Bauhaus- Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen

Aufgabenstellung zur Diplomarbeit für cand. ing. Patricia Reißhauer

B /95/E Matr.Nr. 950472 Reg.-Nr. B / 2001 / 154

Thema:

Brandschutz bei Konstruktionen aus Kunststoffbewehrter Erde mit begrünter Böschungsfront

Erstprüfer: Prof. Dr. K. J. W i t t Professur Grundbau

Zweitprüfer: Dr. R. W e n d t Professur Grundbau

Arbeitsbeginn: 06.08.2001

Abgabetermin: 06.11.2001

Pflichtkonsultationen 14-tägig

Weimar, Juli 2001

Prof. Dr.-Ing. R a u t e n s t r a u c h
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Patricia Reißhauer

Brandschutz bei Konstruktionen aus Kunststoffbewehrter Erde mit begrünter Böschungsfront

Stützkonstruktionen aus Kunststoffbewehrter Erde werden üblicherweise mit der Umschlagbauweise bei Böschungsneigungen bis 70° ausgeführt und begrünt. Dies bedingt, dass die Bewehrung luftseitig relativ dicht an der Oberfläche liegt. Bei der Begrünung solcher Konstruktionen sind infolge der Steilheit und in Abhängigkeit der Geländeexponierung jahreszeitlich bedingt Trockenzustände möglich, so dass es im Brandfall zu einer Beschädigung der Geokunststoffbewehrung kommen kann.
Über das Brandverhalten von KBE-Konstruktionen bzw. Brandlast und Brandschutz gibt es nur dürftige Angaben. Zielstellung der Diplomarbeit ist es, die Problematik Brandschutz und Brandverhalten rechtlich und technisch zu behandeln, die Brandlast derartiger Konstruktionen zu ermitteln und Brandversuche durchzuführen um das Verhalten der Konstruktionen im Fall einer derartigen Beschädigung zu untersuchen. Als Ergebnis der Arbeit werden Empfehlungen zur brandsicheren Gestaltung derartiger Konstruktionen erwartet. Damit ergeben sich folgende **Schwerpunkte:**

- **Grundlagen zu Brandschutz und Brandverhalten,**
  Besonderheiten der KBE-Konstruktionen
- **Vorbereitung Brandversuch:** Versuchsziele, Versuchskonzepte, Versuchsaufbau, -reihenfolge, Voraussetzungen (sachlich, personell), Abstimmungen mit dem Praxispartner (SDFI Chemnitz), Vorbereitung der Dokumentation
- **Ausführung und Auswertung Brandversuch**
- **Geotechnische Untersuchungen zur geschädigten Konstruktion**
- **Empfehlungen** zur brandsicheren Gestaltung von Stützkonstruktionen aus Kunststoffbewehrter Erde

Allgemeines
Die Arbeit ist in enger Abstimmung mit dem Ingenieurbüro IHB Dipl.-Ing. Herold und mit den Betreuern durchzuführen. Nach einer Bearbeitungszeit von 3 Wochen ist ein Arbeitsplan vorzulegen, der fortzuschreiben ist.
Für das Diplomverfahren gilt die Diplomprüfungsordnung der Fakultät Bauingenieurwesen. Es sind zwei Exemplare der Arbeit plus Datenträger abzugeben.
Zusammenstellung der Arbeit: Titelblatt, Aufgabenstellung, Inhaltsverzeichnis, Textteil, Verzeichnisse, eidesstattliche Erklärung, Anlagen.

Prof. Dr. K. J. Witt
Erstprüfer

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Grundbau

DIPLOMARBEIT

2001

Thema: Brandschutz bei Konstruktionen aus Kunststoffbewehrter Erde mit begrünter Böschungsfront

Eingereicht von: Patricia Reißhauer

Geb. am : 24. 04. 1977 in Hohenmölsen

Seminargruppe: B/95/E Matrikel-Nr.: 950472 Reg.-Nr.: B / 2001 / 154

Erstprüfer: Prof. Dr. K. J. Witt Professur Grundbau
Zweitprüfer: Dr. R. Wendt Professur Grundbau

