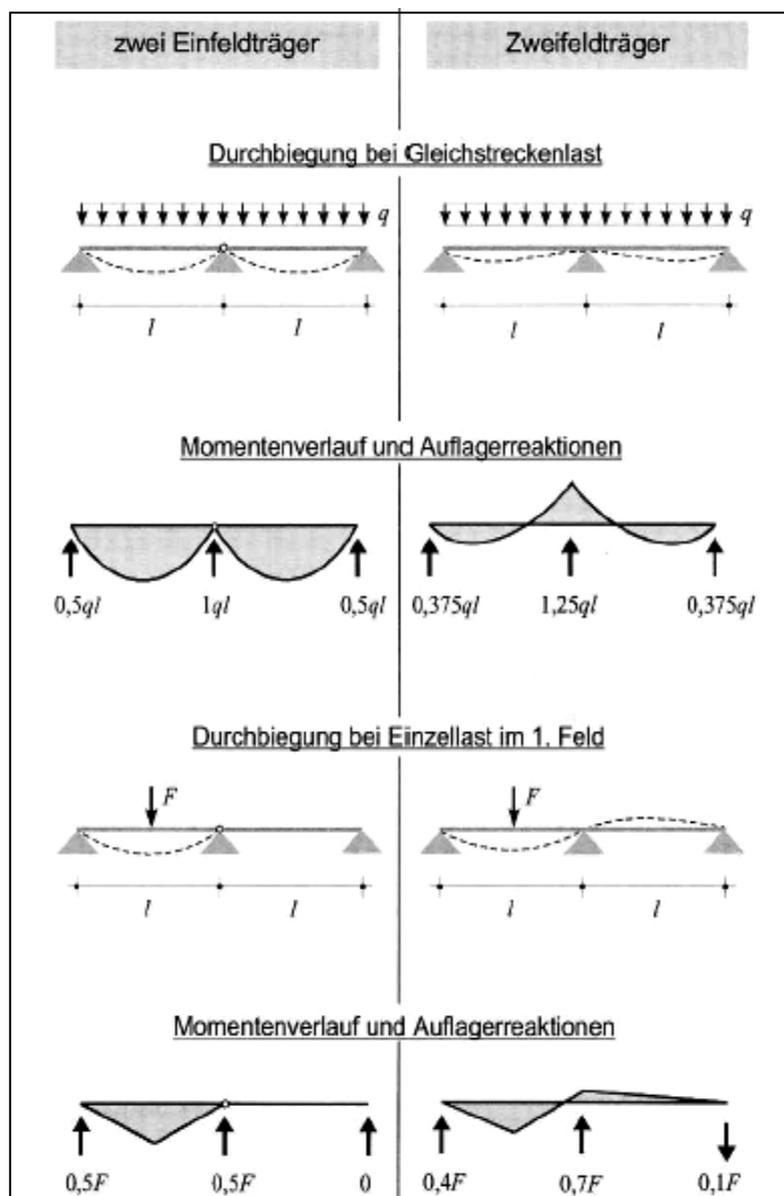


Abbildung 4.2: Vergleich Ein- und Zweifeldträger; aus [2]

Abbildung 4.3 zeigt, wie sich der Einbau neuer Tragelemente auch auf das statische System bestehender Konstruktionen auswirken kann. So entstehen bei Durchlaufträgern Stützmente über den Innenstützen. Wird beispielsweise ein Unterzug unter eine bestehende, nicht mehr selbstständig tragfähige Stahlbetondecke zur Verstärkung eingebaut, so bildet dieser ein zusätzliches Auflager. Die Stahlbetondeckenplatte wird nun an der Stelle wo der Unterzug das Auflager bildet ein negatives Moment erfahren. So ist zu prüfen, ob diese Änderung im statischen System unter Beachtung der Bewehrungsführung zulässig ist.

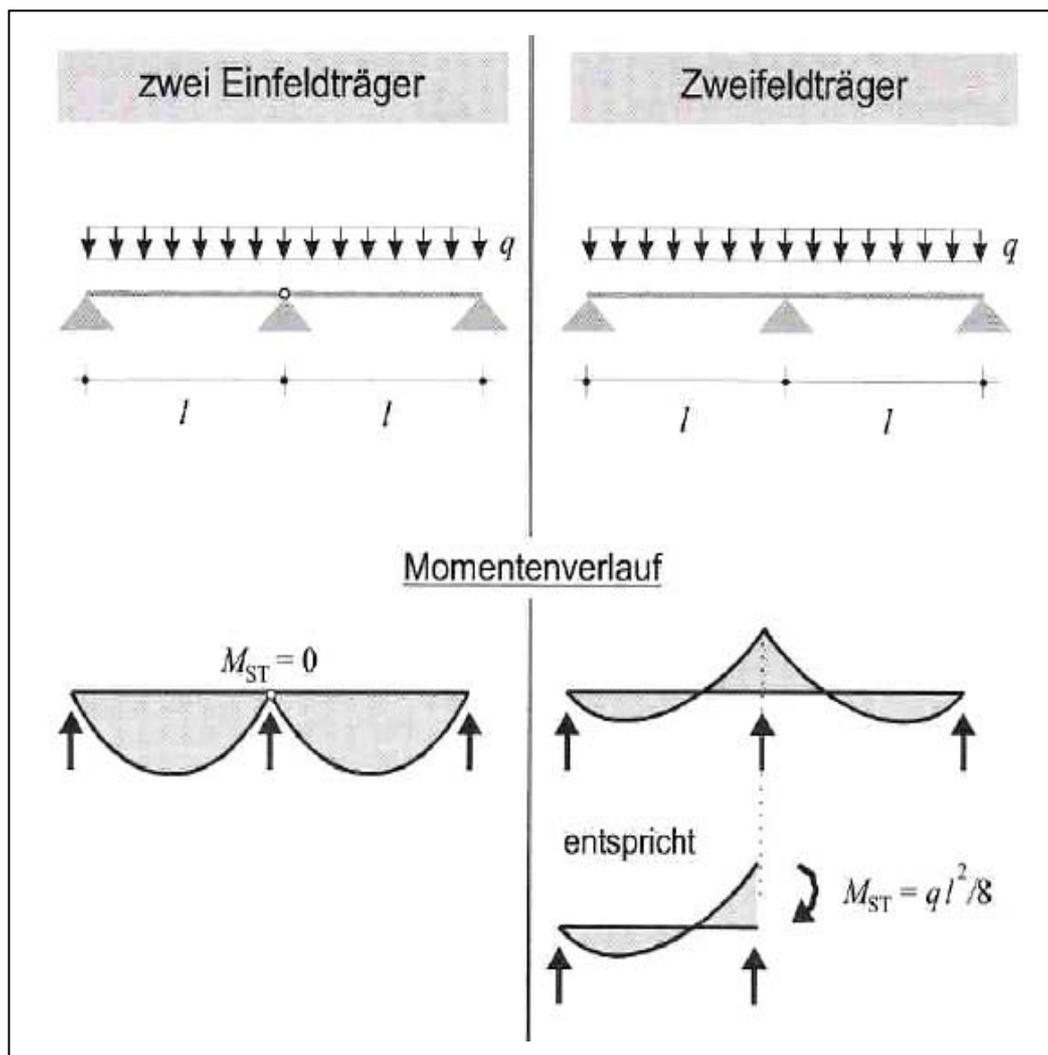


Abbildung 4.3: Einfluss der Durchlaufwirkung; aus [23]

Bei der Tragwerksplanung bzw. bei der Wahl des statischen Systems ist vor allem bei Stahlkonstruktionen darauf zu achten, dass Torsionsbeanspruchungen und Lastangriffe außerhalb der Stabachse vermieden werden, da diese bei Trägern nur mit einem hohen konstruktiven Aufwand in die Auflager abzuleiten sind.

4.1.2 Profilwahl

Bei der Auswahl der Profile ist zu entscheiden, ob man Walzprofile oder kaltgeformte Bauteile anwendet. Die Umnutzung von Gebäuden und der Einbau von neuen Tragwerken in bestehende Bausubstanz ist oftmals mit der Frage nach dem Gewicht der Konstruktion verbunden. Die Anwendung von Leichtprofilen findet vor allem im Wohnungsbau immer mehr Anwendung. Allerdings ist zu unterscheiden, in welcher Form ein einzubauendes Bauteil zu verwenden ist. So sind für Unterzüge, welche meist Bestandteil des Haupttragwerks sind, Walzprofile typisch. Mit Walzprofilen lassen sich, bei gleicher Querschnittshöhe, bis zu zehn mal höhere Tragfähigkeiten erreichen als mit Leichtprofilen. Ein Vergleich der Widerstandsmomente um die y-Achse erfolgt in Tabelle 4.1.

Profilart	Walzprofil nach DIN 1025		Kaltgeformte Profile (Profilform-Höhe-Blechdicke)		
Profil	IPE 200	HEA-200	C 200x2,0	I 200x1,5	Σ 200x2,0
W _y [cm ³]	194	389	30,37	38,82	42,08

Tabelle 4.1: Vergleich der Widerstandsmomente W_y

Als Quellen wurden [19] und [Z2] verwendet.

Bei der Profilwahl für Unterzüge sind neben den gewünschten Spannweiten und erforderlichen Trägerhöhen auch Einflüsse der Lagerung und Aussteifung des Tragwerks zu betrachten. Das Biegedrillknicken und die Torsionssteifigkeit der Profile sind hier zu erwähnen. In der Regel werden I-Profile bei Unterzügen angewandt. Es ist zu beachten, dass schmale Profile wie I-Profile nach DIN 1025-1 und IPE-Profile nach DIN 1025-5 vor allem in Tragwerken Anwendung finden, wo ein seitliches Ausweichen des Druckgurtes unter Biegebeanspruchung konstruktiv, z.B. durch die Decke, verhindert werden kann. Breitflanschprofile wie HEA Profile nach DIN 1025-3 oder HEB Profile nach DIN 1025-2 finden in Tragwerken ohne solche Halterungen bevorzugt Anwendung.

Für die Anwendung als Pfetten, Unterzüge und Deckenträger sind warmgewalzte Profile ebenfalls, unter Ansatz der gleichen Fragestellungen, einsetzbar. Neben I-Trägern kommen U-Profile nach DIN 1026 sowie Z-Profile nach DIN 1027 zum Einsatz. Hohlprofile, sowohl warm- als auch kaltgefertigt, und Winkelstähle werden in der Anwendung als „Träger“ im Hochbau selten realisiert.

Auf Grund ihrer hohen Tragfähigkeit bei geringem Gewicht werden Leichtprofile beim Bauen im Bestand und der Integration neuer Stahltragwerke unter Beachtung der anfangs

erwähnten Einschränkungen bevorzugt verwendet. Eine Übersicht über die Verwendung der einzelnen Querschnitte gibt Abbildung 4.4.

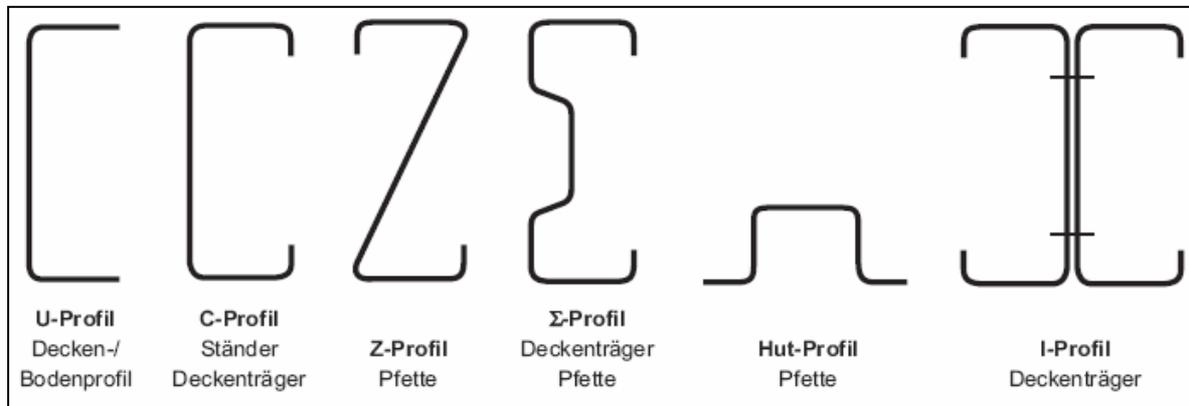


Abbildung 4.4: Leichtprofile und ihre Anwendungsmöglichkeiten; aus [Z2]

Bei der Anwendung dieser Profile wird vor allem durch die Abstufung der Blechdicken eine optimale Ausnutzung und somit ein hoher Wirtschaftlichkeitsgrad erreicht. Auf Grund des geringen Eigengewichts der Konstruktion werden Träger in Leichtbauweise beim Bauen im Bestand vor allem bei Dachtragwerken eingesetzt (Abbildung 4.5). Die Kräfte aus dem Eigengewicht, die in die darunter liegenden Bauteile weitergeleitet werden, sind um einiges geringer als bei der Anwendung von Holz oder warmgewalzten Stahlprofilen. Vor allem unter dem Einfluss der Randbedingungen die sich aus dem Zustand des bestehenden Gebäudes ergeben, ist der Aspekt der Leichtigkeit der Konstruktionen herauszustellen. Beispiele wie die Aufstockung eines Fachwerkhauses in Dinslaken belegen dies (Abbildung 4.5 b).

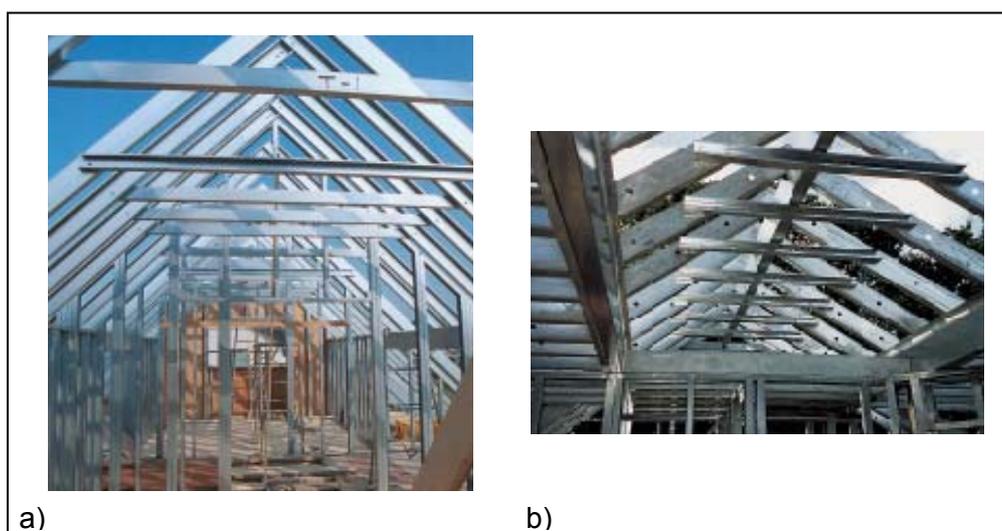


Abbildung 4.5: Anwendung von Leichtprofilen als Dachtragwerk; aus [Z1, Z5]

Aus ästhetischen Gründen, aber auch aus Gründen der Gewichtsersparnis werden auch Sonderformen von Walzprofilen angewendet. Hier sind Waben- und Lochträger zu erwähnen. Allerdings sind diese Profile unter Beachtung der Querkraftbeanspruchung immer kritisch zu beurteilen, da sich die Querkrafttragfähigkeit bei Aussparungen im Stegbereich wesentlich verändert [21; S. 195]. Als weitere Sonderform von Stahlprofilen, welche vor allem ästhetische Belange erfüllen, soll hier das DAVEX-Profil erwähnt werden. Dieser sehr filigran erscheinende Träger, beispielsweise mit einem gelochten Steg, erfüllt höchste Ansprüche an die Ästhetik von Stahlkonstruktionen [Z1; S. A10; I5].



Abbildung 4.6: Sonderprofile für Stahlträger; aus [15]

Die Anwendung von geschweißten Trägern soll hier nur erwähnt werden, da der Trägerbau im Wohnungsbau mit Stahl nicht typisch ist. Die Spannweiten bewegen sich sehr häufig in einem für diese Bausweise unwirtschaftlichen Bereich oder werden mit Fachwerken realisiert. Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, werden Fachwerke nur in Sonderfällen oder bei besonders großen Bauwerken angewendet.

Auf die Bearbeitung der Möglichkeiten des Einsatzes von Fachwerken soll hier verzichtet werden, da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

4.1.3 Auflager und Lasteinleitung

Wie in Kapitel 3.2.3 angesprochen, ist beim Bauen mit Stahl die Lasteinleitung in das Stahlbauteil sowie die Lasteinleitung in massive Bauteile zu betrachten. Die Auflager für einen Stahlträger können erneut Stahlträger oder auch massive Bauteile sein. Auf Grund der verschiedenen Eigenschaften sind die Lasteinleitungsprobleme hier getrennt betrachtet.

Lasteinleitung in Stahlbauteile

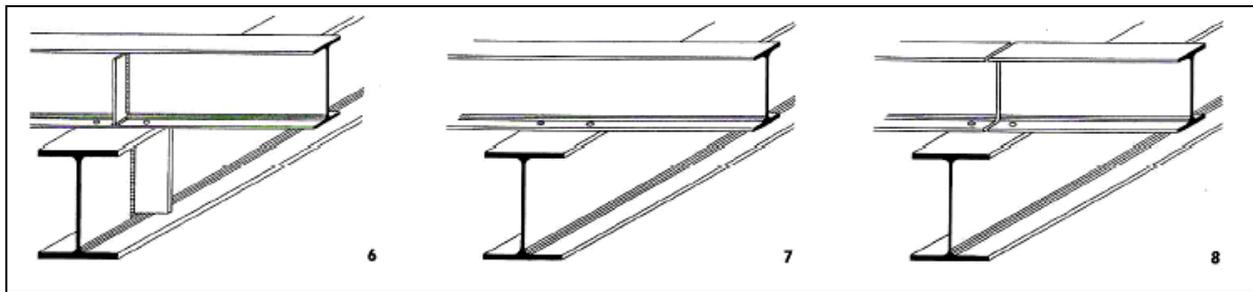


Abbildung 4.7: Lasteinleitung in Stahlbauteile; aus [5]

Zuerst soll die Einleitung von Kräften in Stahlbauteile betrachtet werden. Bei der Frage nach der Erfordernis einer Aussteifung im Bereich einer Lasteinleitung ist die Tragfähigkeit des Trägersteges maßgebend. Es ist anzustreben, Lasten so einzuleiten, dass eine Lasteinleitung ohne Aussteifung möglich ist, da die Herstellung der Aussteifungen sehr arbeits- und somit kostenintensiv ist. In Abbildung 4.8 sind Beispiele rippenloser Lasteinleitung und Berechnungsansätze für Lasteinleitungslängen dargestellt. Die Berechnung und der Nachweis erfolgen nach DIN 18800-1 (744) [N2].

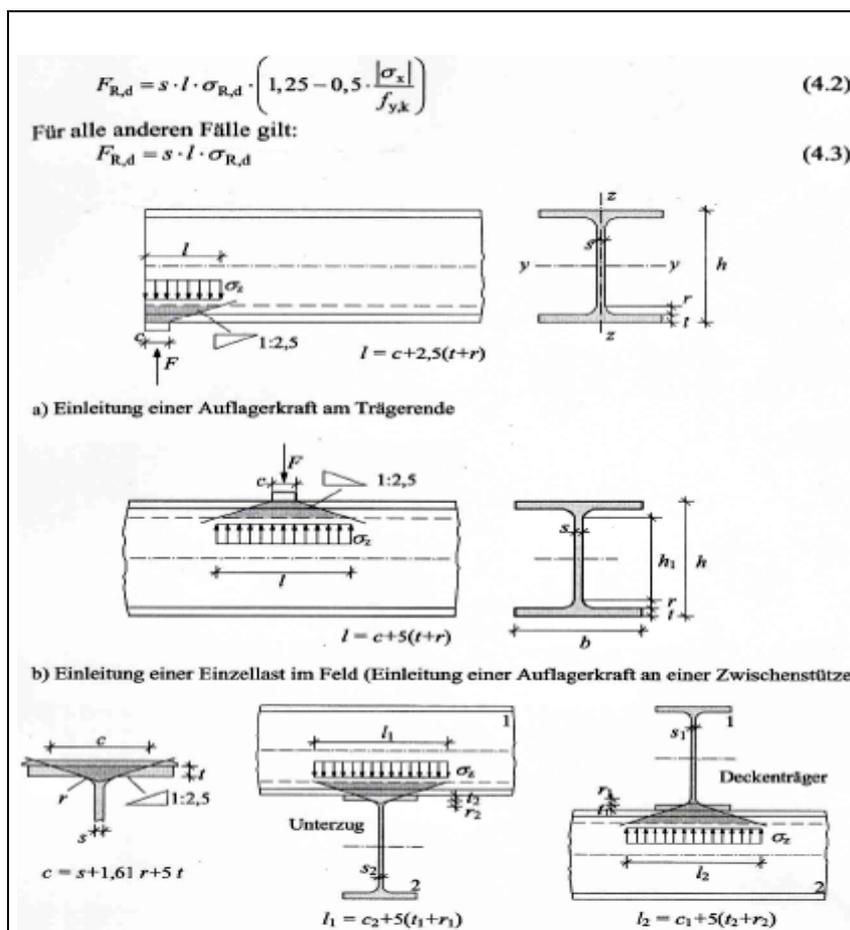


Abbildung 4.8: Rippenlose Lasteinleitung, Berechnungsansätze, aus [25]

Ergeben sich unzulässig hohe Spannungen im Lasteinleitungsbereich, so besteht die Gefahr, dass der Steg beult bzw. krüppelt. Somit muss die Fläche, über die die Last eingeleitet wird, vergrößert werden um einen Stabilitätsverlust des Steges zu verhindern. Der Einbau von Steifen oder Rippen ist notwendig. So kann sich der Gurt durch seine jetzt behinderte Verformung nicht mehr der Lastabtragung entziehen und die Rippen werden zusätzlich zum Steg zur Abtragung herangezogen. Beispiele zur Ausführung von Rippen werden in Abbildung 4.9 gegeben. Die Berechnung erfolgt nach [25; S. 130 ff].

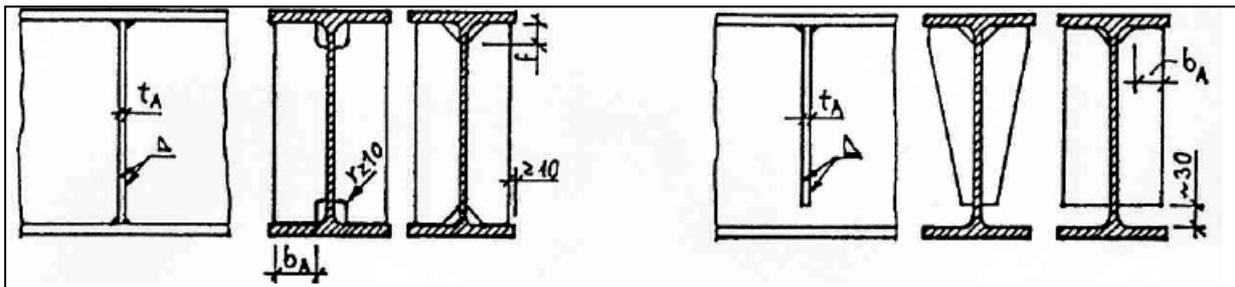


Abbildung 4.9: Trägeraussteifung (Rippen), aus [20]

Die Knagge als Auflager [25; S. 153 f]:

Zur Lagerung eines Trägers an einem Stahlbauteil ist neben den typischen Schraubverbindungen (Kapitel 4.1.4.1) auch die gelenkige Auflagerung auf eine Knagge möglich. Hierbei ist ein Ausweichen des Obergurtes am Auflager konstruktiv zu verhindern.

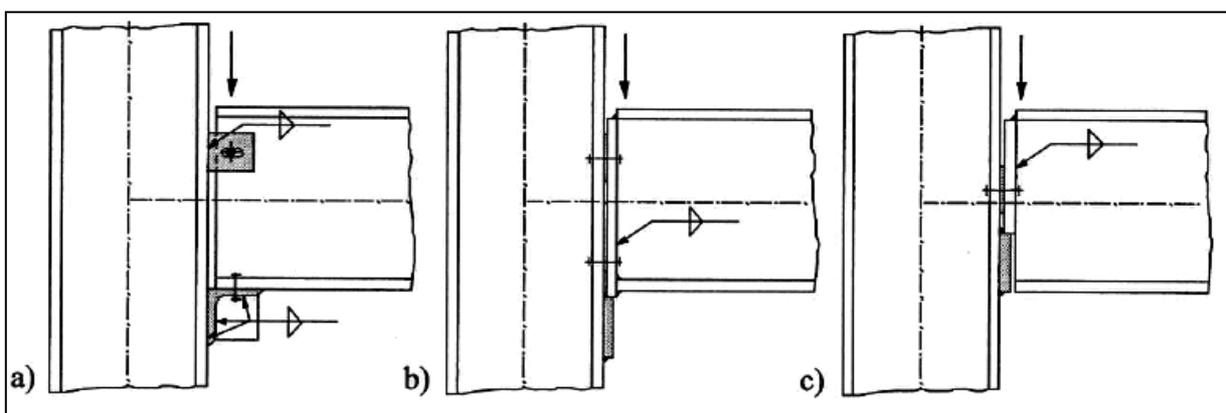


Abbildung 4.10: Knaggenanschluss als Auflagerkonstruktion, aus [25]

Eine Übersicht über mögliche Auflagerausführungen von Stahlträgern auf Stahlbauteilen gibt die folgende Abbildung.

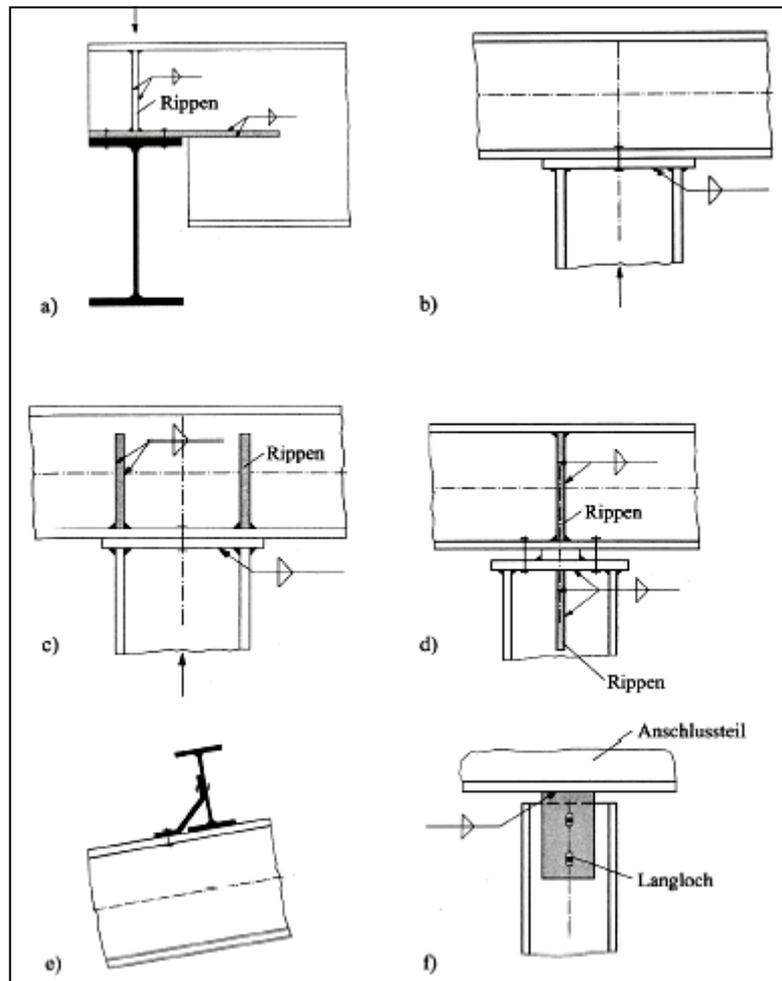


Abbildung 4.11: Beispiele für Trägerauflagerung auf Stahlbauteilen, aus [25]

Lasteinleitung in massive Bauteile

Die Lasteinleitung von Stahlbauteilen in massive Bauteile wie z.B. Mauerwerk oder Beton, aber auch in Holz, ist vor allem beim Bauen im Bestand unter zwei wesentlichen Gesichtspunkten zu betrachten: Zum Einen die konstruktive Durchbildung unter Einhaltung erforderlicher Auflageflächen, zum Anderen aber auch bauphysikalische Gesichtspunkte unter der Beachtung des Mindestwärmeschutzes.

Auflager haben grundsätzlich vertikale und horizontale Lasten abzutragen. Bei Unterzügen ist die Trägerauflagerung oftmals so gestaltet, dass vor allem Vertikalkräfte abgeleitet werden. Die in der Regel geringen Horizontalkräfte werden durch Reibung abgeleitet. Besteht der Bedarf größere Horizontallasten abzutragen (z.B. bei der Ausführung als

Deckenträger in einem Tragwerk eines Deckensystems), so sind Verankerungen nötig. Auf diesen Punkt wird in Kapitel 4.5 eingegangen. Die Auflagerung auf Mauerwerk kann als Flächenlagerung, Flächenlagerung mit Lagerplatte oder zentrische Lagerung erfolgen. Es ist zu beachten dass für das Stahlbauteil die gleichen Regeln einzuhalten sind, wie zu Beginn dieses Kapitels beschrieben.

Bei der Auflagerung auf Wänden sind folgende Punkte zu beachten:

- In der Regel werden beide Lager als Festlager ausgebildet
- Zum Ausgleich von Unebenheiten und der Gewährleistung einer gleichmäßigen Druckverteilung ist eine Mörtelfuge von 20 bis 35 mm erforderlich
- Begrenzung der Auflagerlänge um abheben des Trägers und somit die Bildung einer klaffenden Fuge zu verhindern
- Max. Auflagerlänge $a \approx h/3 + 10$ [cm]

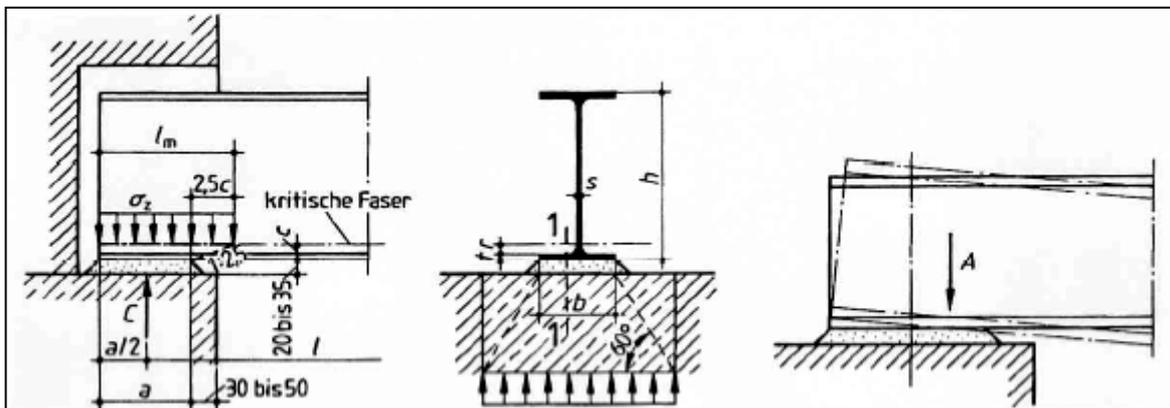


Abbildung 4.12: Konstruktive Ausführung eines Trägersauflagers, aus [10]

Weitere Berechnungsschritte und Anforderungen sind [10; S. 295 ff] zu entnehmen.

Sind die einzutragenden Lasten größer als die aufnehmbaren Lasten des Auflagers, so wird eine Lagerplatte zur Vergrößerung der Lasteintragungsfläche eingebaut.