Arbeitsbeginn: 06. 08. 2001
Abgabetermin: 06. 11. 2001

Vorsitzender des Prüfungsausschusses: Prof. Dr.-Ing. Rautenstrauch

Weimar, Dezember 2001

1 EINLEITUNG 8

1.1 Problemstellung 8

1.2 Zielsetzung 9

1.3 Vorgehensweise 9

2 GRUNDLAGEN ZU BRANDSCHUTZ UND BRANDVERHALTEN ... 11

2.1 Schutzziele 11

2.2 Unbeeinflusste Brände im Freien 13

2.3 Brandlast 15

2.3.1 Definition 15

2.3.2 Berechnung 15

2.3.3 Bewertung in Verbindung mit dem Geotechnischen Risiko 18

2.3.4 Zusammenfassung 19

2.4 Der Geokunststoff als „Kunststoff“ 20

2.4.1 Brandverhalten 20

2.4.2 Thermisches Verhalten 20

2.4.2.1 Allgemeines, Begriffe 20

2.4.2.2 Spezifische Wärmekapazität c_p, Verbrennungswärme 23

2.4.2.3 Wärmeleitfähigkeit λ 23

2.4.2.4 Temperaturleitfähigkeit 24

2.4.2.5 Wärme – Ausdehnungskoeffizient 24

2.4.3 Aufbau der Geokunststoffe 26

3 VORSCHRIFTEN UND RECHTLICHE GRUNDLAGEN 28

3.1 Allgemeines 28

3.2 Verantwortlichkeit 28

3.2.1 Juristische Verantwortlichkeit ... 28

3.2.2 Adressaten der Ordnungspflicht ... 29

3.3 Brandschutz- und Hilfeleistungsrecht ... 30

3.4 Straf- und Ordnungswidrigkeitenrecht ... 30

3.4.1 Das Strafgesetzbuch ... 31

3.4.1.1 Allgemeiner Teil ... 31

3.4.1.2 Besonderer Teil ... 31

3.4.2 Das Ordnungswidrigkeitengesetz ... 31

3.5 Bauordnungsrecht ... 32

3.5.1 Allgemeines ... 32

3.5.2 Musterbauordnung ... 32

3.5.2.1 Anwendung ... 32

3.5.2.2 Auswirkungen auf die Geokunststoffe ... 35

3.5.2.3 Ziel des Brandsicherheitsnachweises bezüglich der Musterbauordnung ... 36

3.5.3 Das Bauproduktengesetz (BauPG) ... 37

3.5.4 Die Bauprodukten-Richtlinie ... 39

3.5.4.1 Die Grundlagendokumente ... 39

3.5.4.2 Ingenieurmethoden auf dem Gebiet der Brandsicherheit (Erläuterung der wesentlichen Anforderung) ... 39

3.5.4.3 Grundlagen für den Nachweis der Erfüllung der wesentlichen Anforderung Brandschutz ... 40

3.5.4.4 Technische Spezifikation und Leitlinien für die *europäische* technische Zulassung ... 41

3.5.4.5 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit ... 43

3.6 HOAI ... 45

3.7 Zusammenfassung ... 45

4 BRANDVERSUCH ... 47

4.1 Versuchsvorbereitungen ... 47

4.1.1 Allgemeines ... 47

4.1.2 Prüfeinrichtung ... 47

4.1.2.1 Probematerial ... 47

4.1.2.2 Probekörper ... 47

4.1.2.3 Prüfboden ... 48

4.1.2.4 Produktauswahl der Geokunststoffe ... 48

4.1.2.5 Produktauswahl der Begrünungsmatten ... 49

4.1.3 Messproben ... 49

4.1.3.1 Anzahl der Messproben für den Geokunststoff ... 49

4.1.3.2 Probenahme für den Geokunststoff ... 49

4.1.3.3 Probenahmebericht ... 49

4.2 Versuchskonfiguration ... 51

4.2.1 Allgemeines ... 51

4.2.2 Versuch im uneingebauten Zustand ... 51

4.2.3 Versuchsstufe 1 ... 54

4.2.3.1 Probekörpereinfassung ... 54

4.2.3.2 Geokunststoff ... 54

4.2.3.3 Begrünung ... 55

4.2.3.4 Kombination von Geokunststoff und Begrünungsmatte ... 55

4.2.4 Zur Weiterführung empfohlene Versuchstufe 2 ... 58

4.2.4.1 Probekörpereinfassung ... 58

4.2.4.2 Geokunststoff ... 58

4.2.4.3 Belastungseinrichtung ... 58

4.2.4.4 Begrünung ... 58

4.2.4.5 Messtechnik ... 58

4.2.5 Vorschlag zu detaillierterer Versuchskonfiguration der Versuchstufe 2 ... 62

4.2.5.1 Allgemeines ... 62

4.2.5.2 Probekörpereinfassung ... 62

4.2.5.3 Geokunststoff ... 63

4.2.5.4 Belastungseinrichtung ... 63

4.2.5.5 Begrünung ... 63

4.2.5.6 Messtechnik ... 63

4.3 Versuchsdurchführung 65

4.3.1 Brenner 65

4.3.2 Versuch im uneingebauten Zustand 65

4.3.3 Versuchsstufe1 65

4.3.4 Zur Weiterführung empfohlene Versuchsstufe 2 66

4.3.4.1 Allgemeines 66

4.3.4.2 Lastaufbringung 66

4.3.4.3 Beginn der Prüfung 66

4.3.5 Beobachtungen und Messungen 66