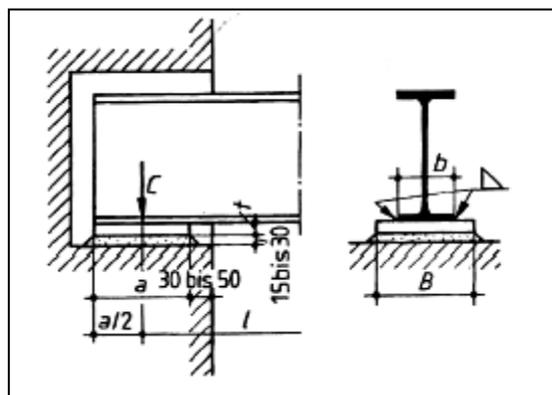


Abbildung 4.13: Auflager mit Lagerplatte, aus [10]

Berechnungsansätze finden sich in [10; S. 296].

Die zentrische Lagerung wird angewandt, wenn das Abwandern der Last in Richtung der Mauerkante verhindert werden soll. Unter dem Aspekt der Tragfähigkeit von bestehendem Mauerwerk unter leicht außermittiger Belastung kann dies die einzige Möglichkeit einer Trägenerauflagerung sein. Da diese Variante aber sehr aufwendig herzustellen ist, soll versucht werden sie zu umgehen [10; S. 298].

Die Weiterleitung der Lasten erfolgt im Mauerwerk unter einem Lastausbreitungswinkel von 60° .

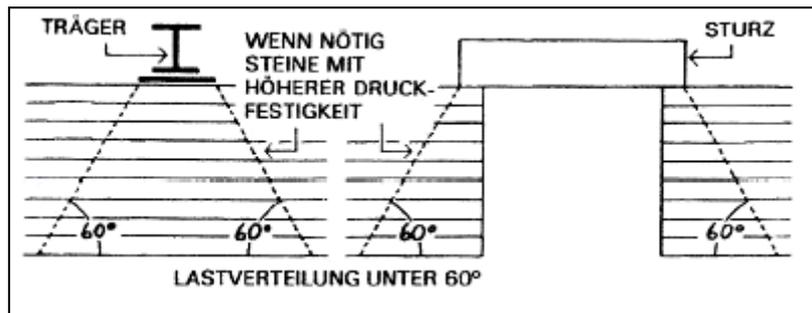


Abbildung 4.14: Lastverteilung in massiven Bauteilen, aus [18]

In diesem Bereich kann eine höhere Steinfestigkeit als im übrigen Mauerwerk erforderlich werden [18; S. 367]. Unter Beachtung der Randbedingungen, die das bestehende Gebäude an die Auflagerkonstruktion stellt, müssen gegebenenfalls Verstärkungen im Auflagerbereich erfolgen. Abbildung 4.15 zeigt verschiedene Möglichkeiten.

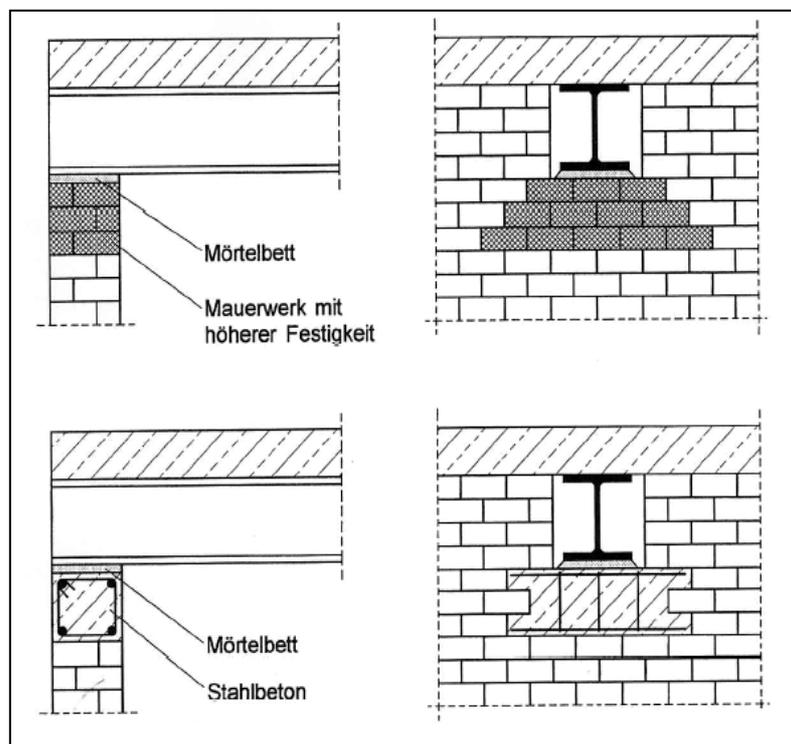


Abbildung 4.15: Auflagerverstärkung bei Mauerwerk, aus [9]

In Kapitel 4.1.1 wurde erwähnt, dass auch eingespannte Träger möglich sind. Abbildung 4.16 zeigt, welcher konstruktive Aufwand hinter dieser Anforderung steht.

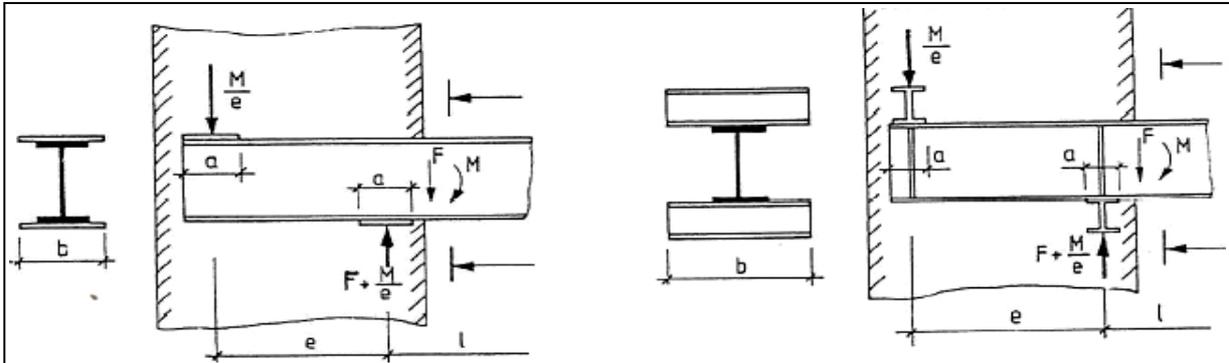


Abbildung 4.16: Eingespanntes Auflager auf Massivbauteilen, aus [20]

Die Möglichkeiten von Auflagern bzw. Anschlüssen auf bzw. an Stahlbeton werden in der folgenden Abbildung gezeigt. Hier sind gegebenenfalls eingespannte Auflager möglich. Hierzu sind allerdings sehr aufwendige Herstellungsmaßnahmen (Baustellenschweißung, Aussparungen schaffen, Durchankerungen herstellen) erforderlich. Weitere Möglichkeiten zeigt [9; S. 233 ff]

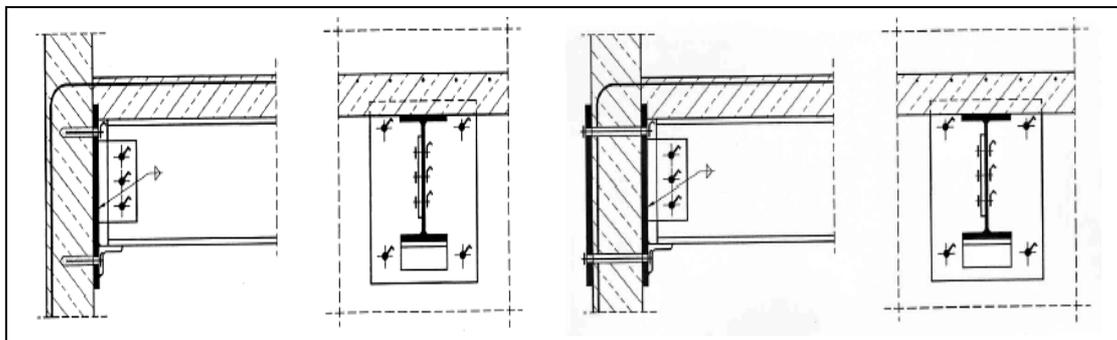


Abbildung 4.17: Anschluss von Stahlbauteilen durch Andübeln oder Durchankern, aus [9]

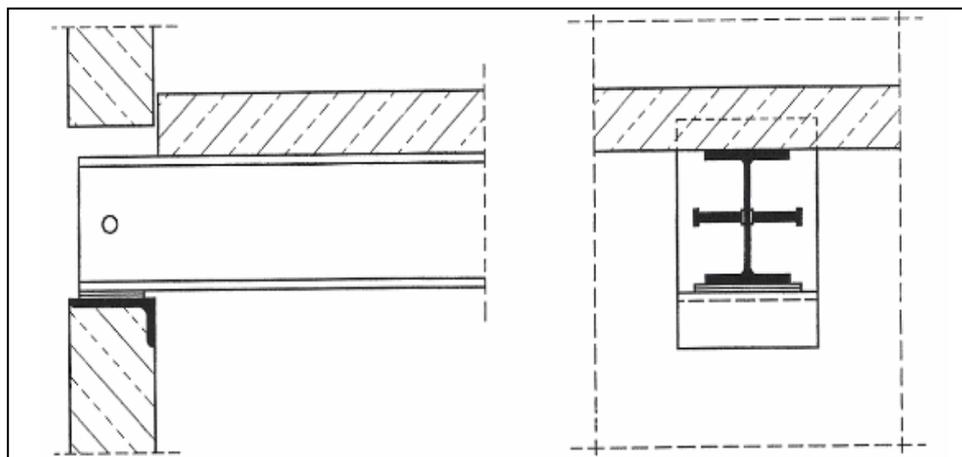


Abbildung 4.18: Auflagerung von Trägern auf Stahlbetonwänden, aus [9]

Unter Beachtung statischer und bauphysikalischer Anforderungen kann die Anordnung von Stützen aus Stahl, Beton oder auch Mauerwerk zur Gewährleistung der erforderlichen Auflagerfläche erforderlich werden. Vor allem bei alten Mauerwerkswänden die sehr dünn sind ist dieser Aspekt genauer zu untersuchen.

Bei der Auflagerung von Stahlträgern oder auch Leichtprofilen auf Holzfachwerkwände ist zu beachten, dass die Auflagerpunkte auch in den Knoten des Holzfachwerks liegen, um unzulässige Beanspruchungen der Riegel zu vermeiden. Bei nicht tragfähigen Fachwerkstrukturen müssen Ertüchtigungsmaßnahmen eingeleitet werden. Hierzu werden in Kapitel 4.6 Ausführungen gemacht.

Die **Auflagerung von Leichtprofilen** erfordert auf Grund der geringen Stegdicke fast bei allen Anwendungen eine Verstärkung. Die Lasteinleitung muss hier genauso kritisch betrachtet werden wie bei warmgewalzten Profilen. Meist werden die Nachweise der Lasteinleitung maßgebend für die Bemessung und Konstruktionsausführung. Es sind Winkelanschlüsse sowie Steifen aus L- und C-Profilen möglich.

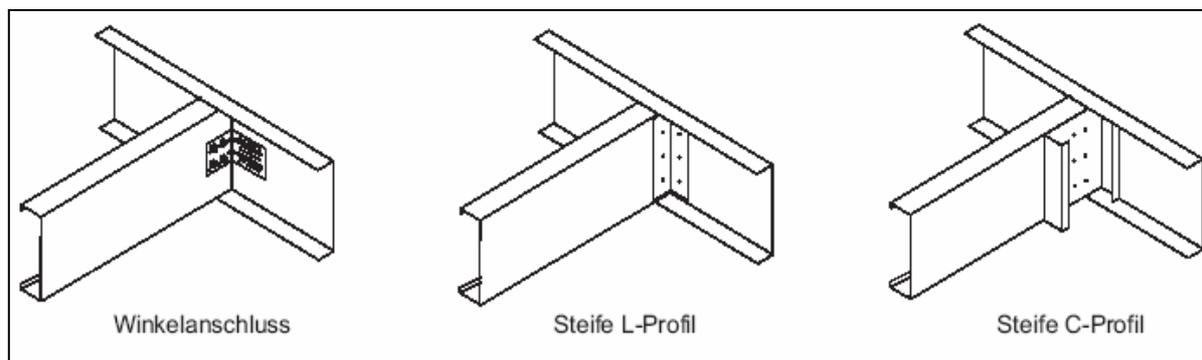


Abbildung 4.19: Auflagerverstärkungen bei Leichtprofilen; aus [Z2]

4.1.4 Verbindungen und Verbindungsmittel

Verbindungen und Verbindungsmittel sind ein wichtiger Bestandteil eines jeden Tragwerks aus Stahl. Erst durch die verschiedenen Verbindungen fügen sich die einzelnen Elemente zu einem Tragwerk zusammen. Die Wahl und die Art der Verbindungen hat wesentlichen Einfluss auf das Tragverhalten des Tragwerks und die Annahmen zur Berechnung. Die Anforderungen an die Verbindungen durch die Festlegung des statischen Systems sind von großer Bedeutung. Um ein bestimmtes Tragverhalten zu erreichen, müssen die Verbindungen so ausgeführt werden, dass die Idealisierung so zulässig ist, wie sie gewählt wurde. Unter diesem Gesichtspunkt soll dieses Kapitel nun bearbeitet werden.

Prinzipiell lassen sich Schraubverbindungen, Schweißverbindungen, Nietverbindungen und Klebeverbindungen unterscheiden. Die Schwerpunkte der Bearbeitung sollen bei den Schraub- und Schweißverbindungen liegen, da diese für heutige Konstruktionen Standard sind. Im Bereich von Verbindungen ist die Tragfähigkeit eines Querschnittes immer gesondert nachzuweisen. Es ist zu erwähnen, dass die volle Querschnittstragfähigkeit im Fügebereich zweier Bauteile nur dann gewährleistet werden kann, wenn der gesamte Querschnitt, also Flansch und Stegbereiche, komplett miteinander verschweißt sind **[21; S. 148]**. Alle anderen Verbindungsarten sind auf ihre Art und Weise vermindert tragfähig. Die Verbindung von mehreren Bauteilen ohne Verlust der vollen Querschnittstragfähigkeit ist vor allem bei der Ausbildung statisch unbestimmter Systeme, wie z.B. Durchlaufträgern, erforderlich. Auf Grund gegebener Montagebedingungen und Randbedingungen die sich aus den Abmessungen des bestehenden Gebäudes ergeben sind, Verbindungen aller Art beim Integrieren neuer Tragwerke in bestehende Gebäude unverzichtbar. Bei der Herstellung sind vor allem die Schraubverbindungen als Baustellenverbindungen zu verwenden. Die Herstellung von Schweißverbindungen auf der Baustelle stellt wesentlich höhere Anforderungen an die technologischen und wirtschaftlichen Randbedingungen. Dieser Aspekt wirkt sich bereits in der Tragwerksplanung bei der Wahl des statischen Systems aus. Die Wahl der Verbindungen und Verbindungsmittel wird also von mehreren Seiten mit unterschiedlichen Schwerpunkten beeinflusst.

Bei der Anwendung von Verbindungen für Träger sind vor allem Stöße von Unterzügen, Anschlüsse von Deckenträgern an Unterzüge sowie Anschlüsse von Unterzügen an Stahlstützen zu betrachten.

4.1.4.1 Schraubverbindungen

Schraubverbindungen können sowohl zur Herstellung gelenkiger als auch biegesteifer Anschlüsse verwendet werden. Für die Schrauben treten Beanspruchungen senkrecht zum Schaft und vor allem bei biegesteifen Verbindungen, parallel zum Schaft auf. Die Nachweise für die einzelnen Verbindungen sind nach DIN 18800-1 **[N2]** zu führen. Eine Einschränkung bei der Bearbeitung erfolgt, indem Verbindungen für Zugstäbe in diesem Kapitel nicht erarbeitet werden. Die Betrachtungen beziehen sich auf Querkraftanschlüsse (gelenkig) sowie biegesteife Stöße und Anschlüsse. Nicht nur die Verbindungsmöglichkeiten, sondern auch die Eigenschaften der Schrauben und Schraubverbindungen sind wichtige Kennwerte für den richtigen Tragwerksentwurf. Hierbei sind die vier Schraubenarten rohe Schrauben (R), Passschrauben (P), hochfeste Schrauben (HR) und hochfeste Passschrauben (HP) zu unterscheiden. Diese werden in den verschiedenen Schraubenverbindungen angewendet. Es gibt prinzipiell folgende Schraubenverbindungen, deren Eigenschaften und Wirkungsweise in **[4; S. 113]** erläutert werden:

- Scher-Lochleibungs-Verbindung mit Lochspiel (SL)
- Scher-Lochleibungs-Verbindung ohne Lochspiel (SLP)
- Scher-Lochleibungs-Verbindung mit Lochspiel und Vorspannung (SLV)
- Scher-Lochleibungs-Verbindung ohne Lochspiel mit Vorspannung (SLVP)
- Gleitfest-Vorgespannte-Verbindung mit Lochspiel (GV)
- Gleitfest-Vorgespannte-Verbindung ohne Lochspiel (GVP)

Gelenkige Anschlüsse = Querkraftverbindungen

Zur Ausbildung von Tragwerken die sich aus vielen statisch bestimmten Systemen zusammensetzen, werden gelenkige Anschlüsse verwendet. Verbindungen zwischen Unterzügen und quer dazu verlaufenden Deckenträgern sind typisch hierfür. Des Weiteren sind diese Anschlüsse zur gelenkigen Verbindung von Trägern und Stützen geeignet. Zur Berechnung der einzelnen Anschlüsse werden im Rahmen dieser Arbeit keine genaueren Ausführungen gemacht, da es für den Stahlhochbau typisierte und optimierte Anschlüsse für jede Verwendungsart gibt **[22]**. Eine Übersicht und praxisnahe Einführung in die Berechnung geben **[25; S. 140 ff und 10; S. 63 ff]**. Obwohl bei der Revitalisierung von Bauwerken auf gegebene Randbedingungen geachtet werden muss, sind auch in diesem Bereich die typisierten Verbindungen vorzugsweise zu verwenden. Im einzelnen gibt es folgende gelenkige Anschlüsse:

• **Doppelwinkelanschluss**

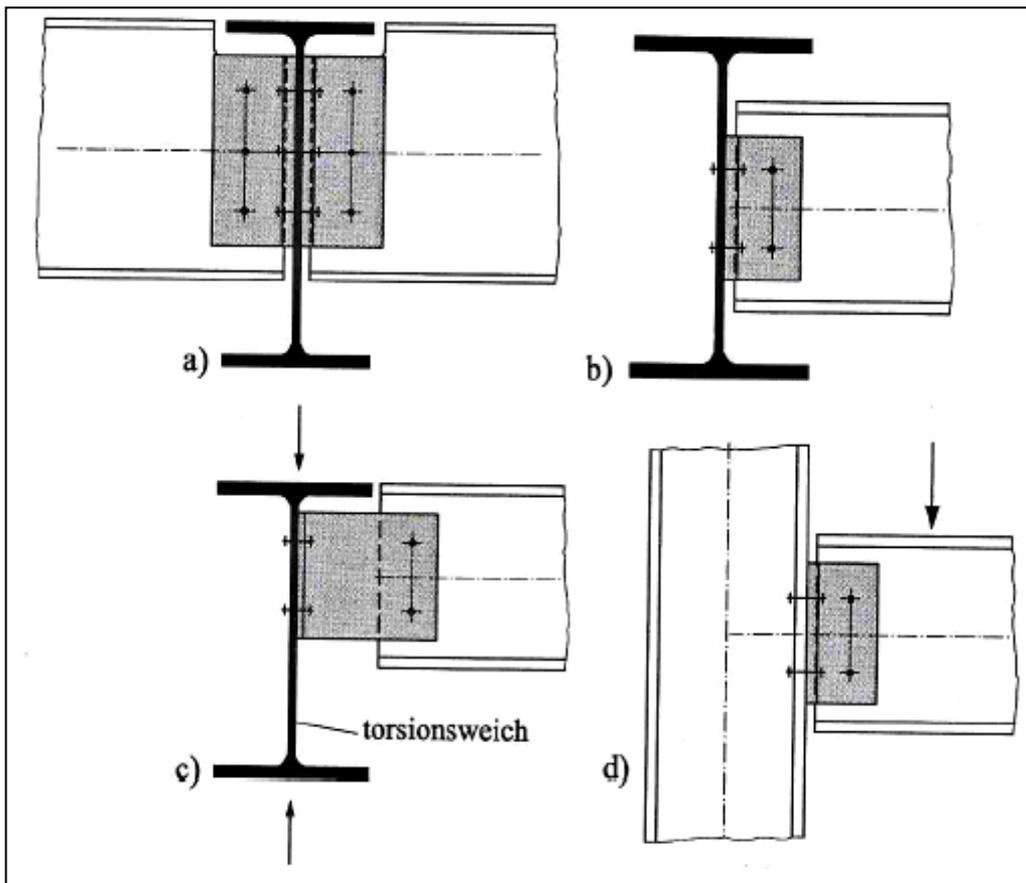


Abbildung 4.20: Doppelwinkelanschluss, Ausführungsvarianten, aus [25]

Eigenschaften	Schraubverbindung/ Wirkungsweise	Schrauben- art
<ul style="list-style-type: none"> - typisch für Anschluss UZ-Deckenträger - Montage vor allem bei gleicher Trägerhöhe schwierig und aufwendig (Doppelwinkel) - voll geschraubter Anschluss ohne Schweißnähte - besonders biegeweicher Anschluss - keine Torsionsbeanspruchungen - bei hohen Winkeln müssen Zugkräfte in den Schrauben der Anschlussbleche nachgewiesen werden 	<ul style="list-style-type: none"> - SL-Verbindung - sehr verformungsanfällige Verbindung - hauptsächlich bei stat. bestimmten Systemen - immer mehrschnittig - SLP-Verbindung im Ausnahmefall (teuer) 	<ul style="list-style-type: none"> - (R) - selten (HR) und (P)

Tabelle 4.2: Eigenschaften des Doppelwinkelanschlusses

• **Fahnenblechanschluss (1 Blech)**

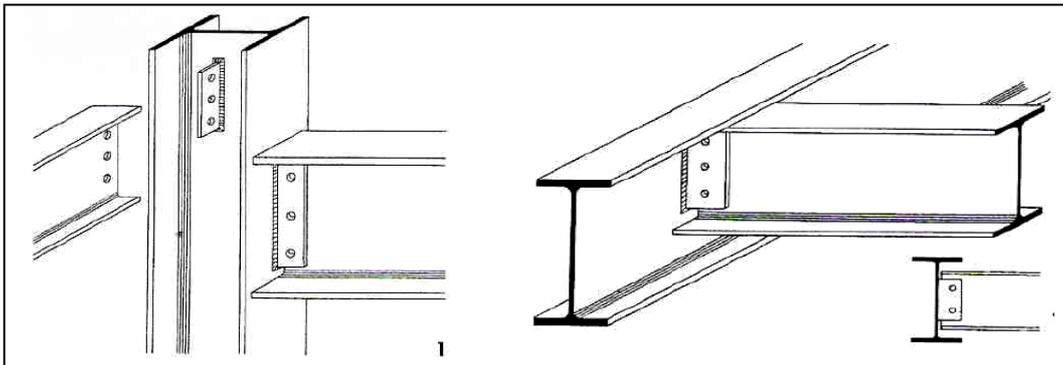


Abbildung 4.21: Beispiele zu Fahnenblechanschlüssen, aus [5]

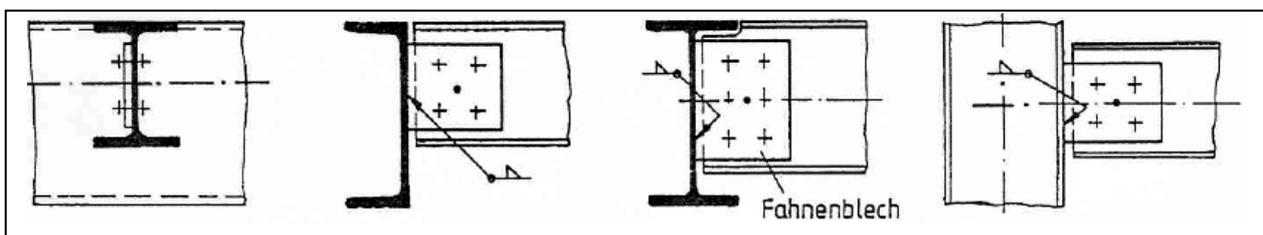


Abbildung 4.22: Fahnenblechanschluss, Ausführungsvarianten, aus [20]

Eigenschaften	Schraubverbindung/ Wirkungsweise	Schraubenart
<ul style="list-style-type: none"> - hauptsächlich bei Anschluss UZ-Deckenträger angewendet - sehr montagefreundlich, weil Deckenträger einschwenkbar - teilgeschweißter Anschluss, denn Fahnenblech an Steg des UZ oder an Stütze angeschweißt - für kleine bis mittlere Querkräfte - bei Anschluss eines Trägers entstehen zusätzlich Momente für die Schrauben - bei Anschluss von zwei Trägern muss Torsionssteifigkeit des Anschlussbleches nachgewiesen werden 	<ul style="list-style-type: none"> - SL-Verbindung - sehr verformungsanfällige Verbindung - einschnittige Verbindung mit Außermittigkeit - hauptsächlich bei stat. bestimmten Systemen - SLP-Verbindung im Ausnahmefall (teuer) 	<ul style="list-style-type: none"> - (R) - selten (HR) und (P)

Tabelle 4.3: Eigenschaften des Fahnenblechanschlusses

Eine Anwendung des Fahnenblechanschlusses ist auch das doppelte Fahnenblech. Die Eigenschaften sind dann ähnlich denen des Doppelwinkelanschlusses.

• **Stirnplattenanschluss**

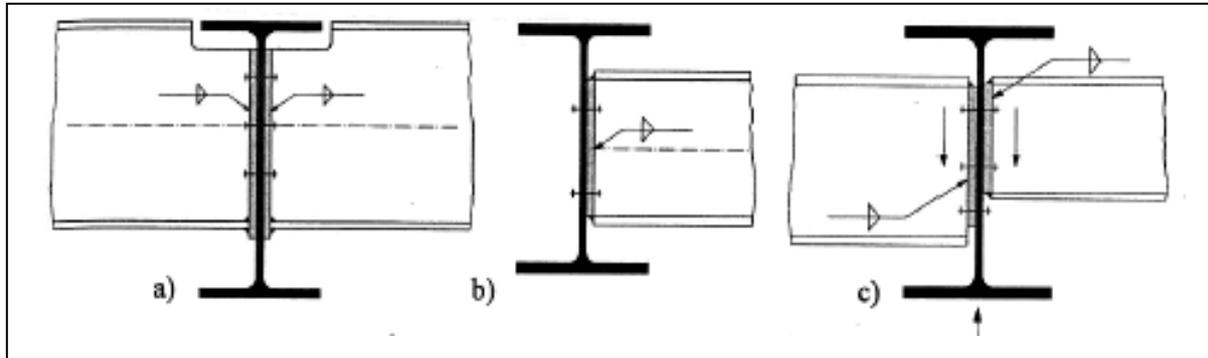


Abbildung 4.23: Gelenkiger Stirnplattenanschluss, Ausführungsformen, aus [25]

Eigenschaften	Schraubverbindung/ Wirkungsweise	Schraubenart
<ul style="list-style-type: none"> - hauptsächlich bei Anschluss UZ-Stütze angewendet - Stirnplatte nur an Steg angeschweißt - sehr montagefreundlich denn Stirnplatte wird in Werkstatt angeschweißt - große Querkräfte übertragbar im Vergleich. zu Fahnenblechanschluss - weniger verformungsanfällig - bei Sonderkonstruktionen Torsionssteifigkeit des UZ notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - SL-Verbindung - keine Außermittigkeiten - nur bis zu einer bestimmten Querkraft, dann SLP-Verbindung besser - bei großen Querkräften (teuer) 	<ul style="list-style-type: none"> - (R) und (HR) - (P)

Tabelle 4.4: Eigenschaften des Stirnplattenanschluss

Charakteristisch für diese Verbindungen ist die Querkraftübertragung im Steg des jeweiligen Trägers. Durch die einfache Montage und Herstellung der Verbindungen und die vielfältigen Möglichkeiten der Ausführung sind sie den Schweißverbindungen für gelenkige Anschlüsse vorzuziehen. Unter dem Einfluss der einzelnen Randbedingungen wie begrenzte Trägerhöhe, zulässige Belastungen usw. lässt sich die Notwendigkeit der Ausführung dieser Verbindungen, im Vergleich zur einfachen Trägerauflagerung auf Stahlbauteile, klar herausstellen.

Biegesteife Anschlüsse und Stöße

Zur Ausbildung von Stößen in Unterzügen, eingespannten Auflagern oder Rahmenecken sind biegesteife Anschlüsse notwendig. Vor allem bei der Herstellung von Durchlaufträgern und dem Einfluss der Randbedingungen für bestimmte Träger- bzw. Konstruktionshöhen ist die Ausbildung von biegesteifen Trägerkreuzungen und Stößen notwendig. Unterbrechungen in den einzelnen Trägern müssen aufwendig verbunden werden, um die Durchlaufwirkung und somit die Vorteile statisch unbestimmter Systeme zu erhalten. Bei biegesteifen Anschlüssen und Verbindungen ist die Zugbeanspruchung der Schrauben zu beachten. Im einzelnen werden folgende Verbindungen und Anschlüsse ausgeführt.

- **Laschenstoß**

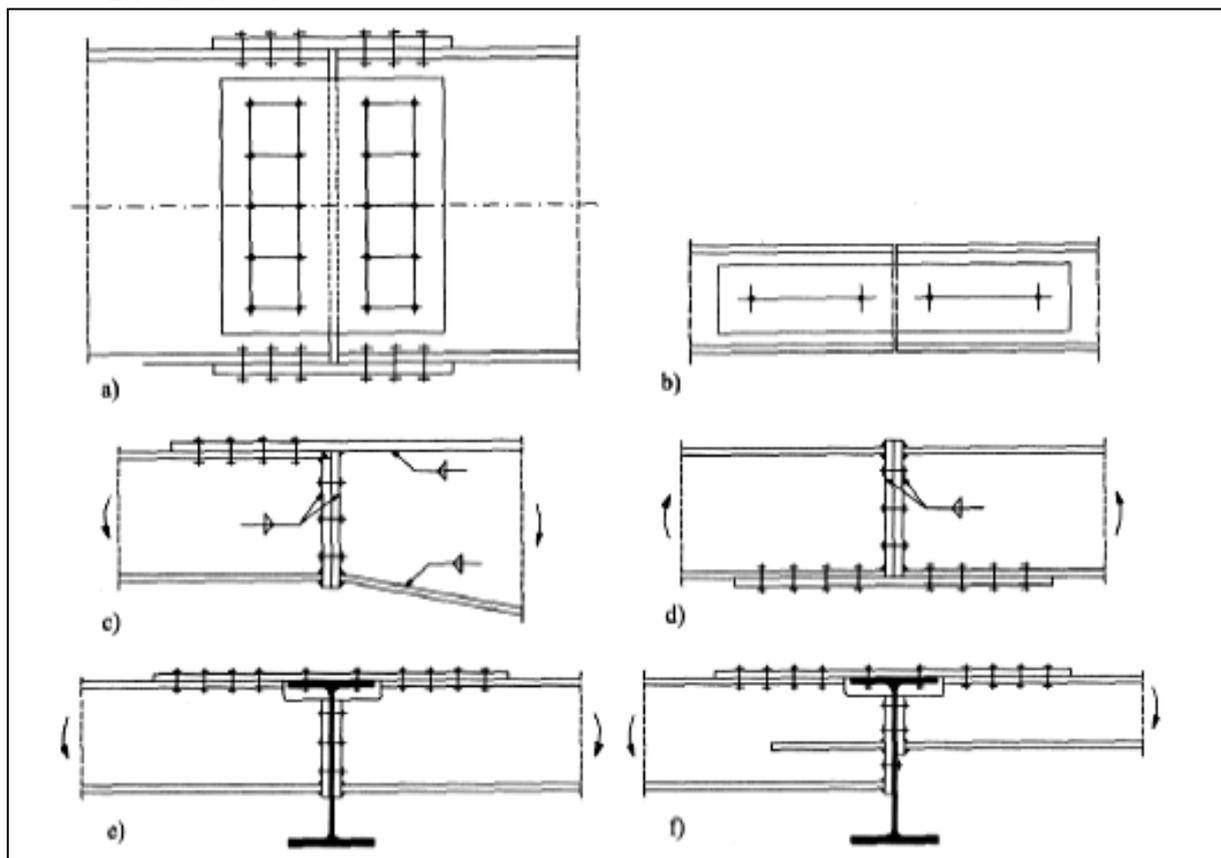


Abbildung 4.24: Laschenstoß, Ausführungsformen, aus [25]

Eigenschaften	Schraubverbindung/ Wirkungsweise	Schraubenart
<ul style="list-style-type: none"> - momententragfähige Verbindung - Ausbildung von zusätzlichen Laschen im Steg und Gurtbereich notwendig - Zugkraft aus Moment über Gurtlaschen aufnehmbar - Druckkraft meist über Kontaktstöße - Beachtung des Momentenverlaufs 	<ul style="list-style-type: none"> - SL-Verbindung - Verwendung bei großem Schraubenbild - in Bereichen geringerer Momentenbeanspruchung - SLP-Verbindung - bei größeren Momenten, da Scherbeanspruchung in den Gurtlaschen größer 	<ul style="list-style-type: none"> - (R) selten (HR) - eher (P) und (HP)

Tabelle 4.5: Eigenschaften des Laschenstoßes

Die Ausführung von Laschenstoßen ist vor allem beim Bauen im Bestand schwierig, da im Bereich der Stützen oder Trägerkreuzungen, wo sie meist angewendet werden stets Zuglaschen erforderlich sind. Eine ebene Oberfläche der Träger ist somit in diesem Bereich nicht mehr realisierbar. Auch unter dem Punkt der Ästhetik ist diese Verbindung kritisch zu bewerten. Es lässt sich erkennen, dass die Anwendung nur auf Bereiche eingeschränkt werden sollte, wo keine anderen Verbindungen möglich sind (z.B. Schweißverbindungen).

- **Stirnplattenstoß und Stirnplattenanschluss**

Zur Ausbildung eingespannter Auflager von Trägern sind Stirnplattenanschlüsse auf Grund ihrer Montagefreundlichkeit sehr gut geeignet. Als Trägerlängsstoß und zur Trägerkreuzung ist die Stirnplattenverbindung sehr verbreitet und auch typisiert [22]. Prinzipiell ist beim Stirnplattenstoß darauf zu achten, dass die Anforderungen an das Tragwerk die sich aus der weiteren Anwendung ergeben, beachtet werden. Vor allem der oft notwendige Überstand der Stirnplatten über die Obergurte der Träger im negativen Momentenbereich kann große Anwendungseinschränkungen hervorrufen. Die Anwendbarkeit der Verbindung ist, wie bei allen anderen Verbindungsarten, kritisch zu hinterfragen und zu beurteilen. Die Anwendung der Schrauben lässt sich hier nur schwer charakterisieren. Hier ist je nach Anwendung und Anforderungen zu entscheiden. Prinzipiell sind Schrauben bei bündigen Stirnplattenstoßen unter gleicher Momenteneinwirkung und bei gleichem Trägerquerschnitt stärker belastet als Schrauben mit überstehenden Stirnplatten.

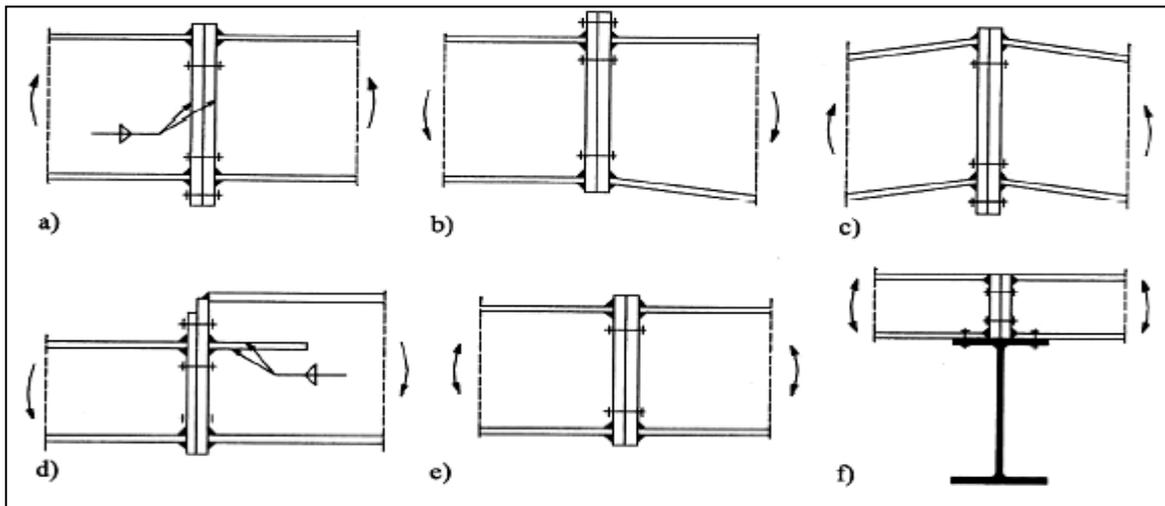


Abbildung 4.25: Stirnplattenstoß, Ausführungsformen, aus [25]

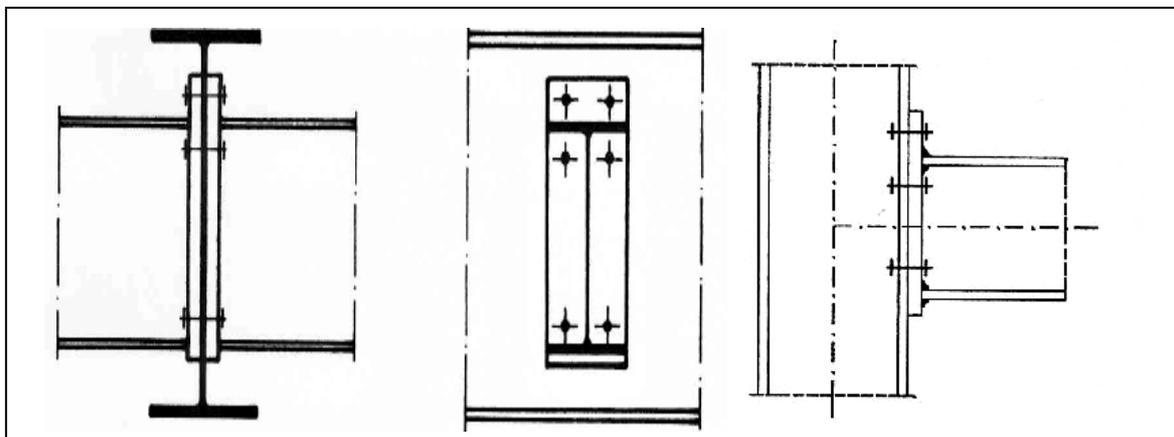


Abbildung 4.26: Biegesteifer Stirnplattenanschluss, Ausführungsvarianten, aus [25]

Eigenschaften	Schraubverbindung/ Wirkungsweise	Schraubenart
<ul style="list-style-type: none"> - im Gegensatz zum gelenkigen Stirnplattenanschluss vollständige Verschweißung der Platte mit dem Querschnitt - hohe Momenten Tragfähigkeit bei überstehenden Platten - Abminderung bei bündigen Platten - viele Variationsmöglichkeiten - sehr steife Verbindung 	<ul style="list-style-type: none"> - SL-Verbindung - SLV-Verbindung - Zugbeanspruchung der Schrauben - höhere Tragfähigkeit durch Vorspannen - Anwendung bei begrenzter Stirnplattenhöhe - SLP-Verbindung - SLVP-Verbindung 	<ul style="list-style-type: none"> - (R), oft (HR) - (P) und (HP)

Tabelle 4.6: Eigenschaften biegesteifer Stirnplattenverbindungen

Zur Erarbeitung der Tabellen zu den Schraubverbindungen wurden folgende Quellen verwendet. Spalte: Eigenschaften: [25; S.140 ff]

Spalte: Schraubverbindung / Wirkungsweise [4; S.112 ff; 7; S.112]

Spalte: Schraubenart [4; S.112 ff; 20; S. 6/25 ff]

Gleitfest-Vorgespannte Verbindungen werden nur in Bereichen sehr großer oder dynamischer Beanspruchung eingesetzt. Auf Grund des großen Herstellungsaufwandes dieser Verbindungen werden sie im Bereich des Stahlhochbaus, speziell des Wohnungsbaus, durch die SLV-Verbindungen mehr und mehr abgelöst. Somit ist ein Einsatz der GV-Verbindungen in diesem Bereich untypisch.

4.1.4.2 Schweißverbindungen

Schweißverbindungen sind dadurch gekennzeichnet, dass eine nahezu monolithische Verbindung im Fügebereich entsteht, die im Gegensatz zu den Schraubverbindungen einen konstanten Kräftefluss ohne Spannungsspitzen ermöglicht [21].

Die Schweißverbindungen sollen in dieser Arbeit nicht so detailliert wie die Schraubverbindungen erarbeitet werden. Da Schweißverbindungen meist Werksattverbindungen sind, werden sie beim Zusammenfügen einzelner Bauteile zu einem Gesamttragwerk auf der Baustelle selten verwendet. Trotz des hohen Aufwands bei der Herstellung, werden aus Gründen der Ästhetik, aber auch statischer Notwendigkeit geschweißte Trägerstöße ausgeführt. Abbildung 4.27 zeigt einige Beispiele. Es ist darauf zu achten, dass diese Stöße nicht in Bereichen maximaler Belastung angeordnet werden.

Die Berechnung und Durchbildung der Schweißverbindungen erfolgt nach DIN 18800-1 [N2].

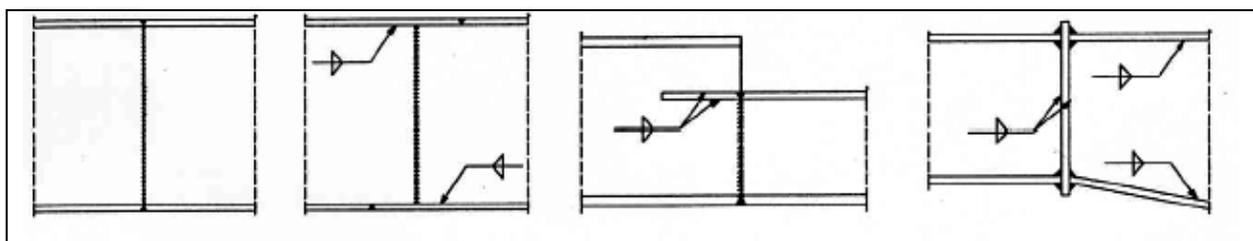


Abbildung 4.27: Geschweißter Trägerstoß, Ausführungsformen, aus [25]

Baustellenschweißverbindungen sind immer mit einem großen technologischen Aufwand verbunden. Im Bereich gelenkiger Anschlüsse sind deshalb Schraubverbindungen vorzugsweise zu verwenden. Alternative Schweißverbindungen sind in Abbildung 4.28 dargestellt, wobei Bild b) bereits einen Anschluss zur Aufnahme von Momenten darstellt.

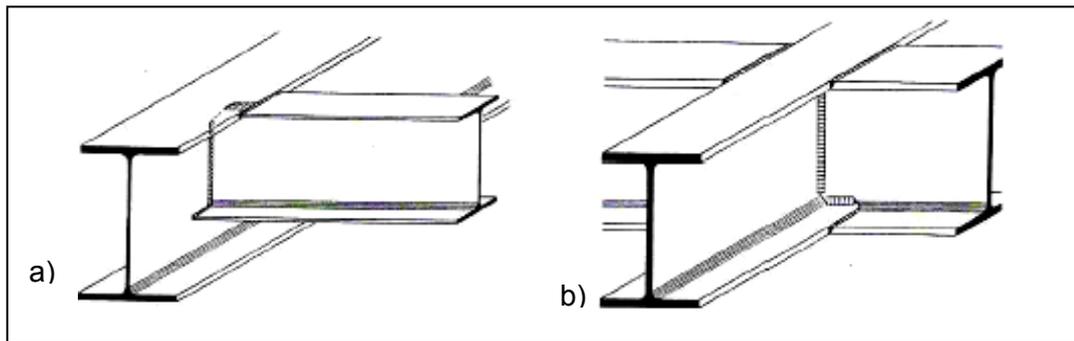


Abbildung 4.28: Geschweißter Anschluss, Ausführungsformen, aus [5]

„Geschweißte Trägeranschlüsse geben ein sauberes Bild und bringen die Kräfteführung in einer Stahlkonstruktion klar zum Ausdruck. Durch Schleifen der Schweißnähte lassen sich monolithisch wirkende Stahlkonstruktionen herstellen. Der Aufwand ihrer Herstellung, in Sonderheit bei der Montage, ist jedoch ungleich größer als bei geschraubten Konstruktionen. Man führt daher vollständig geschweißte Trägeranschlüsse nur dort aus, wo es die Ästhetik der Konstruktion verlangt.“ [5; S. 270] Zur Ausführung biegesteifer Ecken ist der hohe Herstellungsaufwand schon eher gerechtfertigt. Ausführungsbeispiele werden in Abbildung 4.29 gegeben. Allerdings soll auch hier immer die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der gewählten Konstruktion betrachtet werden. Die Auswahl des Tragsystems und gegebenenfalls dessen Änderung ermöglichen vielseitige Varianten zur Gestaltung von Tragwerken, so dass der Herstellungsaufwand sowie die Kosten reduziert und das Gesamtsystem optimiert werden kann.

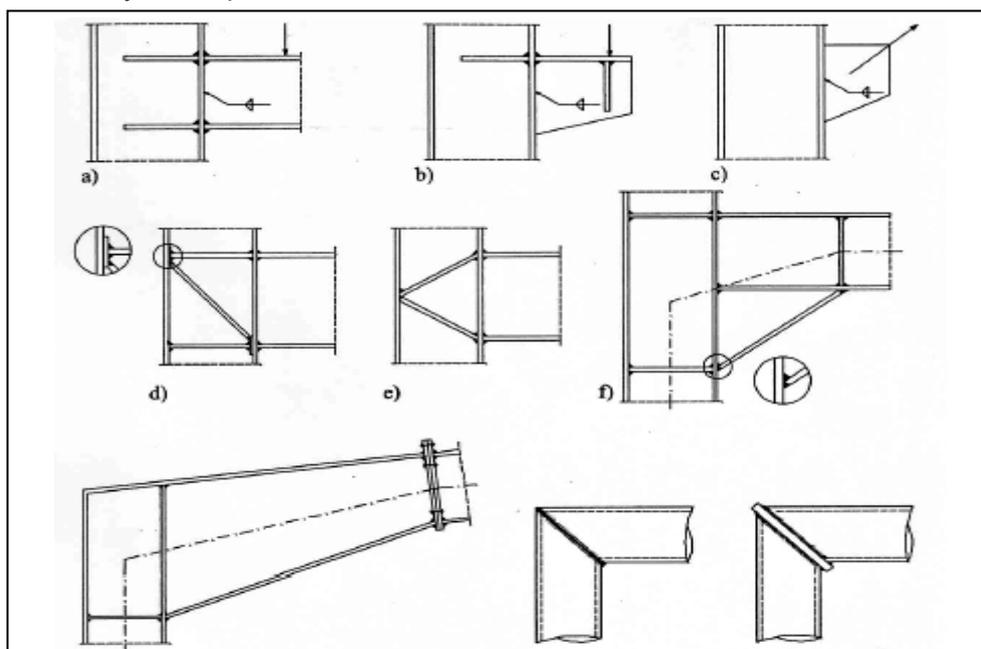


Abbildung 4.29: Biegesteife Ecken und Verbindungen, Ausführungsbeispiele, [aus 25]

4.1.4.3 Verbindungen im Stahlleichtbau

Die Verbindungen im Stahlleichtbau sind sehr einfach und deshalb kostengünstig ausführbar. Sowohl bei der Baustellenfertigung als auch bei der Fertigung im Werk (z.B. Abbinden eines Dachstuhls) sind folgende Verbindungen möglich:

- Schweißen, Schrauben, Stecken, Clinchen, Klammern, Nageln

Die meist verwendete Verbindung, vor allem bei der Fertigung auf der Baustelle und der Verwendung der Profile beim Bauen im Bestand, ist jedoch das Schrauben. Zur Zeit sind ballistische Verbindungen (einschießen in das Bauteil) mit Nägeln und Klammern in der Entwicklung [Z2; S. 21]. Diese ermöglichen eine weitere Rationalisierung und wirtschaftlichere Herstellung des Gesamttragwerkes. Verbundwirkungen werden durch die Profilierung der Elemente sowie Punktlöten, oder -kleben und sich aufspreizende Verbindungsmittel (Schrauben, Niete) erzielt. Auch Verbindungen durch Sonderkantteile (Abbildung 4.31), die den jeweiligen Anforderungen angepasst sind, werden in dieser Bauweise sehr häufig realisiert. Somit ist eine direkte Verbindung der Hauptteile des Tragwerkes nicht immer dringend notwendig, wodurch sich weitere Gestaltungs- und Entwicklungsmöglichkeiten ergeben.

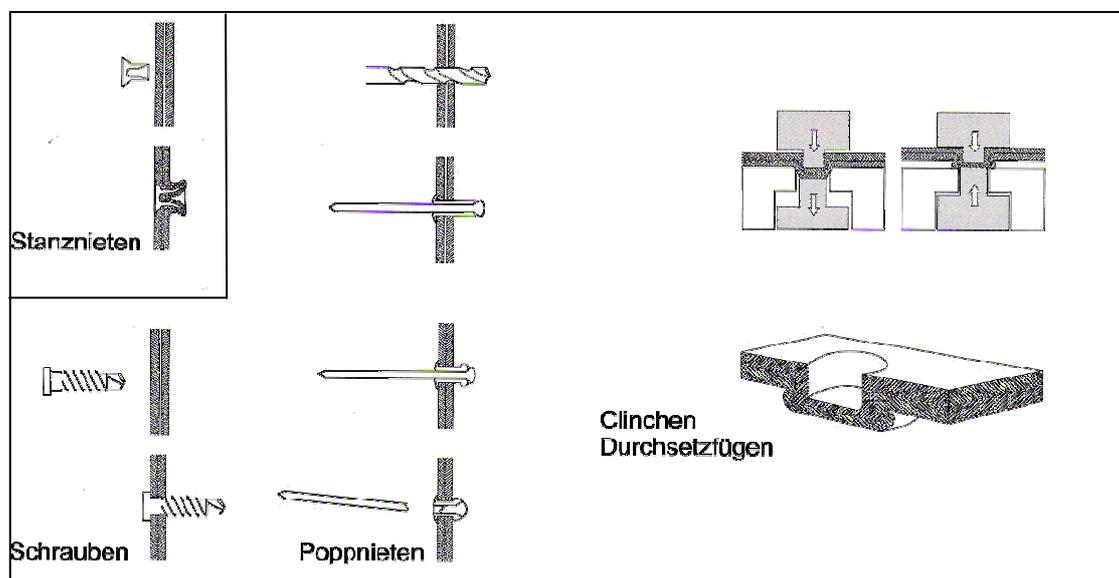


Abbildung 4.30: Verbindungsmöglichkeiten und -mittel der Stahlleichtbauweise, aus [Z2]

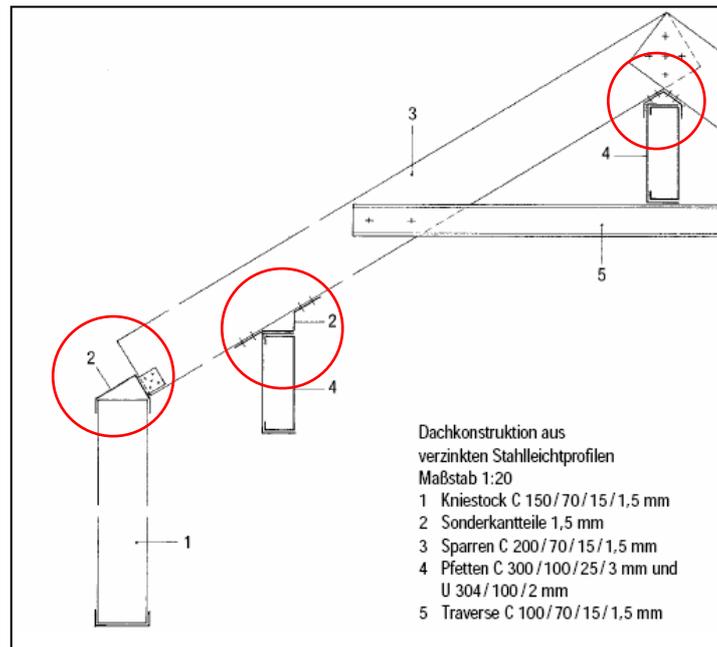


Abbildung 4.31: Verschiedene Sonderkanteile in einem Dachstuhl, aus [Z5]

4.1.5 Steifigkeit der Verbindungen

Durch Berücksichtigung der Steifigkeit der Verbindungen und Verbindungsmittel können sich Änderungen des statischen Systems und somit der Berechnungsannahmen ergeben. Bei Schraubverbindungen mit rohen Schrauben sind durch das Lochspiel immer wieder Verformungen in der Verbindung möglich. Dies kann soweit führen, dass es zu Schnittgrößenumlagerungen in statisch unbestimmten Tragwerken [4; S. 114], und somit zur Veränderung der Beanspruchungen auf das Gesamttragwerk kommt.

Bei der Ausbildung biegesteifer Verbindungen ist die Steifigkeit der Verbindung zu beachten. Biegesteife Anschlüsse sind in Abhängigkeit der Ausführung nicht immer als starr anzunehmen. Vor allem bei der Ausführung von Stirnplattenanschlüssen und -stößen ohne Überstand der Stirnplatten kann dieser Punkt von Bedeutung sein [25; S. 185]. Bündige Stirnplattenanschlüsse sind nachgiebiger einzustufen als überstehende. Nach [25; S. 185 ff] handelt es sich hier um **verformbare Verbindungen**. Bei der Berechnung im statischen System, wird diese Verbindung durch den Ansatz einer Verbindung mit einer definierten Steifigkeit abgebildet. Diese **Anfangsrotationssteifigkeit** ergibt sich in Abhängigkeit der Trägerlängen und -steifigkeiten Berechnungsansätze in [25; S. 186 f] zeigen dies.

Die Anfangsrotationssteifigkeit wird zur Klassifizierung der einzelnen Verbindungen genutzt.

Unter Beachtung der Randbedingungen die sich beim Bauen im Bestand ergeben, sind nach **[25; S. 188 ff]** folgende Auswirkungen auf das Tragverhalten und die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu beachten:

- Mit länger werdendem Rahmenriegel wird die erforderliche Rotationssteifigkeit zur Annahme einer starren Verbindung geringer.
- In Abhängigkeit der gewählten Eckverbindung können vor allem bei unverschieblichen Zweigelenrahmen bis zu 20 Prozent größere Verformungen des Riegels auftreten, als sie bei Annahme einer starren Verbindungen errechnet werden.
- Es kommt zu einer Momentenumlagerungen mit Erhöhung des Feldmoments um bis zu 15 Prozent im Vergleich zur Annahme starrer Verbindungen.

Das Beispiel des unverschieblichen Zweigelenrahmen wurde in Anlehnung an **[25]** verwendet. Die Auswirkungen lassen sich auf jede Anwendung dieser Art ableiten. Zur praktischen Anwendung dieses Problems ist zu erwähnen, dass die Ermittlung der Anfangsrotationsgeschwindigkeit sehr aufwendig ist. Hierfür werden aber in systematisierten Katalogen **[22]** Werte gegeben. Da sich die erwähnten Eigenschaften der Verbindungen auf das Gesamttragverhalten der Konstruktion auswirken, ist der „Ansatz“ einer verformbaren Verbindung, unter Beachtung der Forderungen an das Tragwerk, nicht immer auszuschließen. Auswirkungen lassen sich vor allem erkennen bei:

- Profilwahl unter Beachtung der Steifigkeit und den zulässigen Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
- Auswahl der Verbindungen in Eck- oder Stoßbereichen
- Bildung des statischen Systems und Wahl der Berechnungsansätze

Durch die Betrachtung dieses Punktes wird deutlich, dass es auch beim Bauen im Bestand und den daraus resultierenden Anforderungen an die Flexibilität einer Tragwerksplanung und -entwicklung notwendig ist, die hohe Systematisierung und Typisierung des Stahlbaus auszunutzen. Nur so kann ein optimales Tragwerk unter Beachtung gegebener Randbedingungen entstehen.

4.2 Decken und Galerien

Decken in Stahlbauweise bestehen nicht nur aus Stahl. In der Regel bildet der Stahl das Tragwerk für eine Decke. Die raumbildende Funktion können Stahlbleche, Stahlbeton, Holz oder auch Faserplatten übernehmen. Vor allem die Verbundbauweise zwischen Stahl und Stahlbeton ist sehr stark in der Anwendung. Da es sich beim Stahlbau um eine gerichtete Bauweise handelt [5; S. 264], sind die meisten Deckentragwerke aus Stahl einachsige spannende Tragwerke. Die Realisierung zweiachsig abtragender Konstruktionen, wie z.B. Trägerrosten aus Stahl, ist immer mit einem sehr hohen Herstellungsaufwand verbunden. In diesem Kapitel soll auf die einzelnen Möglichkeiten von „Stahldecken“ eingegangen werden. Aktuelle Entwicklungen in diesem Bereich und einen Überblick über die Einsatzgebiete der Decken in Stahlbauweise gibt [Z6; S. A6]. Da es sich hierbei aber prinzipiell um typische Konstruktionen für den Geschossbau handelt, sollen nur diese kurz erläutert und beschrieben werden, welche sich für den Einsatz im Wohnungsbau wirtschaftlich realisieren lassen. Vor allem Sonderformen bestimmter Hersteller sind oft für große Geschossbauten wie z.B. Parkhäuser entwickelt und werden hier nicht betrachtet. Vielmehr sollen hier die weiteren Möglichkeiten der Konstruktion von Decken in Abhängigkeit von den gegebenen Randbedingungen des Bestandes dargestellt und erläutert werden. Vor allem der Stahlleichtbau soll hier mit betrachtet werden, da das Gewicht der Konstruktionen eine wesentliche Rolle spielt.

Beim Bauen im Bestand ist das Prinzip des Tragwerksentwurfes in einigen Bereichen im Vergleich zum Neubau umgekehrt zu betrachten. Hier werden nicht Wände und Stützen auf die Lasten aus den Decken und Unterzügen ausgelegt, sondern Deckenkonstruktionen und Anwendungen verschiedener Bauweisen hängen in starkem Maße von der Tragfähigkeit bestehender Wände oder ähnlicher Stützkonstruktionen ab.

Betrachtungen zum Schallschutz und Wärmeschutz fließen ebenfalls in die Bearbeitung ein. Der Einfluss der einzelnen Eigenschaften auf die Möglichkeit des Einsatzes soll in diesem Kapitel noch nicht erfolgen. Eine Klassifizierung und damit die Beschreibung möglicher Einsatzgebiete der einzelnen Deckensysteme erfolgt in Kapitel 5.

4.2.1 Trägerdecken ohne Verbund

Trägerdecken sind dadurch gekennzeichnet, dass die Stahlbetondecke, welche zwischen 12 und 20 cm dick ist, auf den Obergurten der Deckenträger aufliegt. Diese wiederum sind durch Querkraftanschlüsse oder Auflagerung an Unterzügen angeschlossen welche ihre Lasten in Stützen oder Massivbauteile abtragen. Die Möglichkeiten des Anschlusses von Deckenträgern und Unterzügen sowie zu deren Ausbildung sind in Kapitel 4.1.4 ausführlich beschrieben. Hierbei wirkt die Stahlbetondecke als einachsig gespannte Platte zur Abtragung der Vertikallasten, aber auch als Scheibe zur Aussteifung. [9; S. 178 f] Besteht keine Verbundwirkung zwischen Trägern und Deckenplatte sind noch Maßnahmen zur Aussteifung der Stahlträger erforderlich. Die Spannweiten der Stahlbetondecken liegen im Bereich von 3 bis 6 m. Es lassen sich Ortbetondecken, Fertigteildecken sowie Decken mit Fertigteilplatten und statisch mitwirkendem Ortbeton unterscheiden. Vom Prinzip der Lastabtragung unterscheiden sich diese Systeme nicht. Die Unterschiede liegen in der Herstellung. Weitere Ausführungen hierzu finden sich in [9; S. 178 ff]. Die Anwendung dieses Tragsystems ist mit einem hohen Gewicht und einem hohen Herstellungsaufwand (betonieren in bestehenden Gebäuden) verbunden. Vor allem im Bereich der Revitalisierung von Gebäuden unter Nutzung bestehender Tragwerke ist diese Bauweise kritisch zu beurteilen. Der weitere Deckenaufbau mit Estrich und Schalldämmung etc. ist von den wesentlichen Anforderungen des Gebäudes abhängig. Hierauf wird auf Grund der vielfältigen Möglichkeiten der Deckenausbildung nicht eingegangen. Eine Betrachtung erfolgt in Kapitel 4.2.9.

4.2.2 Trägerdecken mit Verbund

Da Trägerdecken ohne Verbund einfach nur durch ein „Übereinanderlegen“ von Stahlbauteilen und Stahlbetonteilen entstehen und die Stahlträger mit den Stahlbetondecken schwer belastet werden, werden häufig Stahlverbundträger angewendet. Durch die aufgeschweißten Kopfbolzendübel entsteht eine Verbundwirkung zwischen Stahl und Stahlbeton. Somit bildet der schubfest mit dem Stahl verbundene Beton den Druckgurt der Gesamtkonstruktion, so dass Stahlprofilhöhe und somit Systemhöhe bei gleicher Stützweite und Belastung reduziert werden können. Vor allem durch den Einsatz hochfester Stähle können Querschnittsreduzierungen erreicht werden. Die hohe Steifigkeit gegenüber anderen Deckensystemen ist ein wesentlicher Effekt der Verbundbauweise. Genauere Ausführungen hierzu finden sich in Kapitel 4.2.7.

**Bild 3: Vergleich
Träger mit und ohne Verbund**

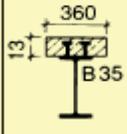
	Verbund- träger	Stahlträger allein, ohne Verbund	
			
	IPE 400	IPE 550	IPB 360
Tragfähigkeit	100 %	100 %	100 %
Steifigkeit	100 % (Langzeitlast)	100 %	65 %
Stahlträger- gewicht	100 %	160 %	210 %
Bauhöhe	100 %	128 %	92 %

Abbildung 4.32: Vergleich Deckenträger ohne Verbund und mit Verbund, aus [12]

Verbundträger werden sehr häufig als Einfeldträger ausgeführt, da eine Konstruktion als Durchlaufträger einen hohen Herstellungsaufwand nach sich zieht. Beim System Durchlaufträger erfährt die Betonzone im Bereich der Stützen eine Zugbeanspruchung und es ist eine Vorspannung notwendig, um in diesem Bereich die Verbundwirkung weiterhin anrechnen zu können. Bei der Anwendung von Verbunddeckenträgern sind Stützweiten von 6 bis 8 m zu realisieren. Die Betonplatte kann 10 bis 18 cm dick sein. Zur Ausführung kommen Ortbetondecken, Stahlbetonfertigteildecken, Fertigteileplatten mit statisch mitwirkenden Ortbeton sowie Stahlprofilbleche mit Aufbeton und Stahlprofilblechverbunddecken. Bei der Berechnung von Verbundträgern können sämtliche plastischen Querschnittsreserven ausgenutzt werden. Zur weiteren Betrachtung sei auf DIN 18800-5 [N4] und [12; Nr.10] verwiesen. Auf die hervorragenden brandschutztechnischen Eigenschaften soll an geeigneter Stelle eingegangen werden. Die zu beachtenden Randbedingungen bei der Herstellung der Verbundträger sind ähnlich wie bei Deckenträgern ohne Verbund. Abbildung 4.33 und Abbildung 4.34 zeigen mögliche Ausführungsformen von Verbundträgern.