4.3.6 Wärmeeintragung 67

4.3.7 Versuchsende 67

4.4 Versuchsauswertung 68

4.4.1 Versuchsprotokolle 68

4.4.2 Versuche im uneingebauten Zustand 68

4.4.2.1 MP1 und MP2 68

4.4.2.2 MP3 und MP4 72

4.4.2.3 MP5, MP6 und MP7 75

4.4.2.4 MP8 und MP9 78

4.4.2.5 MP10 82

4.4.2.6 MP11 84

4.4.2.7 MP12 und MP13 86

4.4.3 Versuchsreihe 1 89

4.4.4 Auswertung der erlangten Ergebnisse bezüglich der Brandlast 95

4.4.4.1 Abbrandfaktor m 95

4.4.4.2 Kombinationsbeiwert ψ 96

4.4.4.3 Kombinationsbeiwert zur Berücksichtigung der Neigung ξ 96

4.4.4.4 Beispiel 1 97

4.4.4.5 Entwurf von Grenzwerten maxq_R in Verbindung mit dem Geotechnischen Risiko 98

4.4.4.6 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Brandlast 98

4.4.5 Auswertung der Zugkraftverluste der Proben im uneingebauten Zustand 99

4.5 Zusammenfassung 101

5 EMPFEHLUNGEN ZUR VERMEIDUNG UND EINDÄMMUNG VON BRÄNDEN 102

5.1 Allgemeines 102

5.2 Grundsätzliche Aspekte zur Brandvermeidung 102

5.2.1 Allgemeine Vermeidungskriterien 102

5.2.2 Konstruktive Aspekte zur Brandvermeidung bzw. -eindämmung 103

5.2.2.1 Exponierung und Neigung der Konstruktion 103

5.2.2.2 Wahl der Geogitter 103

5.2.2.3 Außenhautgestaltung 104

5.2.2.4 Wahl des Begrünungsmatte 107

5.2.2.5 Art des Füllbodens 107

5.2.3 Untersuchungstechnische Empfehlungen 107

5.3 Maßnahmen im Brandfall 108

5.4 Zusammenfassung 108

6 SANIERUNG VON BRANDGESCHÄDIGTEN KBE-KONSTRUKTIONEN 109

6.1 Allgemeines 109

6.2 Sanierungen in Abhängigkeit vom Beschädigungsgrad 109

6.2.1 Festlegung des Beschädigungsgrades 109

6.2.2 Untersuchung und Sanierung der KBE-Konstruktion 110

6.3 Zusammenfassung 113

7 LITERATURVERZEICHNIS 114

8 ANLAGEN 118

9 SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG 163

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Durch den stetig steigenden Platzbedarf der Bevölkerungsdichte sind die Kosten für den Baugrund bei vielen Bauvorhaben von großer, vielfach von entscheidender Bedeutung. Häufig müssen auch Bauwerke innerhalb vorhandener Bebauung verbunden mit entsprechenden räumlichen Zwängen errichtet werden. Deshalb kamen in den letzten Jahren in allen Bereichen des Bauwesens Verfahren in steigendem Maße zum Einsatz, die den Platzbedarf optimieren.
Großen Platzbedarf haben konventionell errichtete Böschungen im Erd- und Dammbau. Massive Stützkonstruktionen zur Verringerung des Platzbedarfs sind teuer und aus ökologischen und auch ästhetischen Gründen häufig abzulehnen. [1] Flexible und begrünbare geokunststoffbewehrte Steilböschungen und Stützbauwerke gewinnen deshalb auch aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit an Bedeutung und werden zunehmend immer häufiger erstellt.
Die Errichtung von Stützkonstruktionen in der Bauweise „Kunststoffbewehrte Erde“ (KBE) erfreut sich dabei in der Praxis immer größeren Zuspruchs. Ein wesentlicher Vorteil der Bauweise ist in der Begrünbarkeit der gesamten Böschungsfront zu sehen. Mit dem Bauverfahren können sehr elegant landschaftsplanerische Belange berücksichtigt werden [2]. Die als Bewehrung eingesetzten Geokunststoffe werden dabei lagenweise eingebaut. Das für den Füllboden eingesetzte Schüttmaterial besteht dabei meist aus einem Sand-Kies-Gemisch der Körnungen 0/32 oder 0/45.
Die Stirnfläche der Böschung wird durch Umschlagen des Geokunststoffs in die darüber liegende Bewehrungslage verkleidet. Wegen des polsterartigen Aussehens solcher Konstruktionen bezeichnet man eine auf diese Art aufgebaute Steilböschung auch als Polsterwand (Abbildung 1). Die Bewehrungslagen übernehmen dabei die vom Boden selbst nicht aufnehmbare Zugspannung. [1]