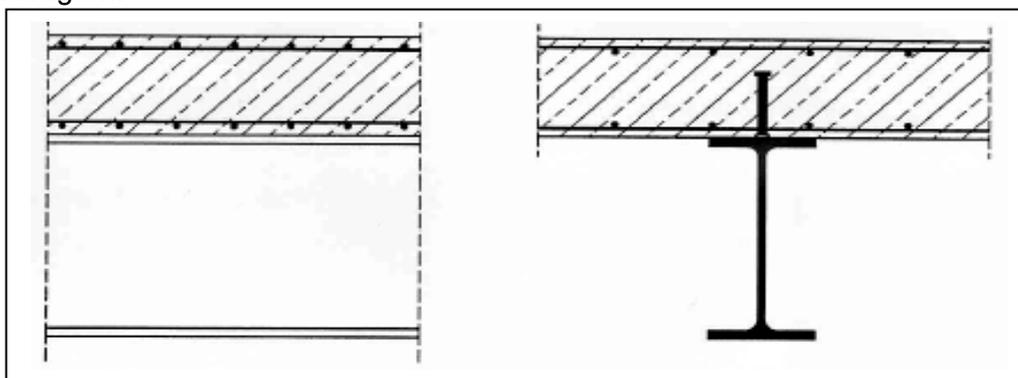


Abbildung 4.33: Stahlbetonverbunddecke, aus [9]

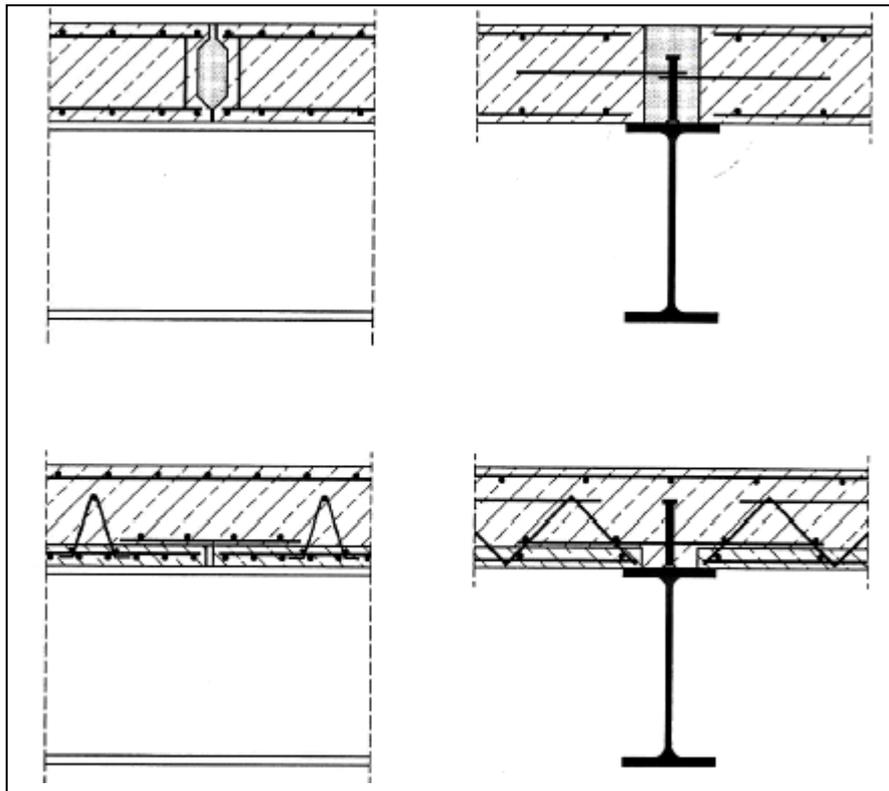


Abbildung 4.34: Stahlbetonverbunddecken, Ausführungsformen, aus [9]

4.2.3 Stahlblechverbunddecken

Diese Decken bestehen aus profilierten Blechen mit Aufbeton. Als Deckenplatte bei Verbundträgern wurden diese Decken bereits erwähnt. Da Stahlblechverbunddecken große Spannweiten ohne Unterzüge und Deckenträger überspannen können, sollen sie für die Konstruktionswahl beim Bauen im Bestand und der Revitalisierung von Gebäuden noch einmal herausgestellt werden. Spannweiten von bis zu 6 m bei einer tragenden Deckendicke von 10 bis 16 cm lassen dieses Deckensystem zu einer wichtigen Variante für den Einsatz in bestehenden Gebäuden werden. Abbildung 4.35 zeigt Möglichkeiten der Ausführung. Bei Stahlblechverbunddecken wird das Stahlblech als verlorene Schalung genutzt und es wirkt als Zugbewehrung für den Betonquerschnitt, so dass eine aufwendiges Verlegen von Betonstahl minimiert werden kann oder gegebenenfalls entfällt. Bei Stahlblechverbunddecken kann der Verbund über verschiedene Varianten realisiert werden. Es lassen sich mechanischer Verbund, Reibungsverbund und Verbund durch Endverankerung erzielen.

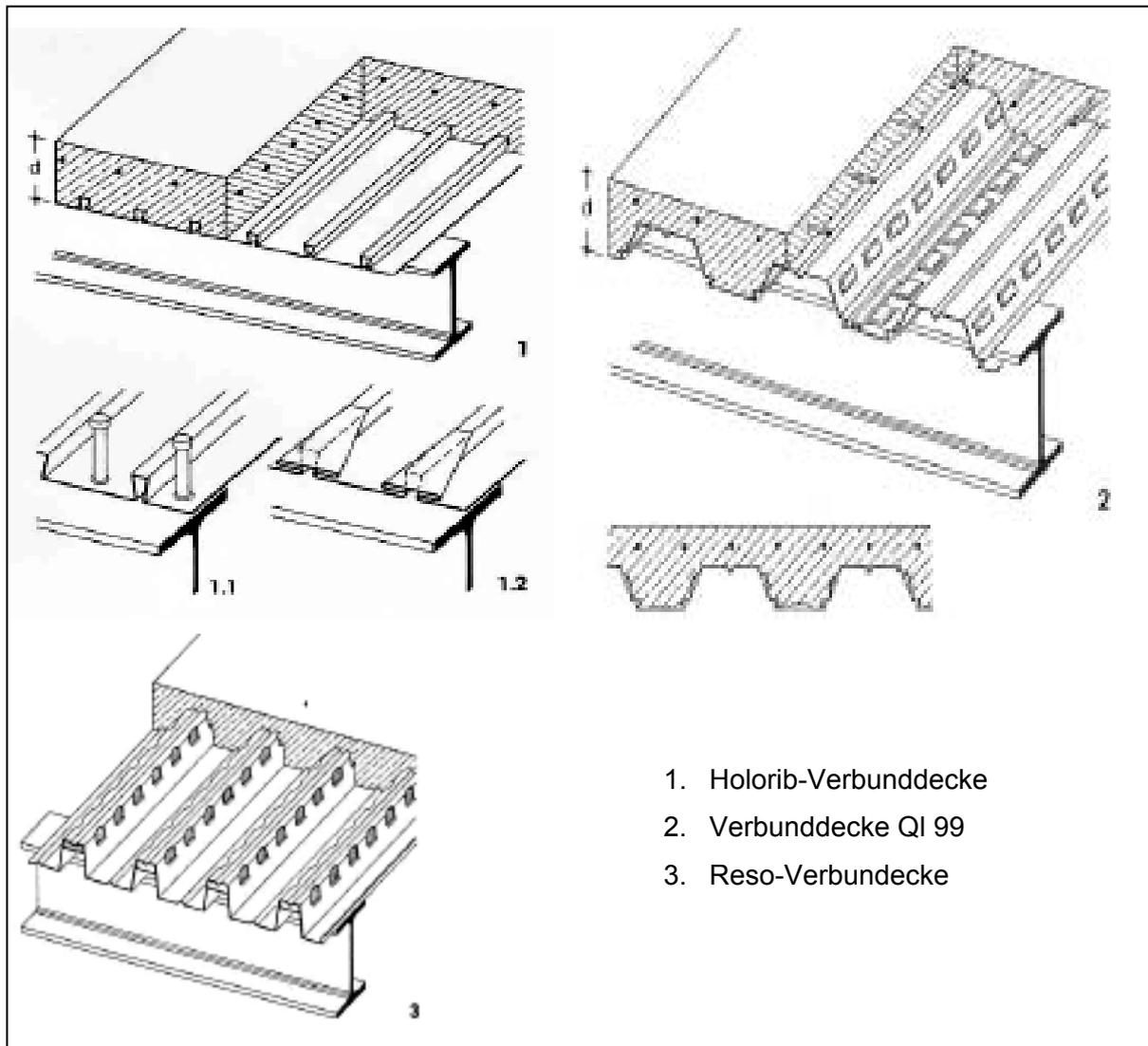


Abbildung 4.35: Stahlblechverbunddecken, Ausführungsformen, aus [5]

4.2.4 Flachdecken

Flachdecken besitzen im Gegensatz zu Trägerdecken eine geringe Bauhöhe von 20 bis 30 cm. Trägerdecken erreichen schnell 40 bis 50 cm Rohdeckenhöhe. Der Unterschied zu diesen Decken besteht darin, dass der Beton nun zwischen den Stahlprofilen liegt. Somit verringert sich auch die statische Höhe des Gesamtquerschnittes. Die einzelnen Stahlprofile müssen stärker ausgebildet werden. Der Stahl und auch der Beton nehmen hier jeweils Druck und Zugbeanspruchungen auf. Der Verbund wird hier über die Stege und Obergurte der Profile sowie waagrecht an die Stege angeschweißte Kopfbolzendübel erreicht. Vor allem unter dem Aspekt begrenzter Bauhöhen bei bestehender Bausubstanz sind diese Deckensysteme näher zu betrachten.

Es sind Spannweiten bis 9 m erreichbar. Auch im Bereich der Flachdecken lassen sich, wie bei den Trägerdecken, die Systeme mit Ortbeton und Fertigteile mit statisch mitwirkendem Ortbeton unterscheiden. Die Unterschiede und Anwendungsgrenzen beim Bauen im Bestand liegen auch hier bei den Montage- und Herstellungsbedingungen.[9; S. 182]

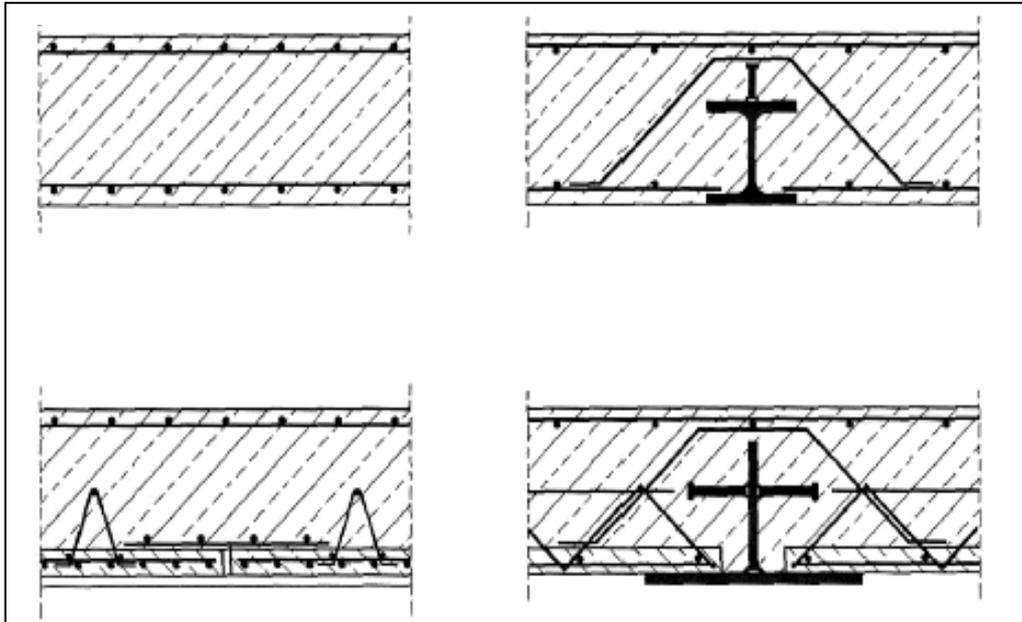


Abbildung 4.36: Stahlbetondecken als Flachdecken, Ausführungsformen, aus [9]

Im Bereich der Flachdecken ist ebenfalls die Möglichkeit gegeben Stahlblechverbunddecken zu realisieren. Die Bleche werden auf die breiten Untergurte von Schweißprofilen gelegt. Die Verbundwirkung wird hier durch ähnliche Systeme wie bei Trägerdecken mit Stahlverbundblech erzielt. Abbildung 4.37 verdeutlicht dies.

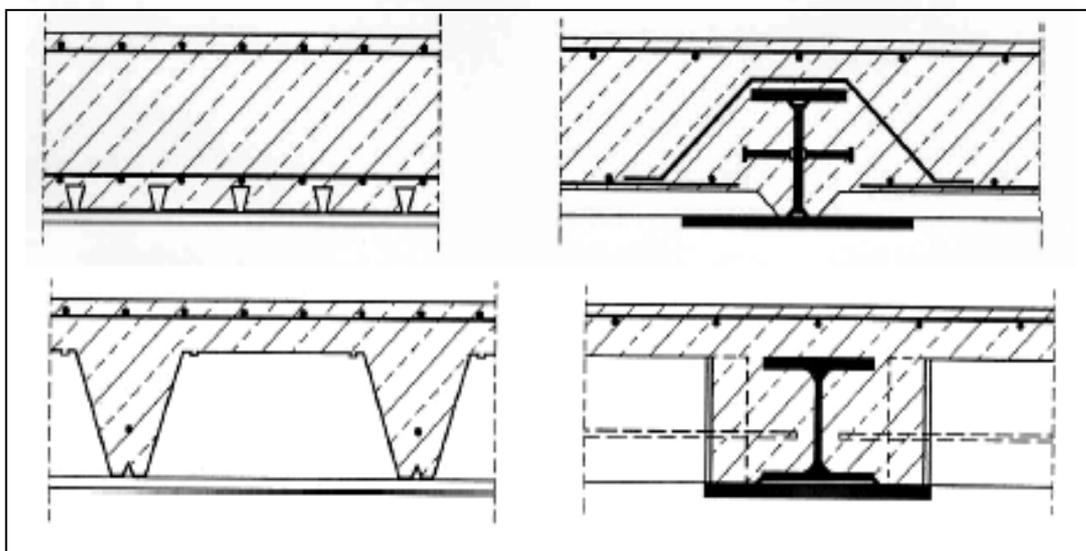


Abbildung 4.37: Stahlblechverbunddecke als Flachdecke, Ausführungsvarianten, aus [9]

Die allgemein sehr guten Brandschutzeigenschaften einer Verbunddecke können bei Flachdecken nur realisiert werden, wenn der Untergurt vor Brandeinwirkung durch z.B. Betonummantelung geschützt wird. Bei ungeschützter Ausführung sind zusätzliche Bewehrungsmaßnahmen nötig um die „Stahlbetondecke“ allein tragfähig zu machen. Auf weitere Anforderungen an den Brandschutz soll hier nicht eingegangen werden. Ein Überblick folgt im Kapitel 5 bei der Klassifizierung der Konstruktionsvarianten.

Bei Flachdecken ergeben sich auch Möglichkeiten **Leichtbeton** in Kombination mit tiefen Trapezprofilen einzusetzen. Zum Einen sind größere Spannweiten möglich als bei Normalbeton, zum Anderen lassen sich aber auch die Lasten die in das weiterführende Tragwerk eingeleitet werden um ein vielfaches reduzieren. Bei der Anwendung von Leichtbeton sind auf Grund des geringeren Eigengewichts auch die verwendeten Trapezbleche dünner und dementsprechend leicht, so dass sie von Hand verlegt werden können [Z6; S. A8]. Vorteile bei der Montage in bestehenden Gebäuden sind hierbei klar erkennbar. Durch das Walzen unsymmetrischer Profile mit breitem Unter- und schmalen Obergurt sowie den Einsatz spezieller Bleche wird dieses System unter dem Namen „Slimdek“ weiter optimiert. Für den Einsatz von Flachdecken bei der Revitalisierung von Bauwerken ist dieses System unter Beachtung verschiedenster Randbedingungen aufmerksam zu untersuchen.

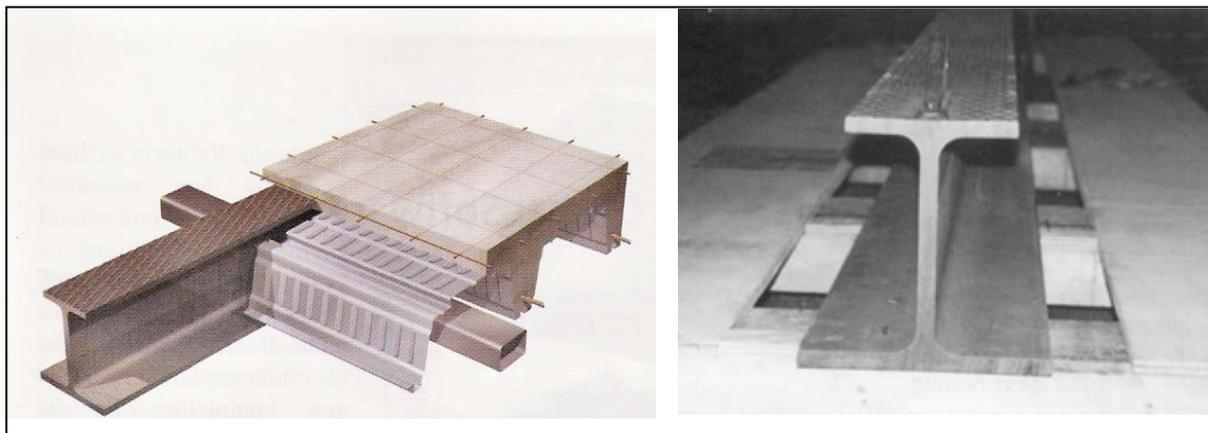


Abbildung 4.38: SLIMDEK Deckensystem, aus [Z4 S. A9] und Walzprofil, aus [I5]

Weitere Sonderanwendungen wie z.B. Additiv-Decken sollen hier nur erwähnt werden, da ihre Hauptanwendungsgebiete in anderen Bereichen des Geschossbaus liegen.

Zusammenfassung:

Die einzelnen Möglichkeiten Stahldecken in Verbindung mit Beton auszuführen wurden diskutiert. Der Einsatz dieser Systeme, ist vor allem im Bereich der Revitalisierung von Gebäuden angebracht, welche bereits einen ähnlichen Charakter wie die Deckensysteme haben. Beispiele sind z.B. alte Industriehallen in Stahl und Stahlbetonbauweise oder Geschossbauten, die zu neuen Wohnbauten umgenutzt werden sollen. Hier ist vor allem auch wegen der großen möglichen Spannweiten der Systeme eine Anwendung im wirtschaftlich und technologisch vertretbaren Rahmen möglich. Bei Gebäuden, die nicht dem Charakter entsprechen, und gegebenenfalls auch nicht solche Anforderungen an Spannweiten etc. haben, sind diese Deckensysteme weitaus kritischer zu betrachten und zu hinterfragen. Beispiele sind z.B. alte Scheunen oder innerstädtische Fabrikgebäude aus Mauerwerk, welche zur Wohnnutzung umgebaut werden. Für diese Gebäude sind oftmals andere Lösungen besser zu vertreten. Diese sollen nun im folgenden erarbeitet werden.

4.2.5 Stahlleichtbauweise

Für die Bearbeitung dieses Kapitels wurden die Dokumentationen D 560 [Z2] und 573 [Z3] vom Stahl-Informations-Zentrum genutzt.

Die Anwendung von Stahlleichtbauprofilen bei der Herstellung von Decken hat bei der Betrachtung der verschiedenen Aufgaben einer Decke entscheidende Vorteile im Vergleich zu Stahl-Verbunddecken:

- leichte Konstruktion mit hoher Tragfähigkeit
- hohe Systematisierung erlaubt einfache Bemessung über Tragfähigkeitstabellen
- geringe Gesamtdeckenhöhen von 15 bis 22 cm
- Beplankung hat raumbildende, tragende, stabilisierende und bauphysikalische Aufgaben
- keine zusätzlichen Unterdecken erforderlich
- gute Brandschutzeigenschaften ohne zusätzliche Maßnahmen (F30 bis F90)
- günstiges Transport- und Montageverhalten (schweres Hebezeug nicht erforderlich)
- trockene Bauweise

Wie in der Zusammenfassung in Kapitel 4.2.4 erwähnt, müssen die Eigenschaften der einzelnen Gebäude betrachtet werden, bevor entschieden wird, welches Deckensystem Anwendung findet. Die Betrachtung der Randbedingungen, die sich aus der statisch konstruktiven Beschaffenheit der einzelnen Tragwerksteile ergeben, lässt aber oft auf Grund

begrenzter Tragfähigkeiten und eines nicht optimalen Zustandes der bestehenden Substanz nur sehr leichte Konstruktionen zu.

Die Entwicklung eines Deckentragwerkes erfolgt über die einfache Verbindung der einzelnen Elemente. Eine Übersicht über die einzelnen Trägerquerschnitte, und deren Verbindungsmöglichkeiten und –mittel zeigen die Abbildung 4.4, Abbildung 4.19 und Abbildung 4.30. Der prinzipielle Aufbau einer Decke in Stahlleichtbauweise wird in folgenden Abbildungen dargestellt.

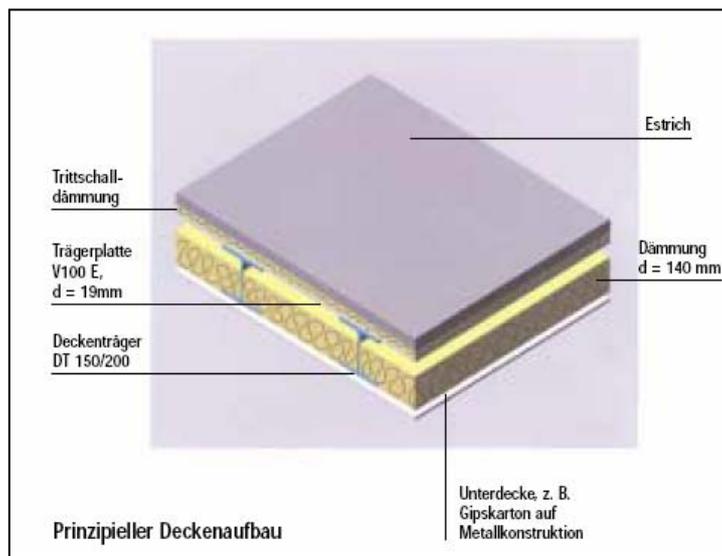


Abbildung 4.39: Prinzipieller Deckenaufbau Stahlleichtbauweise; Isometrie, aus [Z3]

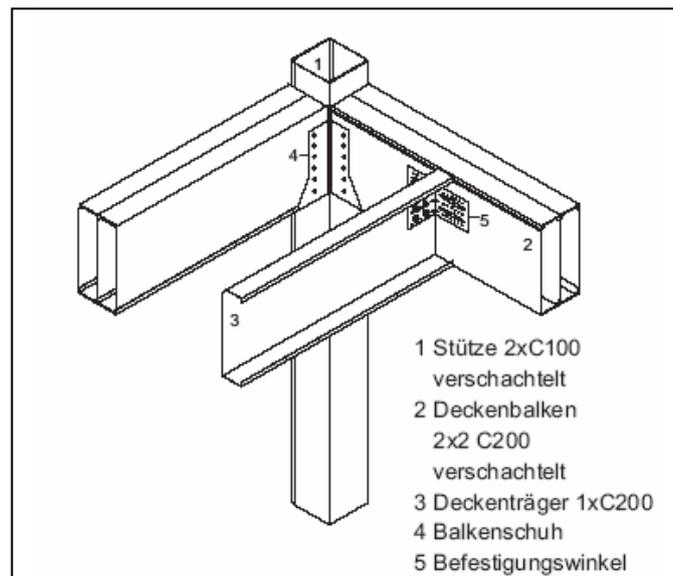


Abbildung 4.40: Verbindung der einzelnen Elemente zur Decke, aus [Z2]

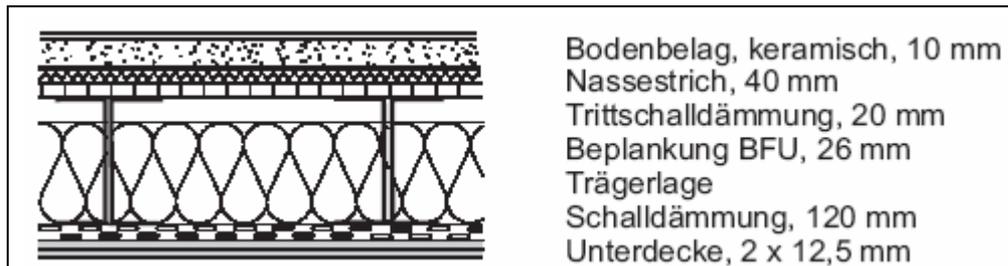


Abbildung 4.41: Möglicher Deckenaufbau, aus [Z2]

Beispiele aus der Praxis zeigen, dass auch eine Kombination der einzelnen Bauweisen bzw. eine Kombination einzelner Elemente mit unterschiedlichen Eigenschaften möglich ist. Die Anwendung dieser Mischformen, vor allem der Stahlleichtbauweise und Stahlbauweise, vereinen die wichtigsten Eigenschaften der jeweiligen Bauelemente. So werden z.B. die Leichtprofile als Deckenträger verwendet und ein I-Profil dient der Auflagerung weiterer Wandlasten aus den darüber liegenden Geschossen.



Abbildung 4.42: Kombination der einzelnen Elemente verschiedener Systeme, aus [Z5]

4.2.6 Trägerroste

Trägerroste bilden im Stahlbau die einzige Möglichkeit Tragwerke zu konstruieren, die ihre Lasten zweiachsig in die darunter liegenden Tragwerksteile abtragen. Da der Stahlbau eine gerichtete Bauweise ist, sind die Lastabtragungsrichtungen immer mit der Richtung der Unterzüge oder Deckenträger verbunden. Es werden also immer nur zwei gegenüberliegende Bauteile wie z.B. Wände oder Stützen zur Lastabtragung herangezogen. Besteht aber die Notwendigkeit die Lasten aus der Decke in zwei Richtungen abzutragen, müssen Systeme geschaffen werden, welche zweiachsig spannen. Die Ausführung zweiachsig spannender Stahlbetondecken ist Standard und wird im wesentlichen nur durch die Geometrie des Raumes eingeschränkt. Auch die Ausbildung eines Trägerrostes ist mit Stahlbeton sehr einfach möglich. In Stahlbauweise ist die Ausbildung eines solchen Trägerrostes allerdings mit einem sehr hohen Herstellungsaufwand verbunden. Die

Forderung bzw. die Haupteigenschaft eines Trägerrostes, dass alle Verbindungen biegesteif ausgeführt werden müssen, stellt große Herausforderungen an die konstruktive und technologische Ausführung. Diese Verbindungen sind in der Regel nur in der Werkstatt herzustellen. Dort ist die Herstellung solcher Verbindungen Standard [23; S. 91]. Beim Bauen im Bestand muss dann aber die Frage betrachtet werden, ob das fertige Element an den Ort gebracht werden kann, wo es eingesetzt werden soll und ob eine Montage im vorgefertigten Zustand möglich ist. Vor allem bei der Ausbildung von Galerien oder Decken in umgenutzten Gebäuden, wo auch der neue Charakter dargestellt werden soll, kann ein Trägerrost zum Einsatz kommen. Allerdings nur unter den Einschränkungen, die durch die gegebenen Randbedingungen auftreten. Die Tragwirkung eines Trägerrostes hängt im wesentlichen von seiner Geometrie und der Steifigkeit der einzelnen Träger je Richtung ab. Durch die Festlegung der einzelnen Parameter kann eine gezielte Tragwirkung in eine Richtung oder gleichmäßig in zwei Richtungen erzielt werden. Weitere Ausführungen finden sich in [23; S. 81 ff].

4.2.7 Stahl in Kombination mit Holz

Wie in Kapitel 4.2.6 schon erwähnt, sind Galerien häufige Anwendungen für Tragwerke aus Stahl. Die erarbeiteten Möglichkeiten für Decken stehen für Galerien genauso zur Verfügung. Es ist zu beachten, dass das System Deckenträger – Unterzug hier die wohl am meisten verwendete Tragwerksart ist.

Neben den erwähnten Formen von Trägerdecken stehen noch verschiedene Varianten zur Auswahl um Decken oder Galerien zu konstruieren. Vor allem Holz spielt hierbei eine wichtige Rolle. Aus Gründen der Gestaltung und Anpassung des neuen Tragwerks an den Bestand werden häufig Holztragwerke eingesetzt. Wegen dem hohen Eigengewicht und großen Konstruktionshöhen, ist der Einsatz von Holz aber nur begrenzt möglich. Hier bieten Stahl – Holzkombinationen eine wichtige Alternative. Der folgende Vergleich verdeutlicht dies.

Annahme: Einfeldträger unter Verkehrslast: 4kN/m; Stützweite 6,5m;

Ohne Beachtung des Eigengewichts $\rightarrow M_k = 21,13 \text{ kNm}$;

Holz: NHS10 C24 24/26 $f_{m,k} = 2,4 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$ [N6]; $\sigma_{zul.} = 0,5 \cdot 2,4 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$

Stahl: S 235, I-PE 220; $f_{yk} = 24 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$; $\sigma_{zul.} = 0,5 \cdot 24 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$

(die Werte für $\sigma_{zul.}$ wurden selbst gewählt)



Abbildung 4.44: Ersatz der Wände durch Stahlunterzüge, aus [Q1]

Stahlkonstruktionen in Verbindung mit Holz lassen sich auch bei reinem Stahltragwerk ausführen. Durch die Ausbildung von einem Stahltragwerk mit darauf liegender Holzschalung können sehr leichte Zwischendecken und Galerien entstehen. Hier ist zu beachten, dass sich die Abstände der Deckenträger und Unterzüge im Vergleich zu Konstruktionen mit Beton wesentlich verringern.

4.2.8 Einfluss der Steifigkeit auf Deckenkonstruktionen

In diesem Kapitel soll ein wichtiger Aspekt, der bei der Wahl einer bestimmten Konstruktion eine Rolle spielt, ausführlich behandelt werden. Die Steifigkeit eines Bauteils. Die Tragwerkselemente Träger und Decke haben eine gemeinsame Eigenschaft. Sie werden auf Biegung beansprucht. Aus diesem Grund und weil Träger im Stahlbau das Tragwerk für die einzelnen Decken bilden, werden diese beiden Tragwerkselemente hier zusammengefasst behandelt. Die Steifigkeit eines Bauteils hat entscheidende Auswirkungen auf die Verformungen die es infolge einer Belastung erfährt. Bei Biegeträgern ist die Biegesteifigkeit die entscheidende Größe. Sie ist definiert mit dem Produkt aus E-Modul und dem Trägheitsmoment I . In der Regel werden Bauteile auf Biegung um die y -Achse beansprucht und somit ist die Biegesteifigkeit $E \cdot I_y$ maßgebende Kenngröße. Für den Hochbau gelten je nach Bauweise maximal zulässige Durchbiegungen von $1/300$ bis $1/500$.

Beispiel [15; S. 628 ff]:

Bei einem mit Gleichstreckenlast belasteten Einfeldträger mit konstanter Trägerhöhe ergibt sich die Verformung nach der Formel:

$$\text{vorh.f} = \frac{5}{384} * \frac{ql^4}{EI}$$

Für den selben Träger mit veränderlicher Höhe zu den Auflagern hin ergibt sich die Durchbiegung nach:

$$\text{vorh.f} = 1.1 * \frac{5}{384} * \frac{ql^4}{EI}$$

Der Faktor für die vorhandenen Verformungen scheint nicht sehr hoch, allerdings kann er schon entscheidend für die Auswahl eines Trägerprofils sein. Oftmals werden die zulässigen Durchbiegungen in den Vertragsunterlagen zum Bau festgelegt. Eine Überschreitung der vorgegebenen Werte hat meist negative Folgen für den Verantwortlichen. Unter diesem Gesichtspunkt sollte man die Konstruktionswahl auch kritisch betrachten.