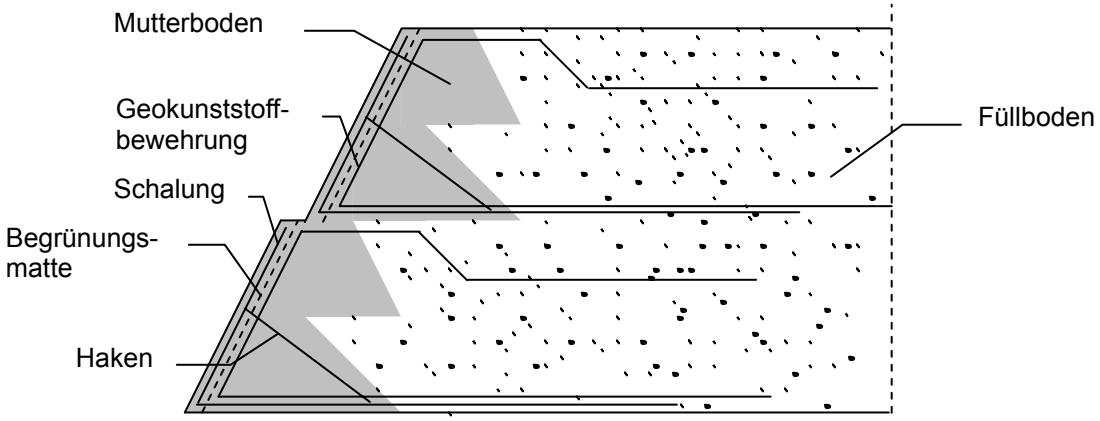


Abbildung 1 üblicher Aufbau einer KBE-Konstruktion, hier der sog. „Polsterwand“

Im Bauwesen ist es eine Kernfrage, ob das eingesetzte Baumaterial die erforderlichen Eigenschaften für die Gebrauchsdauer behält. Bei konventionellen Baustoffen bestehen jahrzehntelange Erfahrungen, die zur Bewertung herangezogen werden.

Baustoffe, die erst seit wenigen Jahren oder Jahrzehnten eingesetzt werden und die ständig weiterentwickelt werden, haben es da wesentlich schwerer, von ihrer Dauerhaftigkeit zu überzeugen. [3]
Während der Planung und Ausführung der erwähnten KBE-Konstruktionen befassen sich die am Bau beteiligten meist sehr intensiv mit dem statischen System, dessen Berechnung sowie der Auswahl der Bewehrungen und des Füllbodens. Im Gegensatz dazu wird der Außenhaut im allgemeinen nur eine untergeordnete Beachtung geschenkt. Häufig wird hier nur auf ein vom Markt geliefertes System verwiesen, bezüglich besonderer Geländeexponierungen – wie z.B. Südhanglagen - aber nicht näher auf speziellere Konstruktionen eingegangen. Aber gerade hier können sehr große Mängel, beispielsweise Minderbewuchs oder Austrocknung der Vegetation in Dürreperioden entstehen, welche die Gebrauchstauglichkeit und langfristig sogar die Standsicherheit des Bauwerks beeinträchtigen können. [4]

1.2 Zielsetzung

Aufgrund der mangelnden Untersuchungen hinsichtlich der Qualitätssicherung der Außenhaut werden bei KBE-Konstruktionen immer noch zu oft katalogisierte Systeme eingesetzt und wenig auf spezielle Standortbedingungen eingegangen.
Aber gerade bei sehr steilen Stützkonstruktionen aus kunststoffbewehrter Erde kann es in jahreszeitlich bedingten Trockenzeiten zur Austrocknung solcher Systeme kommen, so dass es im Brandfall zu einer Beschädigung der bei Polsterwänden luftseitig sehr dicht an der Oberfläche liegenden Bewehrung kommen kann.
Ziel der Arbeit ist es, das Brandverhalten begrünter KBE-Konstruktionen in einem Brandversuch in Abhängigkeit verschiedener Parameter näher zu untersuchen und zu beurteilen.
Dabei sollen die Einflüsse des Einsatzes verschiedener Geokunststoffmaterialen und Begrünungssysteme, Aufschlüsse über eher brandsichere und zur Brandbegünstigung neigende Konstruktionen geben.