Bei der Auswahl der Deckenkonstruktion spielt die Steifigkeit ebenfalls eine wesentliche Rolle. Verschiedene Decken, die gleiche Tragfähigkeiten besitzen, haben trotzdem wesentliche Unterschiede in ihrer Steifigkeit und somit in ihren Eigenschaften in Bereich der Durchbiegungen. So haben Decken in Stahlleichtbauweise eine sehr hohe Tragfähigkeit, sind aber nicht so steif wie eine vergleichbar tragfähige Stahlbetonkonstruktion oder eine Stahlverbundvariante. So können in einzelnen Fällen auch Schwingungsnachweise für Stahlleichtbaudecken zur Einhaltung des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit erforderlich sein [Z2; S. 17].

Im Vergleich zweier Stahlträger gleicher Tragfähigkeit besitzt der höhere Träger aber eine größere Steifigkeit. [17; S. 277] Somit können auch die zulässigen Verformungen entscheidend für die Profilwahl, aber auch für die Bauteilhöhe sein. Tabelle 4.8 soll dies verdeutlichen.

IPE-Profil			HEA-Profil		
Trägerhöhe	W _y	I _y	Trägerhöhe	W _y	I _y
330	713	11700	240	675	7760
450	1500	33740	320	1480	22930

Tabelle 4.8: Vergleich der Trägerhöhen bei gleicher Tragfähigkeit

Wie bereits erwähnt, besitzen Stahlverbundkonstruktionen sehr hohe Steifigkeiten. Durch die Verbundwirkung verlagert sich die Nulllinie nach oben, da Beton ein wesentlich steiferes und Verformungsunwilligeres Material ist als Stahl. Bei gleicher Stahlspannung im Untergurt ergeben sich nun wesentlich geringere Spannungen im Obergurt und im Beton. Krümmung

des Querschnitts und Gesamtverformung werden verringert. [5; S. 277] Einen Vergleich zwischen Verbundquerschnitt und reinem Stahlquerschnitt zeigt Abbildung 4.45.

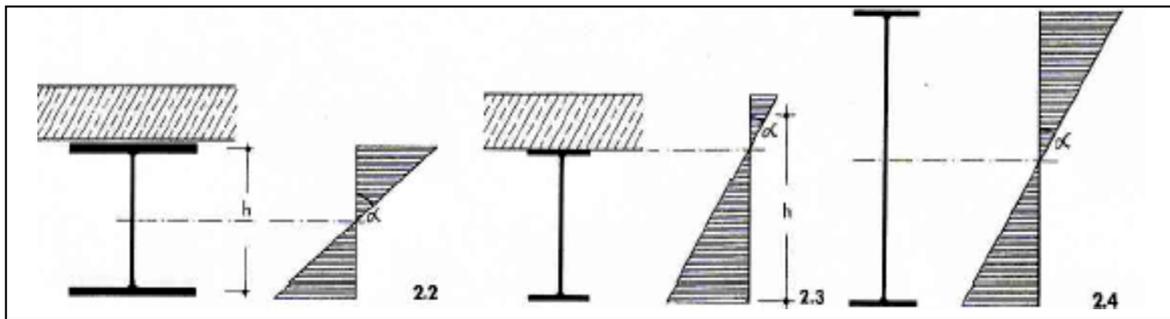


Abbildung 4.45: Vergleich der Steifigkeiten Verbundträger, Stahlträger, aus [5]

Die Steifigkeitseigenschaften einer Verbunddecke lassen sich durch die Wahl des Verbundmittels, bzw. durch deren Anzahl beeinflussen. So besteht die Möglichkeit, die Steifigkeit einer Decke mit Verbundträgern den Anforderungen anzupassen die sich aus darunter liegenden Konstruktionen, speziell deren Steifigkeit, ergeben. Eine Variation des Verdübelungsgrades zwischen 40 und 100% ist möglich. So kann der wirtschaftlichste Verdübelungsgrad gewählt werden, wodurch sich die Herstellungskosten verringern.

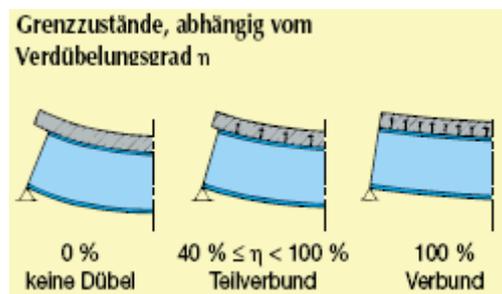


Abbildung 4.46: Einfluss der Verdübelung auf die Steifigkeit eines Verbundträgers, aus [12]

Ein weiterer Punkt, wo die Frage der Steifigkeit eine Rolle spielt, sind die Träger- oder Deckenaufleger. Bei der Lagerung eines Trägers auf einer Mauerwerks- oder Betonwand oder einer Stütze können andere Lagerungsbedingungen angenommen werden als bei der Lagerung in der Mitte eines Unterzugs ohne Unterstützung. Durch die Einwirkung die sich beispielsweise aus einem aufliegenden Deckenträger ergeben verformt sich der Unterzug. Es entsteht ein Lager mit einer Wegfeder. Einen Überblick über die Berechnung dieser Auflagerkraft und den Einfluss soll Abbildung 4.47 geben.

Es wird deutlich, dass auch die Lagerungsbedingungen stark Einfluss auf vorhandene Verformungen haben bzw., dass die Vorgabe zulässiger Verformungen manche Konstruktionen ausschließt, oder zum Beispiel im Falle des erwähnten Unterzuges zusätzliche Stützen notwendig macht.

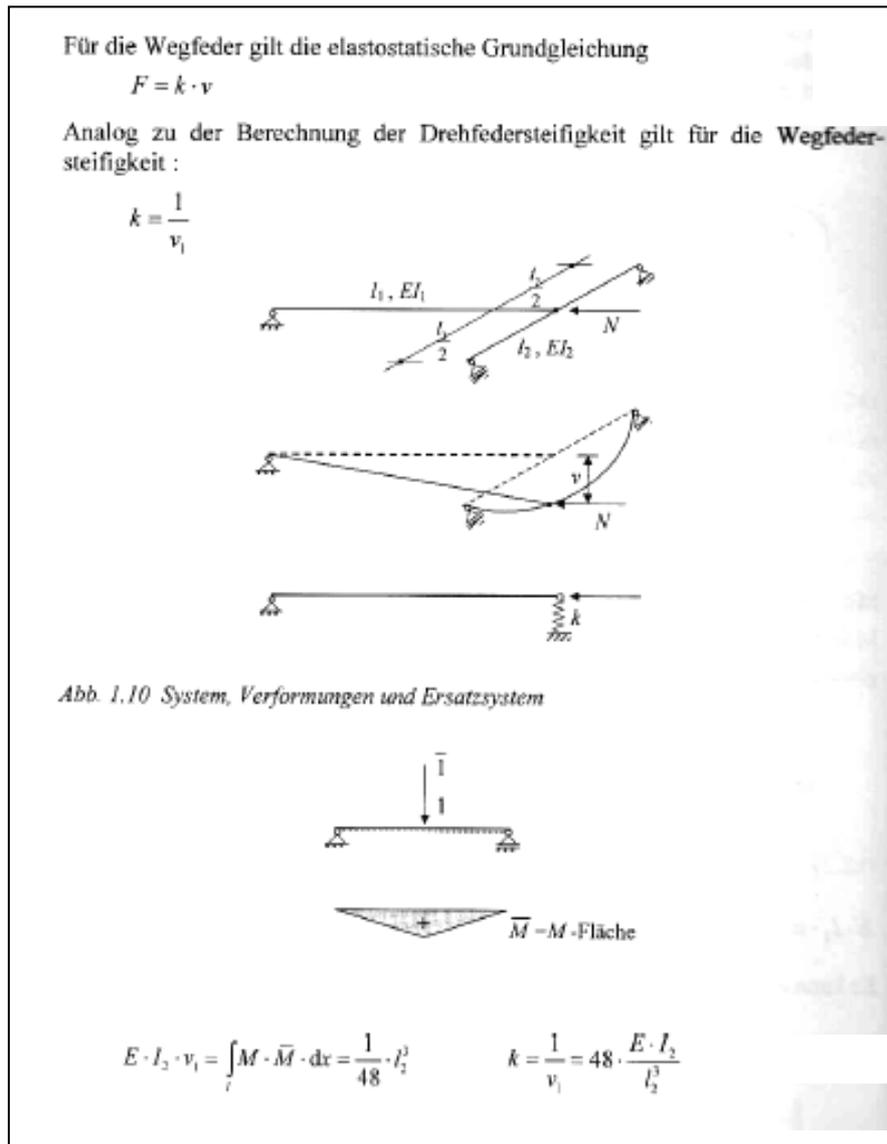


Abbildung 4.47: Überblick über die Ansätze bei Auflagerung auf Unterzügen, aus [24]

Eine typische Anwendung von Stahl beim Bauen im Bestand ist der Ersatz von Wänden durch Unterzüge. Auch in diesem Bereich ist der Aspekt der Steifigkeit aufzugreifen. Es müssen immer Gedanken auftreten, die die gewählte Konstruktion kritisch hinterfragen.

- Wie ändert sich die Steifigkeit des Tragwerks durch den Austausch der Bauteile?
- Ergeben sich unzulässige Verformungen?
- Gibt es Einflüsse auf die Tragfähigkeit ?
- Gibt es Nutzungseinschränkungen durch zu große Verformungen?
- Gibt es Risse oder Fugen und Verkantungen in darüber liegenden Bauteilen?

Es muss beachtet werden, dass bei der Integration eines Tragwerks in bestehende Bausubstanz eine hohe Steifigkeit des neuen Tragwerks unter Beachtung der Steifigkeit und

Verformungsfähigkeit des bestehenden Tragwerks nicht immer von Vorteil ist. Wird beispielsweise eine zu steife Deckenkonstruktion auf eine bestehende Mauerwerkswand aufgelagert, welche unter horizontalem Lastangriff „größere“ Verformungen zulässt als die kraftschlüssig verbundene Decke, entstehen Zwängungen und Bauschäden. Durch die gezielte Untersuchung dieser Aspekte und das Betrachten der gegebenen Randbedingungen kann dies vermieden werden.

4.2.9 Bauphysikalische Betrachtungen

Bei der Betrachtung bauphysikalischer Zusammenhänge stellt sich bei Decken ein sehr breites Bearbeitungsfeld heraus. Es soll hier nicht auf die Prinzipien des Wärme-, Schall- und Brandschutzes eingegangen werden. Vielmehr soll unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen ein Vergleich zwischen den verschiedenen betrachteten Deckensystemen erarbeitet werden. Bei Decken ist der Schallschutz als wesentliches Betrachtungskriterium herauszustellen. Unabhängig von der Konstruktionsvariante sind Forderungen an den Luft- und Trittschallschutz einzuhalten. Unterschiedliche Realisierungsmöglichkeiten bei den verschiedenen Konstruktionsvarianten geben, vor allem beim Bauen im Bestand, die Einsatzbedingungen für einen bestimmten Deckentyp vor. Es soll zwischen Decken in Stahlleichtbauweise und Decken in Verbindung mit Beton (Trägerdecken, Verbunddecken) unterschieden werden. Es ist bereits herausgestellt worden, dass sich die verschiedenen Konstruktionen, vor allem durch ihr Eigengewicht, aber auch Bauteilhöhen unterscheiden.

Bei **Träger- und Verbunddecken** sind zusätzlich auf die bestehenden Tragelemente Stahl und Beton, weitere Aufbauten zum Schall- aber auch Wärmeschutz notwendig. So werden mit stärkeren bauphysikalischen Anforderungen auch die Deckensysteme immer komplexer. In Abbildung 4.48 und Abbildung 4.49 soll dies verdeutlicht werden.

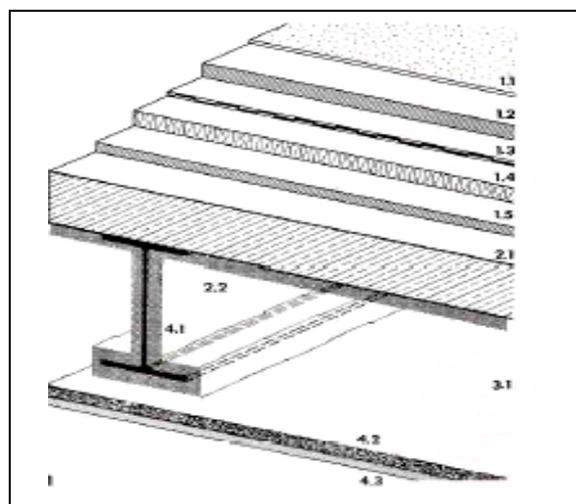


Abbildung 4.48: Prinzipieller Deckenaufbau, Trägerdecke, aus [5]

		Lastabtragen	Schallschutz	Brandschutz	Wärme- dämmung	Feuchtigkeitschutz Kondensatschutz	Installationen	Optischer Abschluß
1 Fußboden	1.1 Bodenbelag							
	1.2 Estrich							
	1.3 Isolierung							
	1.4 Dämmung							
	1.5 Ausgleichsstrich							
2 Decken- tragwerk	2.1 Deckenplatte							
	2.2 Deckenträger							
3 Zwischen- decken- bereich	3.1 Luftraum							
4 Unter- decke	4.1 Verkleidung der Deckenplatte und/oder Träger							
	4.2 Auflage auf Unterdecke							
	4.3 Abgehängte Unterdecke							

Abbildung 4.49: Funktion der einzelnen Deckenbestandteile, aus [5]

Stahlträger- und Stahlverbundecken sind durch folgende schallschutztechnischen Kenngrößen gekennzeichnet; aus [5]:

- hohes Luftschalldämmmaß des Betons auf Grund des hohen Eigengewichts
- Notwendigkeit des Trittschallschutzes → Entkopplung einzelner Elemente (Unterdecken)
- Aufbringen weiterer Schichten für ausreichenden Trittschallschutz
- Unterbrechungen von Schallnebenwegen sind erforderlich um ausreichenden Trittschallschutz zu gewährleisten → aufwendige Auflager

Daraus ergeben sich nun folgende Wirkungen auf das bestehende Gebäude und sein Tragwerk:

- weitere Erhöhung des Eigengewichts
- Belastungen für das bestehende Tragwerk werden größer → Anwendungsgrenzen werden gegebenenfalls überschritten
- Höhe der einzelnen Deckensysteme erhöht sich im Vergleich zur Höhe des reinen Tragwerks
- hohe Anforderungen an konstruktive Ausführung in Detailpunkten
- Möglichkeiten der Ausbildung von Detailpunkten sind durch bestehendes Tragwerk und bestimmte Zwangspunkte eingeschränkt (Nutzung bestehender Wände)

Detaillierte Ausführungen zum Schallschutz bei Decken sind in [5; S. 260 ff] zu finden.

Bei der Anwendung von **Decken in Stahlleichtbauweise** gibt es eine Vielzahl systematisierter Deckentypen, welche den entsprechenden Anforderungen an den Luft- und Trittschallschutz entsprechen. Prinzipiell lässt sich im Vergleich zu Decken in Verbindung mit Beton sagen, dass der Schallschutz bei Decken in Stahlleichtbauweise nicht über die Masse

der Deckenelemente erreicht wird, sondern über eine konsequente Zweischaligkeit der Konstruktionen und Entkopplungen einzelner Bauteile. Abbildung 4.50 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Decke in Stahlleichtbauweise und Variationsparameter zur Anpassung des Deckenaufbaus an gegebene Schallschutzanforderungen.

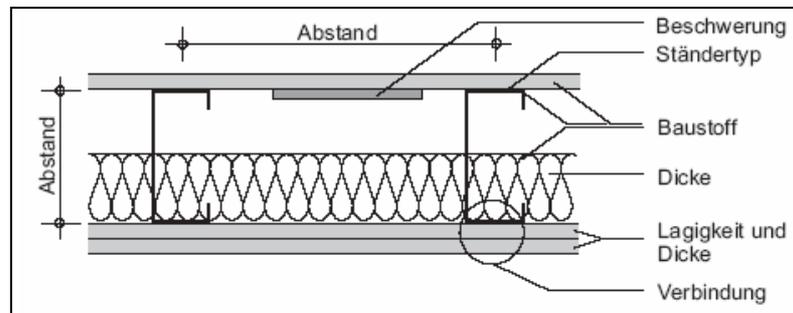


Abbildung 4.50: Schallschutz; Variationsmöglichkeiten beim Deckenaufbau, aus [Z2]

Ein wesentliches Merkmal von Stahlleichtkonstruktionen ist die Komplexität der einzelnen Deckenelemente. Eine klare Trennung zwischen Tragwerks-, Raumtrennungs- und bauphysikalischen Aufgaben ist nur schwer durchzuführen. Dadurch ergeben sich folgende Eigenschaften einer Decke in Stahlleichtbauweise; aus [Z2]:

- Systemaufbau und -eigenschaften hängen von Schallschutzanforderungen ab
- ein Deckenelement übernimmt parallel verschiedene Aufgaben
- hohe Anforderungen an Trittschallschutz erfordern sehr komplexe Systeme
- Luftschallschutz ist mit einfachen Systemen zu realisieren und mit Einhaltung der Anforderungen an den Trittschallschutz in der Regel gewährleistet
- Entkopplungen sind in fast allen Bauteilbereichen notwendig
- Deckenaufbau wirkt sich auf Biegeweichheit und Gewicht der Konstruktion aus

Aus diesen Eigenschaften ergeben sich Rückschlüsse über die Auswirkung auf das bestehende Bauwerk und dessen Tragwerk.

- Anforderungen an den Schallschutz können zur Erhöhung des geringen Eigengewichts führen
- somit werden die Beanspruchungen des bestehenden Tragwerks erhöht
- bereits bei Planung müssen Schallschutzanforderungen eingearbeitet werden
- Konstruktionshöhe der Decke ist wesentlich abhängig von Schallschutzanforderungen

- aufwendige, aber systematisierte Ausführung von Anschlussdetails ist Grundlage für Einhaltung der Schallschutzanforderungen → ← Möglichkeiten der Ausführung dieser typisierten Anschlüsse bei bestehenden Gebäuden!

Abbildung 4.51 macht den Unterschied im Deckenaufbau in Abhängigkeit von den Schallschutzanforderungen deutlich.

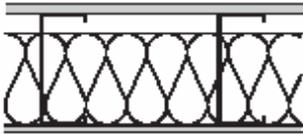
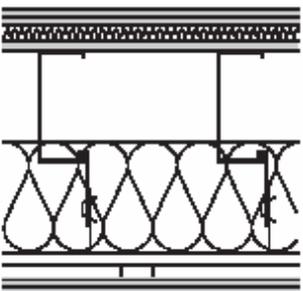
Bauteilaufbau		Schall- dämmmaß $R_{w,R}$	Trittschall- pegel $L_{n,w,R}$
	Zementgebundene Faserplatte 22 mm Deckenträger 200 mm Dämmstoff Mineralfaser 160 mm GKB 12,5 mm	38 dB*	73 dB*
	Trockenunterboden GF 2x12,5 mm Trittschalldämmung 20 mm Zementgebundene Faserplatte 22 mm Deckenträger 200 mm Dämmstoff Mineralfaser 160 mm Abhängung Grund- und Trag-CD-Profil 2x25 mm GKB 2x12,5 mm	53 dB*	52 dB*

Abbildung 4.51: Vergleich Deckenaufbau und Schallschutzeigenschaften, aus [Z2]

Eine Übersicht und ausführliche Betrachtung der einzelnen Schallschutzprobleme sowie weitere bauphysikalische Untersuchungen sind in [Z2] nachzuvollziehen.

Die Bearbeitung von Problemen des Wärmeschutzes wird in Kapitel 4.4 erfolgen. Weitere Betrachtungen sollen hier nicht geschehen. Die Aspekte des Brandschutzes werden ebenfalls in [Z2] herausgestellt und sollen hier nur im Kapitel 5 im Rahmen der Klassifikation unter Zuhilfenahme der Brandschutzklassen bearbeitet werden.

4.3 Stützen

Die Anwendung von Stahlstützen beim Bauen im Bestand kann im wesentlichen aus zwei Gründen notwendig sein: Zum Einen zur Ausbildung eines neuen Tragwerks, welches seine Lasten möglichst unabhängig vom Tragwerk des Bestandes abträgt, zum Anderen um bestehende Konstruktionen zu unterstützen. Durch die Kombination von Stützen und Trägern ist die **Ausbildung von Rahmen** möglich. Dies geschieht im wesentlichen, unter Beachtung von Lasteinleitungsproblemen, über biegesteife Anschlüsse und Verbindungen wie sie in Kapitel 4.1.4.1 und 4.1.4.2 dargestellt wurden. Eine Einteilung der Stützen kann in Stahlstützen und Stahlverbundstützen vorgenommen werden. In dieser Arbeit soll der Schwerpunkt auf den Stahlstützen liegen, da bei der Revitalisierung von Gebäuden selten Verbundstützen eingesetzt werden. Sie besitzen ein wesentlich größeres Eigengewicht als Stahlstützen und werden nur bei sehr großen Lasteinwirkungen eingesetzt. Auch bei extrem hohen Brandschutzanforderungen bilden Verbundstützen eine Alternative zur reinen Stahlbauweise.

4.3.1 Allgemeines, Modellbildung

Stützen sind Tragwerkselemente, welche vorwiegend auf Druck beansprucht werden. Daraus ergeben sich Stabilitätsprobleme. Bei Stützen handelt es sich vorwiegend um das Knicken. Biegedrillknicken ist vor allem bei Rahmenstützen zu beachten. Für die Ausführung beim Bauen im Bestand sind auf Grund der Herstellungskriterien gelenkig gelagerte Stützen die am häufigsten angewandte Form der Ausführung. Hier ist es wichtig, die Lasten zentrisch bzw. ohne große Ausmitte in die Stützen einzuleiten. Anschlüsse an den Steg der Stütze oder Auflagerungen auf dem Stützenkopf eignen sich hierzu besonders gut. Bei exzentrischen Anschlüssen von Trägern an Stützen entstehen durch die Ausmitte der Vertikalkraft kleine Momente in der Stütze. Diese wirken sich auf die Tragfähigkeit und die Stabilität der Stütze aus. Bei der Nutzung der Stützen als Rahmenstütze werden planmäßig große Momente in die Stütze eingeleitet. Hier treten große Eckmomente auf, welche durch biegesteife Schraub- oder Schweißverbindungen aufgenommen werden.

Die Aussteifung und Verankerung von Tragsystemen mit Pendelstützen soll im Kapitel 4.5 Aussteifungssysteme und Verankerungen, betrachtet werden.

Wesentliche Kriterien zur Beschreibung und Einordnung von Stützen sind die Knicklänge und die Schlankheit. Der Einfluss der Lagerung auf diese Größen und die Anwendung der EULER-Fälle soll hier erwähnt werden. Zur Ermittlung der Schlankheit und der Lagerungsbedingungen zur Modellbildung siehe [19; S. 8.35 ff].

4.3.2 Profilwahl

Die Wahl des Stützenquerschnitts und somit die Wahl des zu verwendenden Stahlprofils hängt von der Belastung des Bauteils und dem statischen System ab. Prinzipiell werden im Stahlhochbau, speziell im Wohnungsbau, einteilige Stützenquerschnitte verwendet. Die Herstellung zweiteiliger Querschnitte ist im Vergleich zu den Anforderungen an die Stützen zu aufwändig. Ausgehend von zentrischer Belastung ohne Biegemomentenwirkung kann folgende Festlegung getroffen werden: [10; S. 221]

Bei unterschiedlichen Knicklängen in den beiden Knickrichtungen x und y sind I-PE Profile vorzugsweise zu verwenden. Bei gleichen Knicklängen in x - und y -Richtung sind breite I-Profile wie HEA- und HEB- Profile zu bevorzugen. Bei diesen Querschnittsformen handelt es sich um „**offene Querschnitte**“ [10; S.221]. Weitere Ausführungsmöglichkeiten und Kombinationsmöglichkeiten der Walzprofile mit einzelnen Blechen zeigt folgende Abbildung.

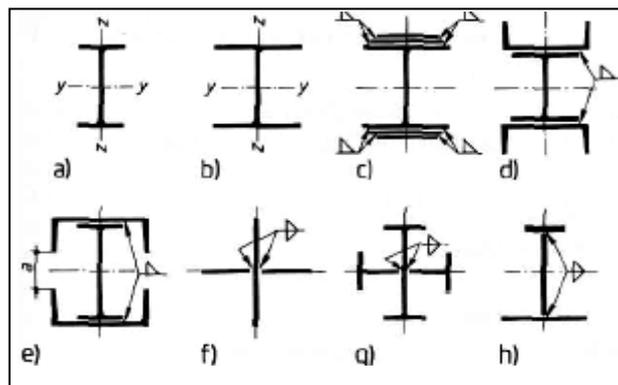


Abbildung 4.52: offene Querschnitte, Ausführungsformen, aus [10]

Eine wichtige und oft angewandte Alternative zu offenen Querschnitten sind „**geschlossene Querschnitte**“ [10; S. 222]. Vor allem bei gleichen Knicklängen in x - und y -Richtung sind diese Profile sehr wirtschaftlich einsetzbar. Sie besitzen je nach Querschnittsform gleiche Steifigkeitseigenschaften in jede bzw. in x - und y -Richtung. Durch ihre Form erfüllen sie zusätzlich hohe Anforderungen an die Ästhetik der Konstruktion. Unter dem Aspekt des Anschlusses von Trägern an die geschlossenen Querschnitte sind diese allerdings kritisch zu betrachten. Hier ist die Herstellung der Verbindungen im Vergleich zu offenen Querschnitten aufwendiger und teurer. Abbildung 4.53 zeigt Ausführungsformen.

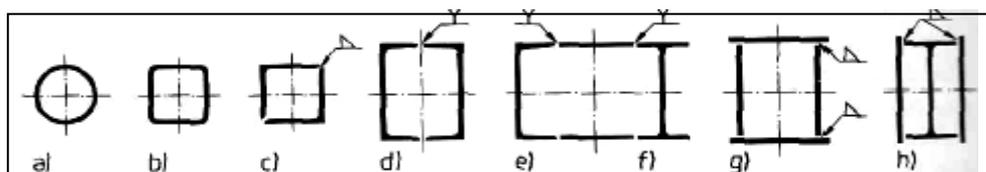


Abbildung 4.53: geschlossener Querschnitt, Ausführungsformen, aus [10]

4.3.3 Lasteinleitung, Ausbildung des Stützenkopfes

Es lassen sich zwei wesentliche Arten der Lasteinleitung in eine Stütze unterscheiden. Zum Einen die Einleitung über eine Kopfplatte und die Auflagerung eines Trägers auf dem Stützenkopf, zum Anderen den Anschluss eines oder mehrerer Träger über die einzelnen in Kapitel 4.1.4 erarbeiteten Verbindungen.

Ausführungsformen zur Lasteinleitung über die Kopfplatte am Stützenkopf zeigt Abbildung 4.54. Vor allem bei der Ausführung von Durchlaufträgersystemen ist diese Art der Auflagerung zu bevorzugen, da kein großer konstruktiver Aufwand zur Herstellung der Durchlaufwirkung notwendig ist. Bei der Einleitung von Lasten über die Kopfplatte sind gegebenenfalls Aussteifungen nötig. Auf die Ausrichtung des Steges der Stütze und des Steges des Unterzuges ist ebenfalls zu achten. Diese sollten nach Möglichkeit parallel zueinander verlaufen. Bei nicht paralleler Ausführung entstehen sehr große Druckspannungen, da die Lasteinleitungslängen sehr klein sind.

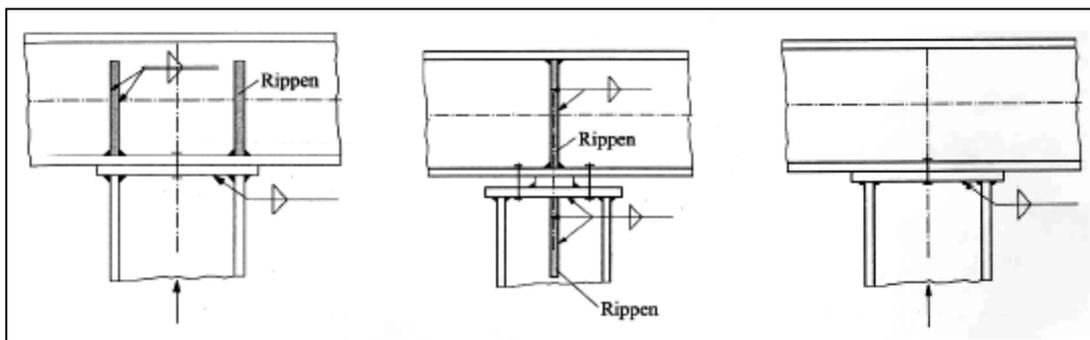


Abbildung 4.54: Stützenkopf, Ausführungsformen, aus [25]

Anschlüsse, welche mit Querkraftverbindungen hergestellt werden, rufen in der Stütze keine bzw. nur sehr kleine Momente hervor. In Abhängigkeit der Ausmitte ergeben sich bei gleichen Vertikallasten verschiedene Anforderungen an den Stützenquerschnitt. Bei Anschlüssen mit einer Ausmitte sind die zusätzlichen Momentenbeanspruchungen des Querschnitts zu betrachten. Hier ergeben sich Biegeknick- und Biegedrillknickeinflüsse. Die Querschnitte sind entsprechend größer und torsionssteifer zu wählen. Abbildung 4.55 zeigt Ausführungsvarianten zu Anschlüssen mit einer Lastausmitte.

Wird eine Stütze als Rahmenstütze ausgebildet, so ergeben sich wesentlich größere Momente. Dieser Aspekt ist bei der Querschnittswahl zu betrachten. Eine ausführliche Behandlung von Rahmenstützen soll im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen, da sich Rahmenkonstruktionen aus den verschiedenen betrachteten Punkten ableiten lassen. Ausführungsformen von Rahmenecken finden sich in [25; S. 207 f].

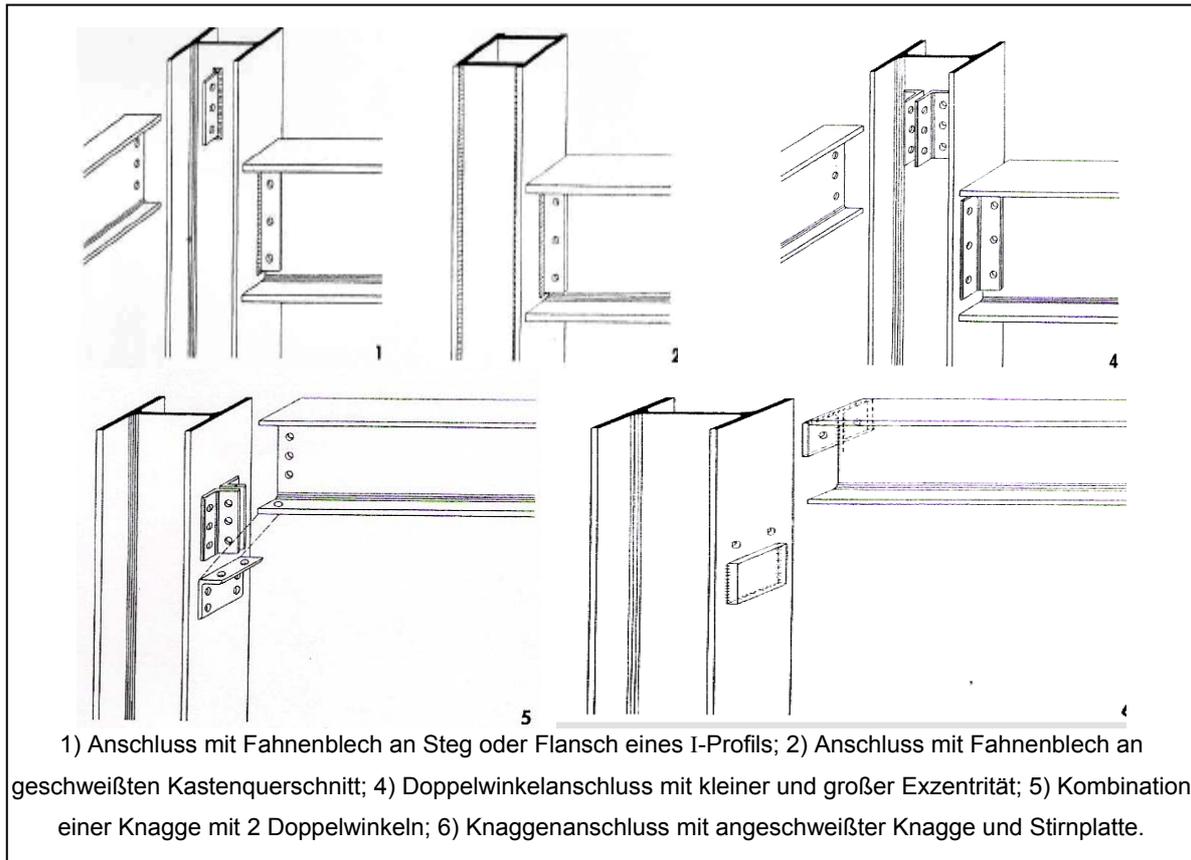


Abbildung 4.55: Lasteinleitung in eine Stütze, Ausführungsformen, aus [5]

Es wurde bereits erwähnt, dass sich die Lasteinleitung und der Anschluss von Trägern bei geschlossenen Trägern schwieriger gestaltet als bei offenen Stützenquerschnitten. Bei geschlossenen Querschnitten ist die Ausbildung von Durchbindelaschen erforderlich, um eine Lasteinleitung zu gewährleisten. Die Herstellung ist mit einem hohen technologischen Aufwand und somit mit hohen Kosten verbunden.

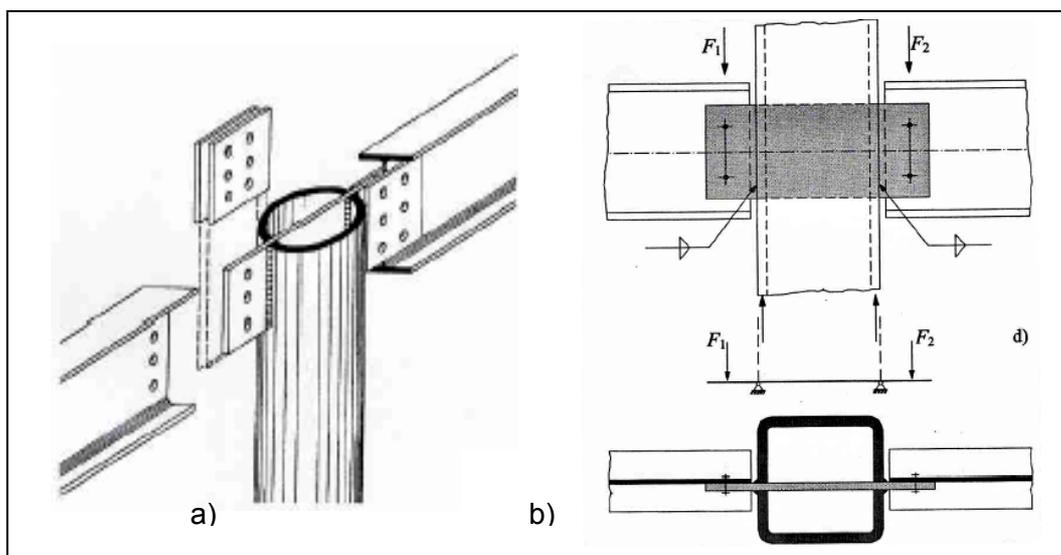


Abbildung 4.56: Anschlüsse an geschlossene Profile, a) aus [5]; b) aus [25]

4.3.4 Ausbildung des Stützenfußes

Die Ausbildung des Stützenfußes hängt von der Beanspruchung der Stütze ab. Die Ausbildung gelenkiger Stützenfüße soll hier näher betrachtet werden. Bei der konstruktiven Durchbildung sind die gleichen Kriterien wie bei der Auflagerung von Stahlträgern auf Massivbauteile zu betrachten (Lasteinleitung, Mörtelfuge etc.), Vergleich hierzu: Kapitel 4.1.3. Bei Stützenfüßen ist immer eine Lasteinleitungsplatte notwendig, um die Lasten aus den schmalen Stegen und Gurten zu verteilen. Bei der Ausbildung von Stützenfüßen ist zu untersuchen, ob am Stützenfuß Horizontalkräfte aufzunehmen sind. Die Ausführung von Schubdübeln in Form von angeschweißten I-Profilen ist gegebenenfalls notwendig. Bei der Anwendung der Stützen beim Bauen im Bestand sind sehr selten Zugbeanspruchungen und abhebende Kräfte zu erwarten. Verankerungen der Stützenfüße in das Fundament sind in der Regel nicht erforderlich. Somit ist die Ausführung von zwei Bolzen zur Lagesicherung am Stützenfuß ausreichend. Sind trotzdem abhebende Beanspruchungen zu erwarten, sind zusätzliche Maßnahmen notwendig. Hierzu siehe [25; S. 267 ff].

In der Regel werden die Stützenfüße so ausgebildet, dass im Inneren von Gebäuden die Fußplatte und die Anker unter dem Fußboden verschwinden. Bei der Herstellung der Stützenfüße im Bereich bestehender Konstruktionen ist diese Variante zu untersuchen und zu diskutieren. Weitere Ausführungen zur Ausbildung des Stützenfußes finden sich in [10; S. 223 ff] und Abbildung 4.57.

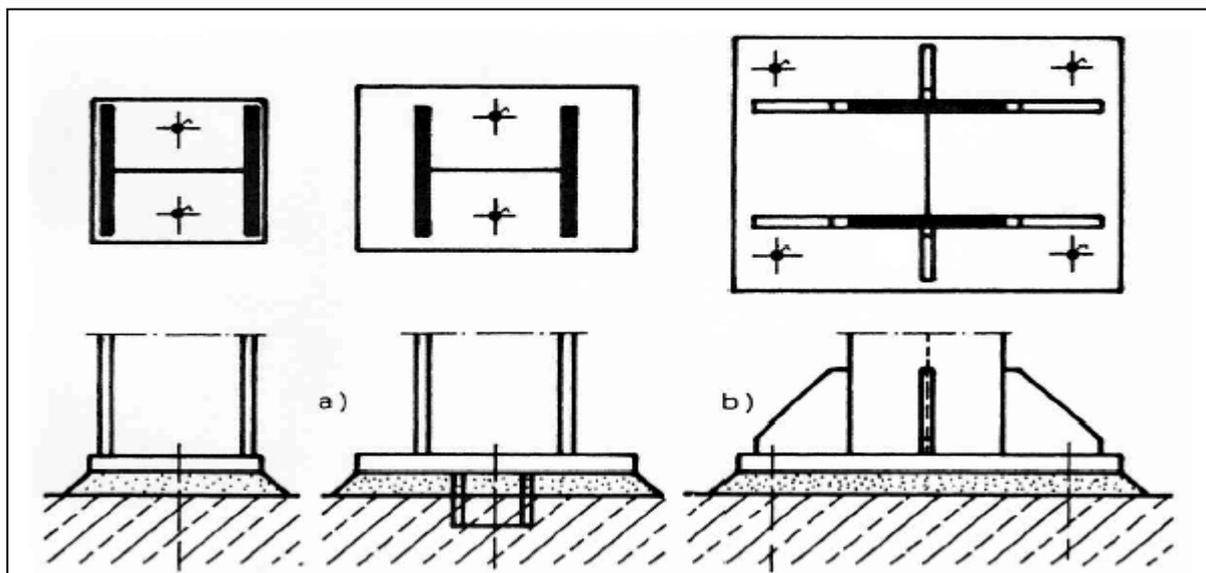


Abbildung 4.57: gelenkige Stützenfüße, Ausführungsvarianten, aus [25]

4.4 Wandkonstruktionen

Wandkonstruktionen sind bei der Ausführung von Wohnbauten in Stahl immer mit der Kombination verschiedener Baustoffe verbunden. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Wandkonstruktionen nach dem Prinzip der Stahlrahmenbauweise und nach dem Prinzip der Ständerbauweise unterschieden werden. Es soll ein Überblick über die Anforderungen an die Konstruktionen und die Randbedingungen beim Bauen im Bestand erfolgen. Zur Erarbeitung dieses Kapitels wurden die Dokumentationen D 560 [Z2] und D 573 [Z3] verwendet. Hier finden sich auch detaillierte Ausarbeitungen zu den einzelnen Konstruktionsvarianten und Ausführungsdetails.

4.4.1 Wandkonstruktionen nach dem Prinzip der Stahlrahmenbauweise

Ausgehend von den Konstruktionsprinzipien der Stahlrahmenbauweise beim Neubau von Wohngebäuden lässt sich erkennen, dass die Stahlprofile nur die Tragwirkung der Wand übernehmen. Die raumbildende Funktion übernehmen verschiedene Konstruktionen wie z.B. Mauerwerk (Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton), aber auch Holzständer- oder Leichtprofilwände. In Abhängigkeit von den bauphysikalischen Anforderungen ergeben sich verschiedenste Wandaufbauten. Wände, welche nach den Prinzipien der Stahlrahmenbauweise konstruiert werden, sind dadurch gekennzeichnet, dass sie die Lasten aus den darüber liegenden Bauteilen konzentriert über die einzelnen Stützen abtragen. So ist eine Lastabtragung aus den oberen Geschossen eines Bauwerks weitgehend unabhängig vom Zustand der bestehenden Bausubstanz möglich. Lediglich das Gewicht der nichttragenden, leichten Wandkonstruktion wirkt sich auf gegebenenfalls darunter liegende Wände oder Unterzüge und Stützen aus. Einen Vergleich der Gewichte verschiedener Konstruktionen soll im folgenden gegeben werden. Annahme: Wandhöhe 2,50 m

Konstruktion	Bauteildicke	Gewicht [kN/m]
Ziegel / KS-Mauerwerk (1.2g/cm ³) (nur Mauerwerk)	12,5 cm	4,375
Ziegel / KS-Mauerwerk (1.2g/cm ³) (nur Mauerwerk)	24 cm	8,4
Porenbeton (0,5 g/cm ³) (nur Mauerwerk)	12,5 cm	2,19
Porenbeton (0,5 g/cm ³) (nur Mauerwerk)	24 cm	4,2
Einfachständerwand U-Wert 0,48 W/m ² K (komplett)	20 cm	1,125
Doppelständerwand U-Wert 0,18 W/m ² K (komplett)	30 cm	2,0

Tabelle 4.9: Vergleich des Eigengewichts bei unterschiedlichem Wandaufbau

Zur Ermittlung der Eigengewichte wurden die Quellen [19] und [Z2] verwendet.

Als tragende Elemente sind warmgewalzte breite I-Profile geeignet. Auch die Anwendung kaltgeformter Profile und Kombinationen beider Formen sind möglich. Einen Überblick über kaltgeformte Profile gibt Abbildung 4.4. Es ist zu beachten, dass bei Stahlrahmenkonstruktionen stets Aussteifungen in vertikaler und horizontaler Richtung realisiert werden müssen. Dies geschieht in horizontaler Ebene vor allem über die Deckenausbildung, in vertikaler Richtung vorrangig über die Ausbildung von Verspannungen. Ein Beispiel hierzu zeigt Abbildung 4.58. Die Wandkonstruktionen können nur dann zur Aussteifung herangezogen werden, wenn sie dementsprechend ausgebildet werden, vergleiche Kapitel 4.5. Ohne besondere Maßnahmen sind sie aber von allen statischen Aufgaben befreit.

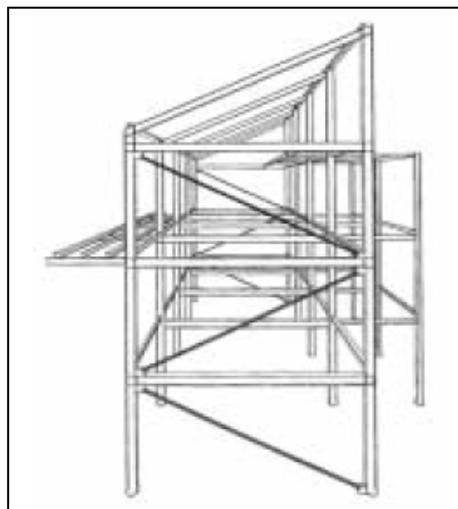


Abbildung 4.58: Aussteifung einer Wand in Stahlrahmenbauweise mit Verband, aus [Z3]

Für die Stahlrahmenbauweise lassen sich auf Grund der Vielfalt der Konstruktionen keine typischen Beispiele für Wandkonstruktionen erarbeiten. Dies würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es soll nur erwähnt werden, dass die Ausführungsformen nach den Regeln für die entsprechende Bauweise zu entwickeln sind. In Tabelle 4.9 ist bereits erkennbar, dass vor allem die Anforderungen an den Wärme- und Schallschutz wesentliche Parameter der Wandkonstruktion wie z.B. die Dicke und den Aufbau bestimmen. Durch die vielen Möglichkeiten der Ausbildung der Wandkonstruktionen besteht beim Bauen im Bestand Chance, die Wandkonstruktion dem Bestand anzupassen. So kann beispielsweise ein Fachwerk als nichttragende Außenwand ausgebildet und die Optik an den Bestand angepasst werden.

4.4.2 Wände in Stahlleichtbauweise / Ständerbauweise

Bei nichttragenden Innenwänden ist der Begriff der Ständerbauweise weitläufig bekannt. Doch auch die Ausbildung tragender Wände kann unter Verwendung von kaltgeformten Stahlleichtprofilen in Ständerbauweise erfolgen. Die zur Auswahl stehenden Profile sind in Abbildung 4.4 dargestellt. C-Profile sind die meist verwendeten Profile für die Ausbildung der Wandständer. Tragende Wände in Stahlleichtbauweise sind im Unterschied zu Wänden bei der Stahlrahmenbauweise durch eine starke Typisierung und Systematisierung gekennzeichnet. Dies verringert die Herstellungs- und Montagekosten, stellt aber beim Bauen im Bestand und bei der Integration eines Tragwerks in bestehende Bausubstanz gegebenenfalls Einschränkungen bei der Gestaltung von Räumen etc. dar.

Prinzipiell besteht eine Leichtprofilwand aus einem U-Profil am Fuß, C-Profilen als Ständer, einem U-Profil als oberer Abschluss, bzw. Ringanker, Dämmung zwischen den C-Profilen und Beplankungstafeln. Abbildung 4.59 zeigt den prinzipiellen Aufbau.

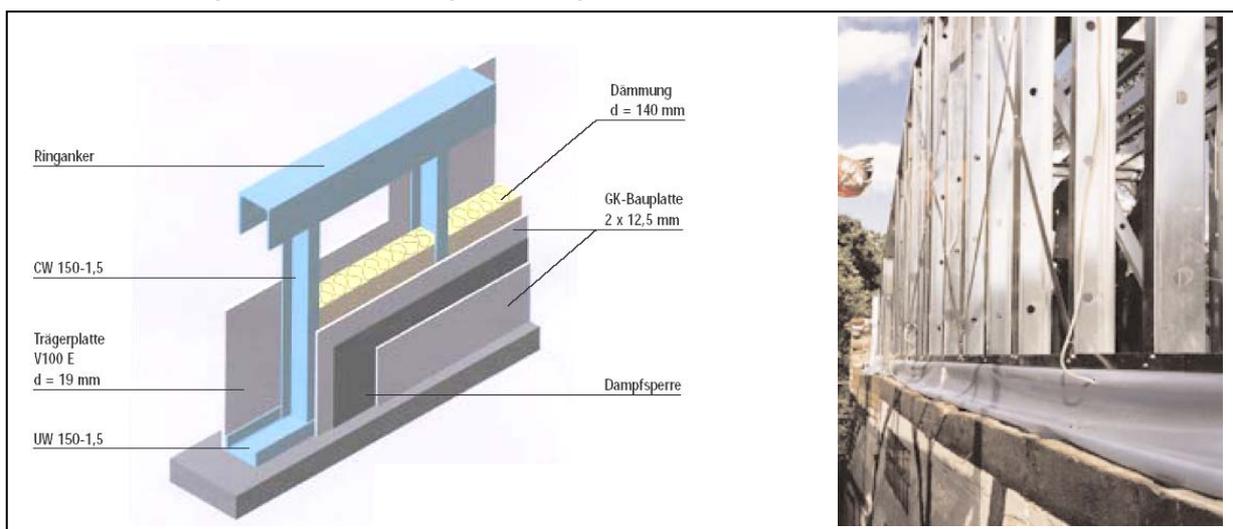


Abbildung 4.59: Prinzipieller Wandaufbau, aus [Z3]; Aufstockung in Leichtbauweise, [Z5]

Die Ständerbauweise zeichnet sich durch sehr geringes Eigengewicht der Wandkonstruktion aus. Allerdings erfolgt die Lastabtragung hier flächenhaft. Wände in Stahlleichtbauweise tragen ihre Lasten über ihre gesamte Auflagefläche auf die darunter liegenden Konstruktionen ab (Abbildung 4.59). Somit ist es bei dieser Bauweise nicht möglich, bei der Integration in bestehende Bauten, die Lasten unabhängig vom Bestand abzuleiten. Die Aufstockung eines Fachwerkhäuses in Dinslaken verdeutlicht dies [Z5]. Doch vor allem für Aufstockungen und ähnliche Aufgaben ist die Stahlleichtbauweise auf Grund des extrem geringen Eigengewichts sehr gut geeignet. [16] zeigt statische, wirtschaftliche, logistische, technologische und bauphysikalische Vorteile der Leichtbauweise beim Bauen im Bestand auf.

Bei der Ausführung von Wänden in Stahlleichtbauweise übernehmen, ähnlich wie bei Decken dieser Bauweise, die Beplankungen aus gips-, zement- oder leimgebunden Werkstoffplatten vielseitige Aufgaben. Sie erfüllen folgende Aufgaben:

- Stabilisierung der Ständer → verhindern Knicken und Biegedrillknicken
- vertikale Aussteifung des Tragwerks
- raumbildende Aufgaben
- bauphysikalische Aufgaben

Die Aussteifung der Tragwerke über die Wandtafel ist nur in Zulassungen geregelt. Gegebenenfalls sind zusätzliche Aussteifungen wie Verbände notwendig [Z2; S. 8].

Ein wichtiger Punkt bei der Ausbildung von Wänden in Stahlleichtbauweise ist die Verankerung der Wand auf dem Fundament oder dem darunter liegenden Bauteil. Nur so kann die Wand auch als Aussteifung und zur Lastabtragung in horizontaler Richtung genutzt werden. Eine Ausführungsvariante wird in Abbildung 4.60 gezeigt. Verbindungen zu Holz oder Mauerwerk sind in gleicher Art herzustellen.

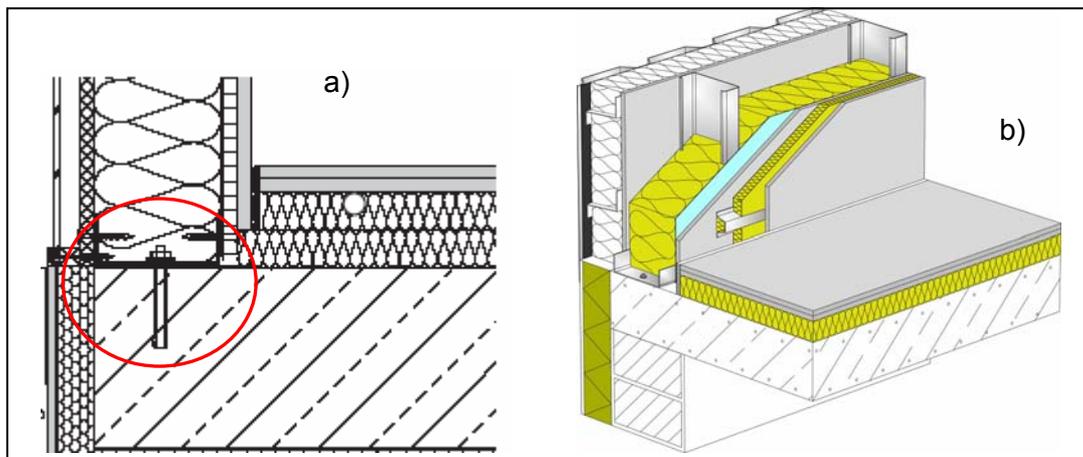


Abbildung 4.60: Details: Fußpunkt einer Wand in Stahlleichtbauweise, aus [Z2] / [I6]

Die Größe der Profile und die Blechdicken sind abhängig von der Belastung der Wand. In den gegebenen Tafeln zur Bemessung der Wandprofile [Z2; S. 18] werden außermittige Lasteinleitung und zentrische Lasteinleitung unterschieden. Außermittige Lasteinleitung ist vor allem bei Außenwänden anzusetzen. Zentrische Lasteinleitung kann bei Innenwänden und Lasten aus darüber liegenden Stockwerken angenommen werden. [Z2; S. 17]

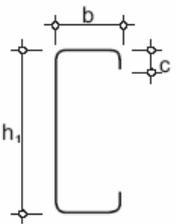
C-Profile für Wände									
		Profil-Kurzzeichen: Steghöhe h_1 Flanschbreite b Lippenhöhe c Nennblechdicke t_n Blechdicke t		A_{eff}^D = wirksame Querschnittsfläche Druck [mm^2] A_{eff}^B = wirksame Querschnittsfläche Biegung [mm^2] $W_{eff,y}$ = Widerstandsmoment [cm^3] e_{pz} = Abstand Brutto- zu wirksamem Schwerpunkt [mm] l = Profillänge (= Knicklänge) [cm] e_z = Exzentrizität $N_{R,d}$ = Grenzkraft [kN]					
Profil $h_1 \times b \times c \times t_n$	t [mm]	A_{eff}^D [mm^2]	A_{eff}^B [mm^2]	$W_{eff,y}$ [cm^3]	e_{pz} [mm]	l [cm]	$N_{R,d}$ [kN] $e_z = 0$	$N_{R,d}$ [kN] $e_z = h/12$	$N_{R,d}$ [kN] $e_z = h/6$
C 100 x 50 x 10 x 1,0	0,92	106,7	163,1	4,75	7,28	260	27,2	21,9	19,9
						300	24,6	20,2	18,5
						350	21,5	17,8	16,5
C 100 x 50 x 10 x 1,5	1,42	217,4	287,4	8,74	2,71	260	54,4	43,8	39,6
						300	48,7	39,7	36,2
						350	41,8	34,5	31,9

Abbildung 4.61: Ausschnitt aus Tragfähigkeitstafel für Wandprofile, aus [Z2]

Zusammenfassung

Die Wahl eines Konstruktionsprinzips einer Wand hängt von den Anforderungen ab, die sich aus den Randbedingungen des bestehenden Bauwerks ergeben. Prinzipiell ist zu sagen: Wände, welche Lasten aus darüber liegenden Geschossen abzutragen haben, können dies mit Hilfe der Stahlrahmenbauweise unabhängig vom Zustand des Bestandes tun. Das bestehende Tragwerk muss die Lasten aus dem Eigengewicht der Wandkonstruktion tragen. Vor allem bei Aufstockungen, wo keine weiteren Geschosse folgen, sind Ständerwände auf Grund ihres sehr geringen Eigengewichts zu bevorzugen.

4.4.3 Bauphysikalische Betrachtungen

Wie bereits erwähnt, haben bauphysikalische Anforderungen einen wesentlichen Einfluss auf die Ausbildung der Wand. In Kapitel 4.2.9 wurde schon sehr detailliert auf die Anforderungen des Schallschutzes eingegangen. Für Wände gelten die gleichen Prinzipien, deshalb soll hier nicht noch einmal genau drauf eingegangen werden. Bei Wänden ist allerdings der Einfluss der Anforderungen an den Wärmeschutz herauszustellen. **Wände in Stahlleichtbauweise** besitzen immer eine „integrative“ Dämmebene [Z2; S. 37]. Dadurch werden bereits gute Wärmedämmwerte erreicht. Allerdings sind die Stahlprofile eine wesentliche Schwachstelle in den Wandaufbauten. Sie sind eine sehr gute Wärmebrücke. Bei Außenwandkonstruktionen sind somit zusätzliche Dämmebenen oder

Wärmedämmverbundsysteme notwendig. Durch die Ausführung dieser hoch wärmedämmenden Wandaufbauten können bei der wärmeschutztechnischen Energiebilanz des Gebäudes große Vorteile erzielt werden. Allerdings ist die richtige Ausführung einzelner Details unbedingt notwendig um die Wirkungen der guten Wärmedämmeigenschaften ausnutzen zu können.

Ausführungsdetails zeigt [Z2; S. 40 ff].

Obwohl die Ständerbauweise in Stahl sehr hoch systematisiert ist, sind bei der Ausführung der Wände die Wechselwirkungen mit der bestehenden Bausubstanz zu betrachten.

Hier sind bei der Planung und bei der Ausführung folgende Punkte zu betrachten:

- Wie sind die Wärmedämmeigenschaften des bestehenden Gebäudes?
- Welche Ausführungsformen von Ständerwänden sind notwendig um gleiche Eigenschaften wie beim Bestand zu schaffen?
- Können durch den Einsatz besserer Wandsysteme Einsparungen beim Energieverbrauch erzielt werden?
- Wie wirken sich bessere Wärmedämmeigenschaften auf die Energiebilanz des Gebäudes aus?

Werden diese Punkte beachtet, so ist es möglich, neben den statisch konstruktiven Vorzügen wie extrem geringes Eigengewicht oder geringer Herstellungsaufwand durch einfache Verbindungen auch Energieeinsparungen und somit wirtschaftliche Vorteile zu erzielen.

Bei **Wänden in Stahlrahmenbauweise** sind entsprechend den Aufbauten und Wärmedämmeigenschaften zusätzliche Dämmsysteme zu realisieren. Unter dem Aspekt der Wärmedämmung seien hier noch einmal die Eigenschaften von Porenbetonsteinen herausgestellt, welche bereits sehr gute Wärmedämmeigenschaften haben. Um zu dicke Wandaufbauten zu vermeiden und so das Eigengewicht der Konstruktion unnötig zu erhöhen, muss die Wahl des Materials für die Wandkonstruktion auch nach den Erfordernissen des Wärmeschutzes gewählt werden. Abbildung 4.62 verdeutlicht dies.

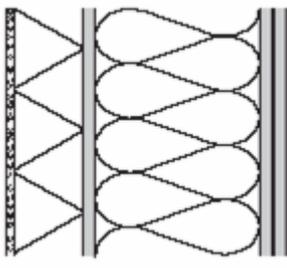
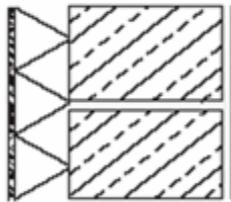
Bauteilaufbau	Metalprofil t = 1,5 mm, ungelocht a = 0,625 m Mineralwolledämmung WLG 040	Dicke [mm]	U-Wert [W/m ² K]
	Außenputz (armiert, mineralisch) WDVS Mineralfaser Putzträgerplatte Metallständer/Mineralwolledämmung Dampfbremse Innenbekleidung GFK, doppelt	15 80 15 150 - 2 x 12,5	0,22
	Außenputz (armiert, mineralisch) Mineralwolle Ansetzmörtel KS-Lochsteine Innenputz	10 80 5 175 15	0,39
		285	
		285	

Abbildung 4.62: Vergleich der Wandaufbauten in Leicht- und Rahmenbauweise, aus [Z2]

4.5 Aussteifungssysteme und Verankerungen

Aussteifungssysteme sind wesentliche Bestandteile eines Tragwerks. Die Aussteifung eines Tragwerks ist erforderlich um horizontale Kräfteinwirkungen aufzunehmen. Die Aussteifung eines Systems erfolgt in horizontaler und vertikaler Ebene. Hierbei ist zu beachten, dass die horizontalen Aussteifungselemente die Kräfte an die vertikalen Aussteifungselemente weiterleiten, so dass diese in darunter liegende Geschosse oder Fundamente weitergeleitet werden können. Räumliche Aussteifungssysteme finden im Wohnungsbau selten Anwendung.

Die Aussteifung in horizontaler Ebene erfolgt über folgende Elemente:

- Anordnung von Verbänden in Decken- oder Dachebene
- Ausbildung der Decken als Scheiben
- Ausbildung von Ringbalken

Aussteifungen in vertikaler Ebene erfolgen über:

- Verbände
- Massive Wände → Scheibenwirkung
- Ausbildung von Wandscheiben durch Beplankung von Ständerprofilen
- Ausbildung von Rahmentragwerken
- Einspannung von Stahlstützen

Beim Bauen im Bestand ist neben der Erarbeitung der erforderlichen Aussteifungssysteme zu untersuchen, wie die Aussteifungen durch Verbindungen mit dem bestehenden Tragwerk und dessen Aussteifungssystemen (beispielsweise massive Wände) realisiert werden kann. Eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den einzelnen Tragwerkselementen ist Voraussetzung für die Realisierung der Aussteifung. Dieser Punkt hat Auswirkungen auf die Ausführung einiger Detailpunkte und wird im Folgenden bearbeitet.

4.5.1 Aussteifungen in horizontaler Ebene

Die Aussteifung in horizontaler Ebene erfolgt in der Regel über die Ausbildung der Decke als Scheibe. Bei der Anwendung von Stahltragwerken als Deckentragwerk ist allerdings zu beachten, unter welchen Bedingungen die Decke als Scheibe ausgebildet wird. Bei Trägerdecken ohne Verbund bildet zwar die Betonplatte eine Scheibe, allerdings besteht die Verbindung zum Stahltragwerk nur über Reibung. Hier ist das Stahltragwerk zusätzlich auszusteifen, denn nicht die Betonplatte ist kraftschlüssig mit den vertikalen Bauteilen zu verbinden, sondern die Deckentragelemente aus Stahl. Möglichkeiten zur Aussteifung des Stahltragwerks sind die Ausbildung biegesteifer Verbindungen der einzelnen Tragwerkselemente oder das Einbauen von Aussteifungsverbänden. Unter den Gesichtspunkten der bedingten Vorfertigungsmöglichkeiten beim Bauen im Bestand und dem hohen technologischen Aufwand bei der Herstellung biegesteifer Schweiß- oder Schraubverbindungen auf der Baustelle, sind Aussteifungen mit Verbänden zu bevorzugen. Durch diese lassen sich auch wesentlich steifere Scheiben ausbilden, als durch biegesteife Verbindung der einzelnen Elemente. Die Ausführung von drucksteifen und druckschlaffen Verbänden ist möglich. Auf Grund der auftretenden Stabilitätsprobleme bei druckbelasteten Bauteilen werden in der Regel gekreuzte, nur auf Zug beanspruchte Diagonalen eingesetzt. Als Profile werden Seile, Rundstahl oder gewalzte L-Profile verwendet. Eine Vorspannung und somit weitere Erhöhung der Steifigkeit dieser Elemente ist möglich. Hierzu siehe auch Kapitel 4.2.8.

Die beschriebene Form der Aussteifung oder biegesteife Verbindungen der Tragelemente eines Deckentragwerks können auch bei der Ausbildung von Decken oder Galerien in Verbindung mit Holzbeplankungen, Beplankungen aus Faserplatten oder ähnlichem erforderlich werden [8; S.19 f]. In der Regel bilden Deckenaufbauten in Verbindung mit diesen Konstruktionen eine Scheibe aus. Ob diese Scheibe aber als Aussteifungselement für das Tragwerk in horizontaler Ebene genutzt werden kann, ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Art der Beplankung und zusätzlicher Deckenaufbau
- Dicke des Beplankungsmaterials
- Ausführung der Beplankung und Verbindung mit der tragenden Stahlkonstruktion (Schubfest oder nur zur Lagesicherung)

Die Untersuchung der Schubsteifigkeit der einzelnen Konstruktionen muss am jeweiligen Objekt durchgeführt werden.

Bei der Ausführung von Trägerdecken mit Verbund und allen anderen Bauweisen, wo eine schubsteife Verbindung zwischen „Deckenplatte“ und Stahltragwerk besteht, kann die Scheibenwirkung aus der Deckenplatte zur Aussteifung des Tragwerks herangezogen werden. Zusätzliche Verbände in Trägerebene oder Ähnliches sind im Gebrauchszustand nicht notwendig. Zu Montagezwecken können temporäre Aussteifungen durch Verbände erforderlich sein. Die Ausführung der einzelnen Deckentragwerke wird in Kapitel 4.2 beschrieben.

Bei der Ausführung von Decken in Stahlleichtbauweise ist zu beachten, dass hier die Scheibenwirkung durch zwei wesentliche Punkte erreicht wird:

- permanente Verschraubung des Beplankungsmaterials mit den Trägerprofilen
- Ausbildung eines „Ringbalkens“ an allen Seiten der Decke in Form eines C- oder U-Profils als Abschluss der einzelnen Deckenträger

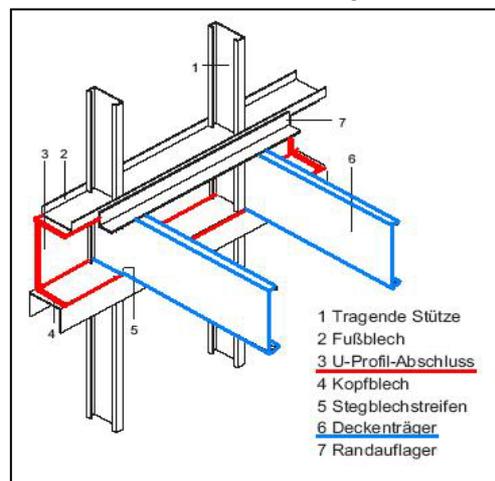


Abbildung 4.63: Anschluss der Deckenträger an das Abschlussprofil, aus [Z2]

Durch diese beiden wesentlichen Merkmale entsteht die „Tafel“ [Z2; S. 7]. Sie ermöglicht die Tragwirkung der Decke als Scheibe. Die Tragwirkung als Scheibe wird aber nur durch die systematische Verbindung mit den vertikalen Tragwerks- und Aussteifungselementen über das Abschlussprofil ermöglicht. Dieses muss kraftschlüssig und schubfest mit dem vertikalen Tragwerk und Aussteifungssystem verbunden sein. Bei Anwendung dieser Deckenbauweise in Verbindung mit anderen Systemen ist dieser Punkt immer herauszustellen.

Die Frage der Weiterleitung der Lasten in die vertikalen Bauteile soll nun betrachtet werden. Werden die Deckentragwerke an Stützen aus Stahl oder weitere Stahlträger (z.B. Rahmenriegel) angeschlossen, so können die üblichen, in den vorhergehenden Kapiteln erarbeiteten Verbindungen verwendet werden. Die Weiterleitung der Horizontallasten in bestehende oder neu hergestellte massive Bauteile wie z.B. Mauerwerks oder Betonwände ist mit einem höheren konstruktiven Aufwand verbunden. Im Unterschied zu Bauwerken mit flächig auf den Wänden aufliegenden Stahlbetondecken können die Horizontallasten bei Decken in Stahlbauweise nicht über Reibung zwischen Deckentragwerk und Wand übertragen werden. Die Auflageflächen der Träger sind zu gering bzw. die Reibung ist auf Grund des geringen Eigengewichts (Decken in Leichtbauweise) und der Materialeigenschaften nicht groß genug. Bei Mauerwerk ist die Ausführung eines biegetragfähigen Ringbalkens notwendig, um die auftretenden Horizontalkräfte aus den einzelnen Träger aufnehmen zu können. Die Ausführung eines Ringankers, welcher nur Normalkrafttragfähig ist, ist nicht zulässig.

Zur Übertragung der Normalkräfte aus dem Träger in Auflager sind Verankerungen notwendig. So entsteht eine kraftschlüssige Verbindung mit den in vertikaler Ebene aussteifenden Bauteilen bzw. dem Ringbalken. Möglichkeiten zur Verankerung sind die Verankerung mit angeschraubten oder angeschweißten Winkeln (Abbildung 4.64 a) oder die Verdübelung des Trägers (Abbildung 4.64 b). Durch nachträgliches Schließen der Auflagernische mit Mörtel oder Steinen wird die Verankerung sicher gestellt.

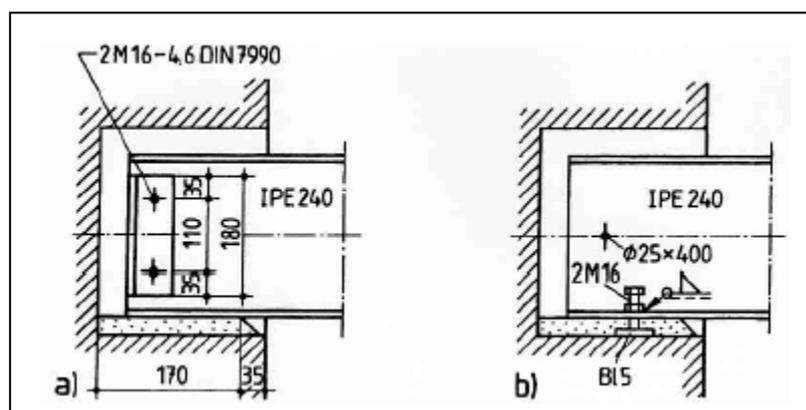


Abbildung 4.64: Trägerverankerung in massiven Bauteilen, aus [10]

Für sehr große Horizontalkräfte sind weitaus aufwendigere Konstruktionen notwendig. Bei der Anwendung in Wohnungsbauten sind diese allerdings nur selten erforderlich.

4.5.2 Aussteifungen in vertikaler Ebene

Die Ausführung von gekreuzten, druckschlaffen Verbänden findet am häufigsten Anwendung bei Realisierung von Aussteifungen in vertikaler Ebene. Vor allem bei der Längsaussteifung von Rahmensystemen und bei der Stabilisierung „frei“ stehender Systeme aus Stützen und gelenkig angeschlossenen Unterzügen spielen diese Verbände eine Rolle. Im Wohnungsbau und auch bei der Revitalisierung von Bauwerken unter Einsatz des Baustoffes Stahl wird dieses Aussteifungssystem vor allem zur Aussteifung der tragenden Stahlleichtprofilwände oder zur zusätzlichen Aussteifung der Rahmentragwerke in der Wandebene genutzt. Ausführungsbeispiele und Anschlussdetails zeigen die folgenden Abbildungen.



Abbildung 4.65: Beispiele zur Ausbildung von Wandverbänden, aus [Z2]

Es wurde bereits erwähnt, dass beim Bauen im Bestand die Möglichkeit besteht, existierende Aussteifungssysteme zur Aussteifung des neu entwickelten Tragwerks mit heranzuziehen. Vor allem massive Wände eignen sich hervorragend zur Aussteifung des gesamten Gebäudes oder Teilen des Tragwerks. Die Verankerung dieser Konstruktionen mit Stahlbauteilen wurde bereits beschrieben.

Laut [Z2] ist die Ausbildung einer Wandscheibe aus Stahlleichtbauprofilen und deren Beplankung noch nicht genormt. Die Ausführung dieser Wände ist also mit der Ausbildung eines Verbandes verbunden. Als Profile kommen hier vor allem Flachstähle zum Einsatz. Für bestimmte Wandaufbauten sind bauaufsichtliche Zulassungen vorhanden. Die Ausbildung der „Wandtafel“ als aussteifende Scheibe ist somit auch ohne weitere Verbände möglich. Die notwendigen Maßnahmen am Fußpunkt der Konstruktion wurden bereits erläutert.

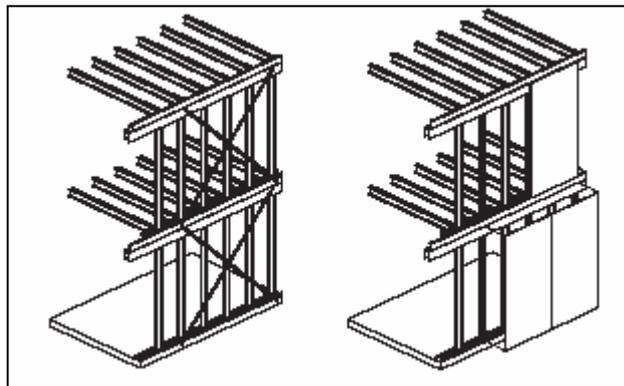


Abbildung 4.66: Vergleich der beiden Aussteifungssysteme bei Leichtbauweise, aus [Z2]

Weitere Aussteifungsmöglichkeiten in vertikaler Ebene sind die Ausbildung von Rahmentragwerken und die Ausführung eingespannter Stützen. Auf Grund der hohen Anforderungen an die Fundamente bei eingespannten Stützen werden diese im Stahlbau kaum realisiert. Rahmentragwerke wurden bereits mehrfach erwähnt. Sie können ohne zusätzliche Aussteifungsmaßnahmen Horizontalkräfte aufnehmen und in den Baugrund ableiten. Die häufigste Ausführungsvariante hierzu ist der Zweigelenkrahmen.

Die Aussteifung des Gesamttragwerks und die Aufnahme horizontaler Kräfte erfolgt bei Stahltragwerken jeder Ausführungsvariante immer über die Kombination und das Zusammenwirken der horizontalen und vertikalen Aussteifungselemente. Beim Einbau von Stahltragwerken in bestehende Bausubstanz ist zu beachten, wie sich das System auf das bestehende Tragwerk auswirkt und ob sich Änderungen in der statischen Wirkungsweise ergeben.

4.6 Ertüchtigung / Verstärkung bestehender Konstruktionen

Bei der Revitalisierung von Gebäuden ergeben sich häufig Änderungen in den Lastannahmen für bestimmte Bauteile. Diese Änderungen führen, wie zu Beginn dieser Arbeit erläutert, zu neuen Anforderungen an das Tragwerk. Hinzu kommen je nach Tragwerksteil zusätzliche Auflasten durch neue Konstruktionen.

Durch die Auswertung der statischen und konstruktiven Randbedingungen lassen sich erforderliche Maßnahmen erkennen und ableiten. Trotz den zahlreichen Möglichkeiten neue Tragwerke einzusetzen um die zusätzlichen Lasten abzutragen ist es notwendig bestehende Konstruktionen zu verstärken und zu ertüchtigen. Die Einsatzmöglichkeiten von Stahl in diesem Bereich sind sehr vielfältig. Die einzelnen Anwendungsgebiete und Ausführungsvarianten unterscheiden sich häufig nur in einzelnen Details. Prinzipiell lässt sich nahezu jedes Tragwerk im Bereich des Hochbaus durch den Einsatz von Stahl verstärken.

Einsatzmöglichkeiten von Stahl zur Ertüchtigung von Tragwerken sind:

- Verstärkung bestehender Träger und Stützen aus Stahl durch zusätzliche Bleche
→ Verbindung durch Schweißen, Kleben und Schrauben möglich
- Verstärkungen von Auflagerbereichen verschiedener Konstruktionen
- Deckenverstärkungen
- Verstärkung bestehender Wände
- Verstärkung und Ergänzung von Holzträgern

Die folgenden Beispiele zeigen zwei Ausführungsmöglichkeiten zur Decken- bzw. Deckenträgerverstärkungen. Es wird deutlich, dass neben typischen Ausführungsvarianten (Beispiel 1) auch konstruktive Sonderlösungen ausgeführt werden (Beispiel 2). Es zeigt sich, wie wichtig es ist die Randbedingungen eines bestehenden Gebäudes zu untersuchen und zu analysieren.

Beispiel 1: Die Sanierung eines Mehrfamilienhauses mit Umnutzung des Dachgeschosses zu weiterer Wohnfläche in Erfurt wurde bereits in Kapitel 4.2.7 als Ausführungsbeispiel erwähnt. Neben dem Ersatz von Wänden und Holzträgern durch Stahlunterzüge wurden hier die Pfetten des Daches durch U-Profile verstärkt.

Diese Maßnahmen waren notwendig, da die Pfette die Lasten aus dem Dach und die nun erhöhten Lasten aus der Decke zwischen 1. DG und 2. DG abzutragen hat. Durch die Umnutzung war die Tragfähigkeit der Pfette nicht mehr gegeben. Unter Einhaltung

festgelegter Konstruktionshöhen der Pfette war ein Erreichen der Tragfähigkeit nur durch die Verstärkung der Pfette mit Stahlprofilen möglich. Diese erfolgte einseitig durch Andübeln eines U-Profils mittels Einpressdübeln ($d=65\text{mm}$, Bolzen M16). So konnte mit Hilfe einer einfachen und durchaus typischen Verstärkungsmaßnahme die Tragfähigkeit erreicht werden.

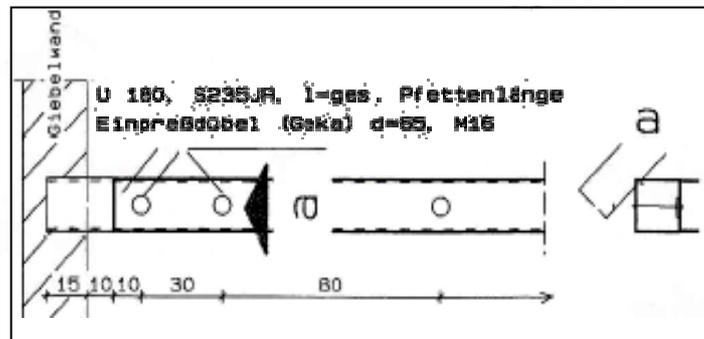


Abbildung 4.67: Anschluss U-Profil – Pfette, aus [Q1]



Abbildung 4.68: Verstärkung der Mittelpfette durch U-Profile, aus [Q1]

Beispiel 2: Bei der Ertüchtigung einer Stahlbetondecke im Rathaus von Augsburg wurden durch die Ausführung einer „nicht Standardvariante“ bei der Deckenverstärkung mehrere wichtige Anforderungen eingehalten. An Stelle von „unter die Decke montierten“ Unterzügen wurden Unterzüge konstruiert, welche durch die bestehende Stahlbetondecke durchstoßen. Die Ausführung zeiteiliger Vierendeelträger (biegesteife Verbindung aller Knotenpunkte) machte dies möglich. Abbildung 4.69 zeigt die Konstruktion.

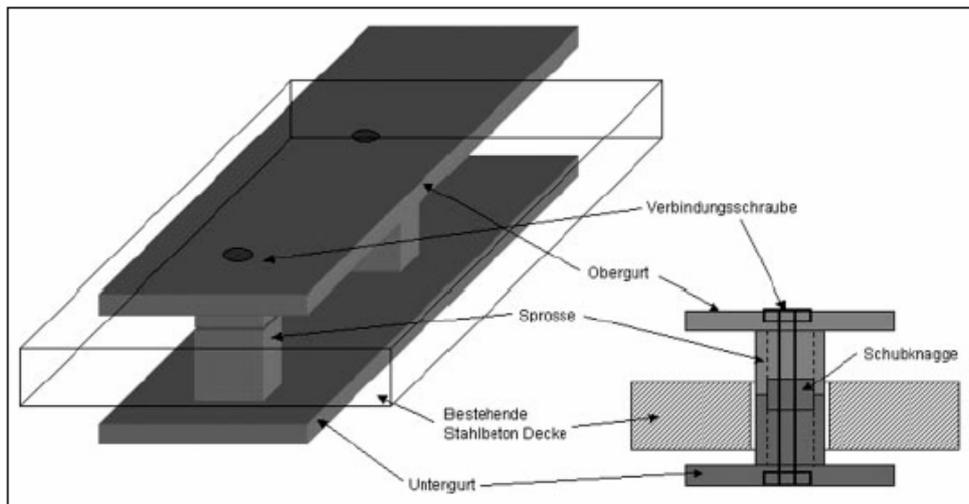


Abbildung 4.69: Prinzipieller Aufbau des neuen Tragsystems, aus [Z7]

Die bestehende 12 cm dicke Stahlbetondecke, welche bisher auf konventionellen Unterzügen aufgelagert war, wurde mit Kernbohrungen versehen. Die Durchdringungen haben einen Abstand von ca. 50 cm. Durch die Vorfertigung des Stahlträgers in zwei Teilen, konnte der Obergurt mit der halben Quersprosse von oben durch die Decke durchgeführt werden und der Untergurt mit der halben Quersprosse, mit Hilfe leichter Hebezeuge (Kettenzüge), von unten montiert werden. Eine Verbindungsschraube fügt die beiden Teile zusammen.

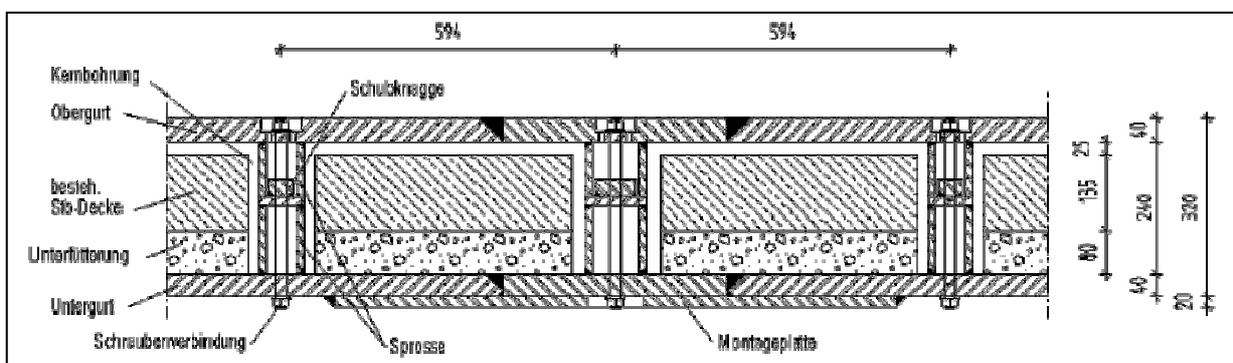


Abbildung 4.70: Schnitt durch die Deckenkonstruktion, aus [Z7]

Diese, im Vergleich zu einfachen Unterzügen, aufwendige Variante wurde aus verschiedenen Gründen ausgewählt:

- Erhalt der bestehenden Decke um neue Betonierarbeiten und das Eintragen von Feuchtigkeit in das Gebäude zu vermeiden
- Verringern der Konstruktionshöhe der Decke von 84cm auf 34cm
- Vermeidung von Erschütterungen um den Bestand zu schützen → kein großflächiger Abbruch und Ersatz durch neue, ggf. leichtere System möglich
- Vermeidung eines kostenaufwendigen Rückbaus der Decke

Betrachtet man die erwähnten Anforderungen und Einschränkungen, so wird deutlich dass die **Eigenschaften der Stahlbauweise** ein Entscheidungspunkt für die ausgewählte Ausführungsvariante waren. So konnten Eigenschaften wie:

- trockene Bauweise
- geringe Beeinflussung des Bestandes bei der Herstellung
- Einsatzmöglichkeit leichter Hebezeuge
- schnelle, unkomplizierte Montage vorgefertigter Elemente zum Gesamttragwerk
- geringes Eigengewicht bei hoher Tragfähigkeit

ausgenutzt werden.

5. Klassifikation der Stahlkonstruktionen

Auf der Grundlage und unter Anwendung der Randbedingungen und vorgestellten Konstruktionen soll nun eine **Klassifikation und Katalogisierung** der einzelnen Varianten erfolgen. Die Einteilung aus Kapitel 4 soll als Grundstruktur verwendet werden. Die einzelnen **Ausführungsvarianten** werden nach **konstruktiven Eigenschaften** sowie **statischer Wirkungsweise** klassifiziert. Die Einarbeitung **bauphysikalischer Punkte** und die Benennung wichtiger Aspekte bei der **Ausführung** soll eine weitere Einschätzung der jeweiligen Konstruktion über die Anwendbarkeit bei der Revitalisierung von Gebäuden ermöglichen.

Die Kriterien spiegeln die wesentlichen Eigenschaften einer zur Auswahl stehenden Konstruktion und die Auswirkungen auf bestehende Konstruktionen wieder.

5.1 Die Klassifikationskriterien

Konstruktion:

Als Hauptkriterium soll eine Gliederung der einzelnen Konstruktionen nach der Ausführungsart eine erste Orientierung ermöglichen. Durch Einarbeiten eines wesentlichen Merkmals der einzelnen Bauteile, z.B. darunter liegendes Bauteil oder Verbindungsausführung, kann eine differenziertere Einteilung erfolgen.

konstruktive Eigenschaften

In diesem Kriterium werden prinzipielle geometrische Abmessungen der Konstruktion, typische Querschnittsformen, eine Einschätzung des Gewichts und gegebenenfalls erste Vorbemessungsregeln aufgezeigt. Der Vergleich einzelner Varianten ermöglicht eine erste Abwägung zur Konstruktionswahl.

statische Eigenschaften und Wirkungsweise:

Zur weiteren Einteilung und Klassifizierung der Konstruktionsvarianten werden die statischen Eigenschaften und die statische Wirkungsweise genutzt. Die prinzipielle Tragwirkung, Steifigkeitseigenschaften und zu beachtende Besonderheiten der Konstruktion werden herausgestellt.

Zusätzlich fließen die Anforderungen an den Bestand ein, welche sich aus dem Tragverhalten und gegebenen Randbedingungen ergeben. Auch hier sind Vergleiche mit anderen Ausführungsvarianten aufgezeigt.

bauphysikalische Betrachtungen:

Hier soll eine Einschätzung bauphysikalischer Anforderungen und Eigenschaften erfolgen. Zu beachtende Detailpunkte und notwendige Maßnahmen zur Realisierung bestehender Anforderungen des Wärme- Schall- und Brandschutzes werden herausgestellt.

Ausführung:

Um eine bessere Einschätzung der Konstruktion und erste Vergleiche über Herstellungsaufwand und Realisierbarkeit im konkreten Anwendungsfall zu ermöglichen, werden hier zu beachtende Ausführungsdetails und -möglichkeiten erwähnt.

5.1.1 Träger

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
1. Unterzug Einfeldträger auf Massivkonstruktion (Mauerwerk, Beton)	<ul style="list-style-type: none"> - linienförmiges Bauteil - I-PE, HE-A, - selten: HE-B, geschweißte Profile - Sonderformen (Wabenträger) 	<ul style="list-style-type: none"> - einachsig-lineare Tragwirkung - Biegebeanspruchung - Hohe Anforderungen an Bestand durch konzentrierte Lasteinleitung - Durchbiegung ist wesentlich von der Profilsteifigkeit abhängig 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestaltung Außenwandaufleger (MWS, WB) 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung des Auflagers bei bestehenden Wänden aufwendig - Auswechslung /Verstärkung des Mauerwerks, oder zusätzliche Stahlplatte
2. Unterzug Einfeldträger auf Holzkonstruktion (z.B. Pfette oder Fachwerkwand)	<ul style="list-style-type: none"> - zur Senkung des Eigengew. - 3 bis 10 m freie Stützweite - Profilhöhe: $h/l \cong 1/10..1/22$ - Trägerhöhe in Abhängigkeit der Belastung [26].*² 	<ul style="list-style-type: none"> - Tragwirkung und Durchbiegung des UZ wie bei 1. - Konzentrierte Lasteinleitung in Holz - Pfette: Druckbeanspruchung senkrecht zur Faser 	<ul style="list-style-type: none"> - BS, wenn erforderlich, F30-F90 durch Beschichtung oder Verkleidung 	<ul style="list-style-type: none"> - ggf. Verstärkung der Holzkonstruktion durch U-Profile oder Stahlplatten
3. Unterzug Einfeldträger auf Stahlträgern (z.B. als Verstärkung in der Wand liegend)	<ul style="list-style-type: none"> - I-PE: $\text{erf. } h \cong \sqrt[3]{50 * q * l^2} - 2$ - HE-A: $\text{erf. } h \cong \sqrt[3]{34,5 * q * l^2} - 2$ - HE-B: $\text{erf. } h \cong \sqrt[3]{17,5 * q * l^2} - 2$ 	<ul style="list-style-type: none"> - konzentrierte Lasteinleitung in Stahlbauteil - Lastverteilung und geringere Bestandsbeanspruchung - Tragwirkung und Durchbiegung des UZ wie bei 1. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführung in Außenwand kritisch → Stahl als WB - erhöhte Anforderungen an MWS - BS wie bei 1. z.B. Putz der Wand 	<ul style="list-style-type: none"> - ggf. Aussteifungen der Stahlprofile im Lasteinleitungsbereich - plane Auflagerfläche des Verstärkungsträgers nötig

¹ **Abkürzungen:** MWS: Mindestwärmeschutz; WB: Wärmebrücke; BS: Brandschutz; UZ: Unterzug; ggf. gegebenenfalls; tw. teilweise

² Diese Werte sind für eine erste Vorbemessung unter der Annahme: stat. bestimmter Einfeldträger, q in [kN/m]; l in [m]; h in [cm]; Profilauslastung ca. $0.65 * f_{yd}$

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
<p>4. Unterzug als Mehrfeldträger am Beispiel Zweifeldträger (Vergleich zu 1.-3.) Annahme: gleiche Belastung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - linienförmiges Bauteil - Profile wie bei 1.-3. - größere Stützweite bei gleichem Profil möglich - kleinere Profile bei gleichen Einzelstützweiten der Felder möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - einachsig-lineare Tragwirkung - statisch unbestimmtes System - Biegebeanspruchung - höhere Belastung der Mittelaufleger im Vgl. zu mehreren Einfeldträgern - Steifigkeit des UZ höher als bei 1.-3. → konstr. Eigenschaften - geringere Durchbiegung bei gleichem Profil u. gleicher Stützweite - geringere Feldmomente - Stützmoment über Mittelaufleger wird maßgebend 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestaltung Außenwandaufleger (MWS, WB) - BS, wenn erforderlich, F30-F90 durch Beschichtung oder Verkleidung 	<ul style="list-style-type: none"> - Biegesteife Ausführung des UZ am Mittelaufleger - bei durchgehenden Stahlstützen: aufwendige Laschen- oder Schweißanschlüsse - höhere Anforderungen an Mittelaufleger als an die Randaufleger - bei langen UZ ggf. Stoßausbildung → Montagebedingungen
<p>5. Pfette aus warmgewalzten Profilen</p>	<ul style="list-style-type: none"> - in Abhängigkeit der Länge und des statischen Systems gleiche Eigenschaften wie 1.-3. bzw. 4. - bei großen Stützweiten und hohen Dachräumen auch Einsatz unterspannter Träger → Stützenfreiheit im gesamten Dachraum 	<ul style="list-style-type: none"> - prinzipielle Tragwirkung in Abhängigkeit des Systems wie bei 1.-4. - meist einzelne, konzentrierte Lasteinleitung aus Sparren 		<ul style="list-style-type: none"> - Verstärkung der Lasteinleitungsbereiche - bei sehr langen Elementen: schwierige Montage in bestehenden Dachräumen

¹ **Abkürzungen:** Vgl: Vergleich; konstr: konstruktiv; UZ: Unterzug; MWS: Mindestwärmeschutz; WB: Wärmebrücke; BS: Brandschutz;; ggf. gegebenenfalls

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
<p>6. Träger im Stahlleichtbau als Pfetten und Sparren für sehr leichtes Dachtragwerk</p>	<ul style="list-style-type: none"> - linienförmiges Bauteil - C-, U-, Z-, I-, Σ- Profile - keine Anwendung als UZ - Profilhöhen: 15-25 cm - 3-10 m Stützweite 	<ul style="list-style-type: none"> - jedes Tragglied trägt einachsig - Biege- und Normalkraftbeanspruchung - hohe Steifigkeit durch Zusammenwirken der einzelnen Elemente 	<ul style="list-style-type: none"> - MWS- Anforderungen → Durchdringungspunkte, vor allem im Traufbereich, vermeiden → WB - BS wird durch vorhandene Beplankung gewährleistet 	<ul style="list-style-type: none"> - einfache, systematische Montage als Gesamtsystem - Verbindungen durch Sonderbauteile - ggf. Aussteifungen notwendig

¹ **Abkürzungen:** UZ: Unterzug; MWS: Mindestwärmeschutz; WB: Wärmebrücke; BS: Brandschutz;; ggf. gegebenenfalls

5.1.2 Stützen-Träger-Systeme / Rahmen

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
1. Stützen-Träger-System gelenkige Anschlüsse	<ul style="list-style-type: none"> - linienförmiges System - Stützen-QS: I-PE, HE-A, HE-B, Kasten- und Rohr-QS, geschweißte QS - Verbundstützen bei sehr hohen Lasten - Trägerprofile: I-PE, HE-A - Stützweiten: 3-10 m - Profilhöhe: $h/l \cong 1/10..1/22$ - Vorbemessung → Kapitel 5.1.1 	<ul style="list-style-type: none"> - einachsig-lineare Tragwirkung - Biegebeanspruchung der Träger - Druck- und geringe Biegebeanspruchung der Stützen - Lastabtragung in Fundamente ist abhängig und/oder unabhängig vom Bestand möglich → Beanspruchbarkeit des Bestandes - Aussteifung des Systems durch vertikale Scheiben oder Verbände - Schlankheit und Stabilität der Stütze! 	<ul style="list-style-type: none"> - geringe WS-Anforderungen, da Außenwandauflager nicht notwendig ist - BS, wenn erforderlich, F30 bis F90, Träger vor allem Beschichtung, Stützen meist Verkleidung oder Putz 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung der Verbindungen → stark typisiert - meist Schraubverbindungen - Korrosionsschutz bei geschweißten Stützen-QS - Durchbildung Stützenfuß - Ausbildung der Aussteifung in der Tragebene und Halterung senkrecht dazu
2. Rahmen typische Ausbildung: Zweigelenrahmen* ²	<ul style="list-style-type: none"> - linienförmiges System - Stützen-QS: I-PE, HE-A, HE-B - Trägerprofile: siehe 1., sowie geschweißte QS - bei gleicher Belastung und Stützweite geringere QS-Höhen als bei 1. möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Tragwirkung und Lastabtragung wie bei 1. - Biege- und Normalkraftbeanspruchung von Stütze und Riegel - Steifigkeit und Verformungen in Abhängigkeit der Profile und Rahmeneckausbildung - Aussteifung in der Rahmenebene durch Eckausbildung - senkrecht dazu ist Halterung notwendig 	(siehe oben)	<ul style="list-style-type: none"> - Ausbildung der Rahmenecken → Einfluss auf statische Eigenschaften - typisierte Anschlüsse nutzbar - Durchbildung Stützenfuß - Realisierung der Halterung senkrecht zur Rahmenebene

¹ **Abkürzungen:** QS: Querschnitte; WS: Wärmeschutz; BS: Brandschutz;

² Die Ausführung eines biegesteifen Stahlskeletts ohne zusätzliche Aussteifung ist durch Rahmenausbildung in zwei Richtungen möglich

5.1.3 Decken

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
1. Trägerdecke Anschluss der Deckenträger an den UZ durch Querkraftanschlüsse (Beton ohne Verbund)	<ul style="list-style-type: none"> - flächiges Bauteil - wirkt raumabschließend - Stahlprofile: I-PE, HE-A - Betonplatte liegt auf Stahlträgern - Stützweite Deckenträger: 2,5-6m - Stützweite Unterzug: 3-10m - Höhe Unterzug: $h/l \cong 1/10..1/22$ - Höhe Betonplatte: 12-20cm - Stützweite Platte: 2-5m - zusätzlich Fußbodenaufbau u. ggf. Unterdecken 	<ul style="list-style-type: none"> - Einteilung in Haupt- und Nebentragrichtung - Betonplatte spannt zw. Deckenträgern - Deckenträger leiten Lasten in UZ - UZ leitet Lasten punktuell in den Bestand oder Stahlstützen ein - ggf. hohe Anforderungen an Bestand - zweiachsige Lastabtragung der Deckenplatte auch möglich, aber Trägerraster UZ-Deckenträger $L_y/L_x < 2$ - zusätzliche Aussteifung und Verankerung des Stahltragwerkes nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an Trittschallschutz und WS erfordern Aufbauten - MWS Außenwandaufleger - guter Luftschallschutz wegen hohem Flächengewicht - BS der Träger durch Beschichtung, Verkleidung oder Unterdecke - mit Verbund kann ohne zusätzliche Maßnahmen F 30 und mehr erreicht werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung der Betonplatte: bei Ortbeton → Schalung - Bei Fertigteilen → Hilfs- unterstützungen, Einbau in bestehende Gebäude? - feuchte Bauweise - Nutzung typisierter Stahlanschlüsse - Trägerverankerung
2. Trägerdecke Anschluss der Deckenträger an den UZ durch Querkraftanschlüsse (Beton mit Verbund)	<ul style="list-style-type: none"> - prinzipiell wie 1. aber Betonplatte durch Schubdübel mit Deckenträgern verbunden - größere Stützweiten aber auch Höhenreduzierung möglich - Höhe Betonplatte: 10-18cm - Gewichtseinsparung im Vgl. zu 1. 	<ul style="list-style-type: none"> - Haupt- und Nebentragrichtung - Betonplatte spannt je nach Geometrie ein- oder zweiachsig - schubsteifer Verbund → Erhöhung der Steifigkeit und der Tragfähigkeit durch mittragende Betonplatte → Druckzone - Scheibenwirkung für Gesamttragwerk - Verankerung der Trägerauflager 	<ul style="list-style-type: none"> - mit Verbund kann ohne zusätzliche Maßnahmen F 30 und mehr erreicht werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführung wie bei 1. - Dübel sind werkseitig aufgeschweißt - in Detailbereichen zusätzliches Aufschweißen - keine zusätzliche Aussteifung nötig

¹ **Abkürzungen:** UZ: Unterzug; WS: Wärmeschutz; MWS: Mindestwärmeschutz; BS: Brandschutz; ggf. gegebenenfalls

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
3. Verbundblechdecke Auf Unterzügen	<ul style="list-style-type: none"> - flächiges Bauteil - wirkt raumabschließend - UZ-Profile wie bei 1. und 2. - geringere Deckendicke als bei 2. → große Stützweiten werden wirtschaftlicher → keine Deckenträger notwendig - Gewichtsreduzierung - unterzugsarme Konstruktion - Plattendicke 10-16cm - Stützweite: 2-6 m und mehr 	<ul style="list-style-type: none"> - Haupt- und Nebentragrichtung - Deckenplatte spannt zwischen den UZ - UZ tragen Lasten in darunter liegende Bauteile ab → Beanspruchung des Bestandes im Vgl. zu 1. und 2. geringer - Schubstarre Verbindung zwischen Blech und Beton, sowie zwischen UZ und Decke - Durchlaufsysteme möglich - Scheibenwirkung der Gesamtkonstruktion - Steifigkeit des Gesamtsystems durch Verbunddecke höher als bei 1. und auch 2. 	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an Trittschallschutz und WS erfordern Aufbauten - MWS Außenwandauflager - guter Luftschallschutz wegen hohem Flächengewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung der Decke: Blech als verlorene Schalung, nur wenige Unterstützungen nötig - feuchte Bauweise - Trägerverankerung auf Massivbauteilen
4. Flachdecke Ausführung mit Beton oder Verbundblech möglich	<ul style="list-style-type: none"> - flächiges Bauteil - sehr geringe Bauhöhe - Beton liegt zwischen den Unterzügen - Sonderprofile mit breitem Untergurt und waagerechten Dübeln - Gesamthöhe: 20-30cm +Aufbau - Spannweiten der Platte: 3-8 m - UZ Spannweite: 6-9m 	<ul style="list-style-type: none"> - Haupt- und Nebentragrichtung - zweiachsige Deckentragwirkung ist erreichbar wenn Spannweite UZ ähnlich Abstand UZ: $L_y/L_x < 2$ - trotzdem nur einachsige Lastabtragung auf Bestand - im Gegensatz zu 2. und 3. sind Beton und Stahl druck- und zugbelastet - Scheibenwirkung der Gesamtkonstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> - BS der Träger durch Beschichtung, Verkleidung, Putz - F30 bis F90 und mehr erreichbar ohne Zusatzkonstruktionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführungspunkte wie 2. und 3.

¹ **Abkürzungen:** UZ: Unterzug; WS: Wärmeschutz; MWS: Mindestwärmeschutz; BS: Brandschutz; ggf. gegebenenfalls; Vgl. Vergleich

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
5. SLIMDEK Deckensystem (Flachdecke mit Stahltrapezprofilen und Leichtbeton)	<ul style="list-style-type: none"> - prinzipiell wie 4. - Anwendung von Leichtbeton - Gewichtsreduzierung des Deckensystems - Anwendung dünner Trapezbleche 	<ul style="list-style-type: none"> - prinzipiell wie 4. - Gewichtsreduzierung führt zu geringeren Lasten - geringere Beanspruchungen der lastabtragenden Konstruktionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Wärme- und Schallschutzeigenschaften ähnlich 1.-4. - BS: Verkleidung oder Beschichtung des freiliegenden Untergurtes notwendig → > F30 	<ul style="list-style-type: none"> - leichte Montage durch leichte Trapezbleche - wenig Stützkonstruktionen bei Betoniervorgang - feuchte Bauweise
6. Decken mit Holzschalung oder Werkstoffplatten (Stahltragwerk: UZ-Deckenträger)	<ul style="list-style-type: none"> - flächiges Bauteil - sehr geringe Bauhöhe - Profile: I-PE, HE-A - kleine Profilhöhen, da geringes Eigengewicht und kleines Raster - Unterzugstützweiten 3-10m - Abstand Deckenträger: 60-120 cm - Höhe: ca. 20cm + Aufbau - Fußbodenaufbau kann variieren 	<ul style="list-style-type: none"> - Haupt- und Nebentragrichtung - Platten spannen einachsig zwischen den Deckenträgern - geringe Steifigkeit der Holzschalung → geringe Systemsteifigkeit - Scheibenwirkung muss kontrolliert werden und ggf. hergestellt werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Luftschallschutz nicht so gut wie bei massiven Konstruktionen - Trittschallschutz durch Fußbodenaufbau - BS: Beschichtung oder Verkleidung der Träger, ggf. Unterdecke 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung typisierter Verbindungen - meist trockene Bauweise - leichte Montage in bestehenden Gebäuden durch kleine, leichte Profile
7. wie 6. (Tragwerk: Stahlunterzug, Holzdeckenträger)	<ul style="list-style-type: none"> - Eigenschaften wie 6. - oft sichtbar gestaltet - Verkleidung des Unterzugs - geringere Spannweite Holzträger im Vgl. zu Stahldeckenträgern 	<ul style="list-style-type: none"> - wie bei 6. - geringe zusätzliche Belastung des Tragwerks durch Deckeneigengewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - wie 6. - BS: nur beim Unterzug notwendig → Verkleidung 	<ul style="list-style-type: none"> - einfache Verbindung Holzträger – Stahl-UZ - Ausklinken und Auflegen der Holzträger auf Untergurt des Unterzugs

¹ **Abkürzungen:**; BS: Brandschutz; UZ: Unterzug

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
<p>8. Trägerroste aus Stahl</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aufbau der Decke ist variabel - Profile: I-PE, HE-A, Rechteck-, Quadratquerschnitte - biegesteife geschweißte Verbindungen erforderlich - Trägerhöhen variabel - Trägerraster quadratisch, auch rechteckig möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - zweiachsige Lastabtragung der Gesamtkonstruktion - Steuerung der Steifigkeit in jede Richtung über Trägerraster und Profilwahl - Lastabtragung steuerbar - horizontale Aussteifung des Systems durch steife Verbindung - Anpassung der Lastabtragung an Zustand der Auflager 	<ul style="list-style-type: none"> - Eigenschaften wesentlich abhängig vom weiteren Aufbau der Decke - BS: wenn erforderlich über Verkleidung, Beschichtung 	<ul style="list-style-type: none"> - wenn möglich Vorfertigung des Rostes in der Werkstatt → aufwendige Schweißverbindungen - Montagebedingungen am Einbauort beachten
<p>9. Decken in Stahlleichtbauweise</p>	<ul style="list-style-type: none"> - sehr leichte Konstruktion - Zusammensetzung aus Deckenträgern und Beplankung → Tafel - kaltgeformte I-, C-, U-, Σ-Profile - Trägerhöhe: 15-25 cm - Spannweite: 2,0-6,5m - Deckenhöhe gesamt: 18-50cm - Deckenaufbau wesentlich abhängig von bauphysikalischen Anforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Wirkung als Platte - Lastabtragung in Richtung der Deckenträger → einachsig - geringere Steifigkeit als massive Deckenkonstruktionen - verteilte Lasteintragung in darunterliegende Bauteile durch umfassenden Randträger → geringe Belastungen - Scheibenwirkung zur Aussteifung nutzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - höchste Schallschutzanforderungen erfüllbar - WS einfach realisierbar durch stets integrierte Dämmung - systematisierte Details zur Einhaltung höchster Anforderungen [Z2] - BS: nicht brennbare Konstruktion → bis F120 	<ul style="list-style-type: none"> - Beachtung wichtiger Detailpunkte - einfache Montage durch sehr leichte Elemente - meist trockene Bauweise → selten Anwendung von Estrich

¹ **Abkürzungen:** BS: Brandschutz; WS: Wärmeschutz

5.1.4 Wände

Konstruktion	konstruktive Eigenschaften* ¹	statische Eigenschaften und Wirkungsweise* ¹	Bauphysik* ¹	Ausführung* ¹
<p>1. Wände in Stahlleichtbauweise</p>	<ul style="list-style-type: none"> - raumabschließendes Bauteil - Stahlleichtprofile als Ständer - Beplankung aus Werkstoffplatten - bilden Wandtafel - Ausführung als Außenwand möglich - Ständer: C-Profile h=10-15cm - Blechdicken variabel - geringes Wandeigengewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - Scheibenwirkung durch kontinuierliche Verschraubung der Platten mit den Ständern - ggf. zusätzliche Verbände in Form von Diagonalen - gleichmäßig verteilte Lasteinleitung in darunter liegende Bauteile - geringe Belastungen des Bestands aus Eigengewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - höchste Schallschutzanforderungen erfüllbar - Gestaltung als Außenwand erfordert zusätzliche Dämmebene auf der Außenseite → WB Einflüsse der Ständer minimieren - systematisierte Details zur Einhaltung höchster Anforderungen [Z2] - BS: nicht brennbare Konstruktion → bis F120 	<ul style="list-style-type: none"> - Beachtung wichtiger Detailpunkte - einfache Montage durch sehr leichte Elemente - meist trockene Bauweise → selten Anwendung von Estrich
<p>2. Wände in Rahmenbauweise</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stahlrahmen als Tragelement - Eigenschaften: Kapitel 5.1.2 - verschiedenste Baustoffe für raumabschließende Funktion - leichte Trennwände möglich - Außenwandausführung mit verschiedenen Dämmsystemen 	<ul style="list-style-type: none"> - Rahmentragwirkung zur Lastabtragung - Wandelemente sind von statischen Aufgaben befreit - konzentrierte Lasteintragung in darunter liegende Bauteile - zusätzliche Belastung nur durch geringes Eigengewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - alle Anforderungen an MWS und Schallschutz sind durch unterschiedliche Baustoffe erfüllbar - Außenwandausführung häufig mit Wärmedämmverbundsystemen - BS: wenn erforderlich, stets F30 bis F90 erreichbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Eckausbildung bei Rahmentragwerk - Anschlussdetails zur Einhaltung der hohen Anforderungen an Wärme- und Schallschutz

¹ **Abkürzungen:** WS: Wärmeschutz; MWS: Mindestwärmeschutz; BS: Brandschutz; WB: Wärmebrücke; ggf: gegebenenfalls;

6. Zusammenfassung

Die Revitalisierung von Wohngebäuden ist gekennzeichnet durch eine Struktur- und Nutzungsänderung des Gebäudes bei gleichzeitiger Erhaltung wesentlicher Bestandteile der Bausubstanz. Es ist notwendig, vorhandene Tragelemente zu ersetzen oder zu ergänzen um diese Strukturänderung zu realisieren. Stahlkonstruktionen und Konstruktionen in Verbindung mit Stahl sind hierzu sehr gut geeignet. Um aber die Stahlkonstruktionen so gezielt wie möglich einsetzen zu können, ist eine ausführliche Betrachtung von Randbedingungen und deren Analyse notwendig. Vor allem der Zustand der bestehenden Bausubstanz und die daraus resultierenden Anforderungen an die „neue“ Konstruktion sind herauszuarbeiten. Es zeigt sich, dass der Einsatz von Stahl häufig die beste Möglichkeit ist, die Revitalisierung eines Gebäudes zu verwirklichen. Dies ist vor allem auf die Eigenschaften von Stahlkonstruktionen zurückzuführen. Neben der hohen Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht spielen die einfache Montage und die teilweise systematisierte und typisierte Anwendung von Elementen und Verbindungen eine Rolle. Mit Hilfe von Stahl lassen sich durch Anwendung einfacher Konstruktionsprinzipien und unter Beachtung wesentlicher Randbedingungen eine Vielzahl von Aufgaben bei der Revitalisierung von Gebäuden ausführen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde deutlich, dass es keine fertige Lösung für eine bestimmte Aufgabe beim Bauen im Bestand gibt. Vielmehr muss die Anwendung von bekannten Möglichkeiten auf eine bestehende Aufgabe stattfinden. Durch die prinzipielle Erarbeitung einzelner Konstruktionen, unter Beachtung gegebener Einschränkungen, ist diese Ableitung auf konkrete Aufgaben möglich.

Somit trägt der Einsatz des Baustoffs Stahl wesentlich dazu bei, die Substanzerhaltung und Weiternutzung von Gebäuden unter einem konstruktiv und auch wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu garantieren.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Arendt, Claus; Altbausanierung – Leitfaden zur Erhaltung und Modernisierung alter Häuser. Stuttgart: Dt. Verl.-Anst. 1993 – ISBN 3-421-02974-1

- [2] Büttner, Oskar; Hampe, Erhard; Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur, Band 1. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1977

- [3] Büttner, Oskar; Hampe, Erhard; Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur, Band 2. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1984

- [4] Dierks, Klaus; Schneider, Klaus-Jürgen; Wormuth, Rüdiger; Baukonstruktion, 4. Auflage. Düsseldorf: Werner Verlag 1997 – ISBN 3-8041-1374-5

- [5] Hart, Franz; Henn, Walter; Sontag, Hansjürgen; Stahlbau Atlas – Geschossbauten, 2. Auflage. Köln: Rudolf Müller Verlag, 1994 – ISBN 3-481-00791-4

- [6] Hoor, Dieter; Reiners, Holger; Alte Bauten, Neues Wohnen – Beispiele und Ideen für die Umnutzung. München: Callway 1990 – ISBN 3-7667-0967-4

- [7] Kahlmeyer, Eduard; Hebestreit, Kerstin; Vogt, Werner; Stahlbau nach DIN 18 800 (11.90) – Bemessung und Konstruktion – Träger, Stützen, Verbindungen, 4. Auflage. Neuwied: Werner Verlag, 2003 – ISBN 3-8041-4904-9

- [8] Keitel, Holger; Recherche zu Beispielen der Revitalisierung und Umnutzung bestehender Bausubstanz zur Wohnnutzung. Weimar: Bachelorarbeit, 2004

- [9] Kindmann, Rolf; Krahwinkel, Manuel: Stahl- und Verbundkonstruktionen. Leipzig: Teubner Verlag, 1999 – ISBN 3-519-05266-0

- [10] Lohse, Wolfram; Stahlbau 1, 24. Auflage. Leipzig: Teubner Verlag, 2002 – ISBN 3-519-25254-6

- [11] Lohse, Wolfram; Stahlbau 2, 20. Auflage. Leipzig: Teubner Verlag, 2005 – ISBN 3-519-25255-4

- [12] Luig, Klaus Th.; Lenze, Veronika; Stahl im Wohnungsbau. Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1998 – ISBN 3-433-01632-1
- [13] Müller, Karl-Heinz; Arbeitsblätter zum Projekt III – Planung eines Ingenieurbauwerks. Weimar: Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Planung von Ingenieurbauten, 2003
- [14] Natterer, Julius; Herzog, Tomas; Volz, Michael; Holzbau Atlas 2, 2. Auflage. Düsseldorf: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., 1991
- [15] Petersen, Christian; Stahlbau – Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten, 3. Auflage. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 1993 – ISBN 3-528-28837-X
- [16] Polónyi, Stefan; Walochnik, Wolfgang; Architektur und Tragwerk. Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 2003 – ISBN 3-433-01769-7
- [17] Rickenstorf, Günther; Berndt, Eberhard; Tragwerke für Hochbauten. Leipzig: Teubner Verlag, 1981
- [18] Schmitt, Heinrich; Heene, Andreas; Hochbaukonstruktion, 15. Auflage. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2001 - ISBN 3-528-08854-0
- [19] Schneider, Klaus-Jürgen; Bautabellen für Ingenieure, 15. Auflage. Düsseldorf: Werner Verlag 2002 – ISBN 3-8041-4190-0
- [20] Scheider, Lutz; Skripten zum Lehrgebiet Stahlbau – Teil 2. Weimar: Fakultät Bauingenieurwesen, Skriptum Sommersemester 2004
- [21] Schuliz, Helmut C.; Sobek, Werner; Habermann, Karl J.; Stahlbau Atlas. Köln: Rudolf Müller Verlag, 1999 – ISBN 3-481-01507-0
- [22] Sedlacek, G.; Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, 2. Auflage. Düsseldorf: Dt. Stahlbauverlagsgesellschaft, 2002 – ISBN 3-923726-94-5
- [23] Stöffler, Jürgen; Samberg, Susanne; Tragwerksentwurf für Architekten und Bauingenieure. Berlin: Bauwerk Verlag, 2002 – ISBN 3-934369-39-1

- [24] Wagenknecht, Gerd; Stahlbau-Praxis, Band 1: Tragwerksplanungen – Grundlagen. Berlin: Bauwerk Verlag, 2002 – ISBN 3-934369-57-X
- [25] Wagenknecht, Gerd; Stahlbau-Praxis, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen. Berlin: Bauwerk Verlag, 2005 – ISBN 3-934369-58-8
- [26] Rybicki, Rudolf; Faustformeln und Faustwerte für Konstruktionen im Hochbau, Teil 1: Geschoßbauten, 3.,neubearbeitete Auflage. Düsseldorf: Werner-Verlag, 1988

Zeitschriften

- [Z1] Ollendiek, Winfried; DAVEX: Innovative Verbindung von Flachmaterial unterschiedlicher Werkstoffe und Geometrien zu Trägern, Profilen und Hybriden. In: Bauingenieur, Band 80, März 2005. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 2005
- [Z2] Stahl-Informations-Zentrum, Dokumentation 560; Häuser in Stahl-Leichbauweise. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, 2002
- [Z3] Stahl-Informations-Zentrum, Dokumentation 573; Stahl im Wohnungsbau – innovativ und wirtschaftlich. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, 2002
- [Z4] Stahl-Informations-Zentrum, Dokumentation 574; Neues Wohnen mit Stahl. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, 2002
- [Z5] Stahl-Informations-Zentrum; Wohnungsbau mit Stahl 076; Aufstockung eines Fachwerkhauses in Dinslaken. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, 2001
- [Z6] Suttrop, Walter; Decken in Stahlbauweise – ein aktueller Überblick. In: Bauingenieur, Band 80, Januar 2005. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 2005
- [Z7] Ludwig, Josef J.; Ertüchtigung einer Stahlbetondecke im denkmalgeschützten Rathaus Augsburg. In: Stahlbau, Band 73 (2004), Heft 3.

Internetverzeichnis (Abrufdatum)

- [I1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Steifigkeit> (08.06.2005)
- [I2] <http://www.bauen-mit-stahl.de/publikationen/arbeitshilfen.htm>
- [I3] <http://www.corusconstruction.com/index.asp> (24.06.2005)
- [I4] <http://www.stahl-info.de> (22.06.2005)
- [I5] <http://www.tailored-blanks.com/de/innovationen/davex.jsp> (22.06.2005)
- [I6] http://www.stahl-info.de/stahl_im_bauwesen/stahl_im_bauwesen.htm (06.07.2005)

Normen

- [N1] DIN 4108-2 (07.03)
- [N2] DIN 18800-1 (11.90)
- [N3] DIN 18800-2 (11.90)
- [N4] DIN V 18800-5 (11.04)
- [N5] DIN 4109 (11.89)
- [N6] DIN 1052 (08.04)

weitere Quellen

- [Q1] Unterlagen zur Sanierung eines Mehrfamilienhauses in Erfurt
Firma: F+S Dachprofi GmbH, Das Steinfeld 15, 99869 Wandersleben

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Einfluss der Geometrie auf die Tragstruktur; aus [13]	9
Abbildung 3.2: Einflüsse auf die Steifigkeit; aus [3]	16
Abbildung 3.3: Einfluss der Einwirkung auf die Tragelementwahl; abgeleitet aus [13]	17
Abbildung 3.4: Randbedingungen und Einflüsse bei der Konstruktionsauswahl	21
Abbildung 4.1: Bauteil in Integralbauweise; aus [21]	23
Abbildung 4.2: Vergleich Ein- und Zweifeldträger; aus [2]	25
Abbildung 4.3: Einfluss der Durchlaufwirkung; aus [23]	26
Abbildung 4.4: Leichtprofile und ihre Anwendungsmöglichkeiten; aus [Z2]	28
Abbildung 4.5: Anwendung von Leichtprofilen als Dachtragwerk; aus [Z1, Z5]	28
Abbildung 4.6: Sonderprofile für Stahlträger; aus [15]	29
Abbildung 4.7: Lasteinleitung in Stahlbauteile; aus [5]	30
Abbildung 4.8: Rippenlose Lasteinleitung, Berechnungsansätze, aus [25]	30
Abbildung 4.9: Trägersaussteifung (Rippen), aus [20]	31
Abbildung 4.10: Knaggenanschluss als Auflagerkonstruktion, aus [25]	31
Abbildung 4.11: Beispiele für Trägersauflagerung auf Stahlbauteilen, aus [25]	32
Abbildung 4.12: Konstruktive Ausführung eines Trägersauflagers, aus [10]	33
Abbildung 4.13: Auflager mit Lagerplatte, aus [10]	33
Abbildung 4.14: Lastverteilung in massiven Bauteilen, aus [18]	34
Abbildung 4.15: Auflagerverstärkung bei Mauerwerk, aus [9]	34
Abbildung 4.16: Eingespanntes Auflager auf Massivbauteilen, aus [20]	35
Abbildung 4.17: Anschluss von Stahlbauteilen durch Andübeln oder Durchankern, aus [9]	35
Abbildung 4.18: Auflagerung von Trägern auf Stahlbetonwänden, aus [9]	35
Abbildung 4.19: Auflagerverstärkungen bei Leichtprofilen; aus [Z2]	36
Abbildung 4.20: Doppelwinkelanschluss, Ausführungsvarianten, aus [25]	39
Abbildung 4.21: Beispiele zu Fahnenblechanschlüssen, aus [5]	40
Abbildung 4.22: Fahnenblechanschluss, Ausführungsvarianten, aus [20]	40
Abbildung 4.23: Gelenkiger Stirnplattenanschluss, Ausführungsformen, aus [25]	41
Abbildung 4.24: Laschenstoß, Ausführungsformen, aus [25]	42
Abbildung 4.25: Stirnplattenstoß, Ausführungsformen, aus [25]	44
Abbildung 4.26: Biegesteifer Stirnplattenanschluss, Ausführungsvarianten, aus [25]	44
Abbildung 4.27: Geschweißter Trägerstoß, Ausführungsformen, aus [25]	45
Abbildung 4.28: Geschweißter Anschluss, Ausführungsformen, aus [5]	46
Abbildung 4.29: Biegesteife Ecken und Verbindungen, Ausführungsbeispiele, [aus 25]	46

Abbildung 4.30: Verbindungsmöglichkeiten und -mittel der Stahleleichtbauweise, aus [Z2]	47
Abbildung 4.31: Verschiedene Sonderkantteile in einem Dachstuhl, aus [Z5]	48
Abbildung 4.32: Vergleich Deckenträger ohne Verbund und mit Verbund, aus [I2]	52
Abbildung 4.33: Stahlbetonverbunddecke, aus [9]	52
Abbildung 4.34: Stahlbetonverbunddecken, Ausführungsformen, aus [9]	53
Abbildung 4.35: Stahlblechverbunddecken, Ausführungsformen, aus [5]	54
Abbildung 4.36: Stahlbetondecken als Flachdecken, Ausführungsformen, aus [9]	55
Abbildung 4.37: Stahlblechverbunddecke als Flachdecke, Ausführungsvarianten, aus [9]	55
Abbildung 4.38: SLIMDEK Deckensystem, aus [Z4 S. A9] und Walzprofil, aus [I5]	56
Abbildung 4.39: Prinzipieller Deckenaufbau Stahleleichtbauweise; Isometrie, aus [Z3]	58
Abbildung 4.40: Verbindung der einzelnen Elemente zur Decke, aus [Z2]	58
Abbildung 4.41: Möglicher Deckenaufbau, aus [Z2]	59
Abbildung 4.42: Kombination der einzelnen Elemente verschiedener Systeme, aus [Z5]	59
Abbildung 4.43: Darstellung der Punkte Pfette und Deckenträger, aus [Q1]	61
Abbildung 4.44: Ersatz der Wände durch Stahlunterzüge, aus [Q1]	62
Abbildung 4.45: Vergleich der Steifigkeiten Verbundträger, Stahlträger, aus [5]	64
Abbildung 4.46: Einfluss der Verdübelung auf die Steifigkeit eines Verbundträgers, aus [I2]	64
Abbildung 4.47: Überblick über die Ansätze bei Auflagerung auf Unterzügen, aus [Z4]	65
Abbildung 4.48: Prinzipieller Deckenaufbau, Trägerdecke, aus [5]	66
Abbildung 4.49: Funktion der einzelnen Deckenbestandteile, aus [5]	67
Abbildung 4.50: Schallschutz; Variationsmöglichkeiten beim Deckenaufbau, aus [Z2]	68
Abbildung 4.51: Vergleich Deckenaufbau und Schallschutzeigenschaften, aus [Z2]	69
Abbildung 4.52: offene Querschnitte, Ausführungsformen, aus [10]	71
Abbildung 4.53: geschlossener Querschnitt, Ausführungsformen, aus [10]	71
Abbildung 4.54: Stützenkopf, Ausführungsformen, aus [Z5]	72
Abbildung 4.55: Lasteinleitung in eine Stütze, Ausführungsformen, aus [5]	73
Abbildung 4.56: Anschlüsse an geschlossene Profile, a) aus [5]; b) aus [Z5]	73
Abbildung 4.57: gelenkige Stützenfüße, Ausführungsvarianten, aus [Z5]	74
Abbildung 4.58: Aussteifung einer Wand in Stahlrahmenbauweise mit Verband, aus [Z3]	76
Abbildung 4.59: Prinzipieller Wandaufbau, aus [Z3]; Aufstockung in Leichtbauweise, [Z5]	77
Abbildung 4.60: Details: Fußpunkt einer Wand in Stahleleichtbauweise, aus [Z2] / [I6]	78
Abbildung 4.61: Ausschnitt aus Tragfähigkeitstafel für Wandprofile, aus [Z2]	79
Abbildung 4.62: Vergleich der Wandaufbauten in Leicht- und Rahmenbauweise, aus [Z2]	81
Abbildung 4.63: Anschluss der Deckenträger an das Abschlussprofil, aus [Z2]	83
Abbildung 4.64: Trägerverankerung in massiven Bauteilen, aus [10]	84

Abbildung 4.65: Beispiele zur Ausbildung von Wandverbänden, aus [Z2]	85
Abbildung 4.66: Vergleich der beiden Aussteifungssysteme bei Leichtbauweise, aus [Z2]	86
Abbildung 4.67: Anschluss U-Profil – Pfette, aus [Q1]	88
Abbildung 4.68: Verstärkung der Mittelpfette durch U-Profile, aus [Q1]	88
Abbildung 4.69: Prinzipieller Aufbau des neuen Tragsystems, aus [Z7]	89
Abbildung 4.70: Schnitt durch die Deckenkonstruktion, aus [Z7]	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Vergleich der Widerstandsmomente W_y	27
Tabelle 4.2: Eigenschaften des Doppelwinkelanschluss	39
Tabelle 4.3: Eigenschaften des Fahnenblechanschluss	40
Tabelle 4.4: Eigenschaften des Stirnplattenanschluss	41
Tabelle 4.5: Eigenschaften des Laschenstoßes	43
Tabelle 4.6: Eigenschaften biegesteifer Stirnplattenverbindungen	44
Tabelle 4.7: Gewichtsvergleich bei gleicher Tragfähigkeit	61
Tabelle 4.8: Vergleich der Trägerhöhen bei gleicher Tragfähigkeit	63
Tabelle 4.9: Vergleich des Eigengewichts bei unterschiedlichem Wandaufbau	75

Selbständigkeitserklärung

E r k l ä r u n g

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Weimar, 18.07.2005

Thesen zur Bachelorarbeit:

Erarbeitung eines Konstruktionskatalogs für die Revitalisierung von Wohnbauten unter Einsatz des Baustoffs Stahl.

- Erste Grundlage für die Entwicklung eines Konstruktionskatalogs ist die ausführliche Analyse von Randbedingungen unter Verwendung grundlegender Begriffe wie zum Beispiel Tragwerk und Tragstruktur oder auch Tragelement und statisches System.
- Die Wahl einer Konstruktion hängt neben statischen und konstruktiven Randbedingungen auch von bauphysikalischen, herstellungstechnologischen, ästhetischen, ökologischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Belangen ab.
- Die Ertüchtigung bestehender Tragwerke ist oftmals Grundlage für die Weiterverwendung bestehender Bausubstanz im Rahmen der Umnutzung eines Gebäudes.
- Durch die Kombination der vier grundlegenden Bauweisen im Stahlbau und die Beachtung der Randbedingungen die ein bestehendes Gebäude an ein neues Stahltragwerk stellt, lässt sich nahezu jedes Tragwerk mit den gewünschten Eigenschaften in die bestehende Bausubstanz einfügen.
- Die Stahlbauweise ist durch eine hohe Systematisierung und auch Typisierung gekennzeichnet. Dies ermöglicht, unter Beachtung wichtiger Randbedingungen, die einfache und somit kostengünstige Integrierung eines Tragwerks in ein bestehendes Gebäude. Vor allem die Stahlleichtbauweise spielt unter diesem Gesichtspunkt eine wesentliche Rolle auf dem Gebiet der Revitalisierung.
- Im Vergleich zum Neubau muss das Prinzip des Tragwerksentwurfs beim Bauen im Bestand in einigen Bereichen umgekehrt betrachtet werden. Hier werden nicht Wände und Stützen auf die Lasten aus den Decken und Unterzügen ausgelegt, sondern Decken- und Trägerkonstruktionen sowie die Anwendbarkeit verschiedener Konstruktionsprinzipien hängen in starkem Maße vom Zustand und der Tragfähigkeit bestehender Wände und Stützkonstruktionen ab.

- Durch die gezielte Untersuchung ausgewählter Aspekte und Betrachtung der gegebenen Randbedingungen können unzulässige Tragwerksbelastungen und daraus resultierende Bauschäden vermieden werden.
- Der Konstruktionskatalog ist kein umfassendes Werk für Ausführungsdetails zu jeder möglichen Aufgabenstellung bei der Revitalisierung von Gebäuden. Vielmehr soll er einen Überblick über mögliche Konstruktionsprinzipien geben. In Anwendung der gegebenen Randbedingungen und des Katalogs können Lösungen für die zu bearbeitende Aufgabe abgeleitet werden.
- Die Klassifikation einer Konstruktion kann nicht nur nach ihren konstruktiven und statischen Eigenschaften erfolgen. Die Anforderungen an die bestehende Bausubstanz, bauphysikalische Betrachtungen sowie wesentliche Ausführungsmerkmale müssen ergänzend betrachtet werden.