1.3 Vorgehensweise

Zur ersten Beurteilung des Beschädigungsgrades von Geokunststoffen und Begrünungsmatten unter Brandeinwirkung werden diese in einer speziell dafür hergestellten Halterungsvorrichtung im uneingebauten Zustand geprüft.
Hinsichtlich der Beschädigungsbeurteilung des untersuchten Geokunststoffes im eingebauten Zustand wird der Brandversuch in zwei Versuchsstufen unterteilt. Bei beiden Versuchen werden Versuchskörper hergestellt, die eine in der Praxis als Polsterwand zum Einsatz kommende Stützkonstruktion darstellen.
Der erste Versuch soll sich hauptsächlich auf den Beschädigungsgrad der eingesetzten Geokunststoffe in Kombination mit unterschiedlichen Begrünungssystemen während einer noch vollständig intakten Begrünung beschränken. Dazu wird das Geokunststoffmaterial nach dem Brandversuch in Augenschein genommen und das KBE-System bezüglich seiner Brandsicherheit beurteilt.
Um eine extremere Situation darzustellen, sollen für die Versuchsstufe 2 die bereits in der 1. Stufe erprobten Probekörper – soweit diese nicht größer beschädigt sind - nicht weiter bewässert werden, um diese vollständig austrocknen zu lassen. In Auswertung des ersten Versuchs sollten speziellere Parameter für die zweite Versuchsstufe festgelegt werden. Aufgrund des Beschädigungsgrades der in der ersten Versuchsstufe eingesetzten Geokunststoffe können schon Rückschlüsse zur Temperaturausbreitung und eventuellen Temperaturspitzen gemacht werden. Diese

sind entscheidend für die Festlegung der Innenthermoelemente, die in der zweiten Versuchsstufe zur detaillierten Beurteilung der Temperaturausbreitung zum Einsatz kommen sollen.
Auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen und in Recherche vorhandener durchgeführter Projekte sollen die gemachten Erkenntnisse zu Empfehlungen zur brandsicheren Gestaltung derartiger begrünbarer Konstruktionen führen.

2 Grundlagen zu Brandschutz und Brandverhalten

2.1 Schutzziele

Nach den Landesbauordnungen sind bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und zu erhalten, dass

- der Entstehung und
- der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird
- bei einem Brand wirksame Löscharbeiten und
- die Rettung von Menschen und Tieren möglich sind.

Im allgemeinen, das heißt im Sinne des Brandschutzes bei Gebäuden, die hinsichtlich der Art und Nutzung mit mehrgeschossigen Wohngebäuden vergleichbar sind, steht der Personenschutz im Vordergrund. Der Schutz des betroffenen Gebäudes selbst (Objektschutz) und der darin befindlichen Güter (Sachschutz) ist nur mittelbar öffentlich-rechtlich von Bedeutung, vielmehr muss er durch Personenschutz und Gefahrenabwehr weitgehend mit abgedeckt werden. [5]
In Sonderfällen kann jedoch ein Objekt- und Sachschutz mittelbar aus Gründen einer möglichen Betriebsunterbrechung im öffentlichen Interesse liegen. Im speziellen Falle des Einsatzes von Geokunststoffen zur Bewehrung von Böschungen könnten solche Betriebsunterbrechungen – z. B. durch Einrutschen der Konstruktion aufgrund einer Instabilität im Brandfall – sein:

- Verschüttung von an der Böschung gelegenen Verkehrswegen
- Beschädigung von evtl. in der Böschung verlaufenden Versorgungsleitungen
- Einstellung des Verkehrs oberhalb der Böschung.

Im Sinne des Objektschutzes sind demnach andere Anforderungen an das Bauwerk zu stellen. So interessiert bei Bauwerken, die keinen wohnungsähnlichen Charakter aufweisen bzw., solche die keinen Personen Unterkunft gewähren, hauptsächlich die Standsicherheit desselben. Nach der Bauprodukten-Richtlinie 89/106/EWG Anhang I [6] muss ein Bauwerk deshalb „derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand die Tragfähigkeit des Bauwerkes während eines bestimmten Zeitraumes erhalten bleibt“. Das heißt, gerade im Zusammenhang mit sich auf der Böschungshorizontalen oder am Fuße der Stützkonstruktion befindlichen Verkehrswegen, ist auf eine Standsicherheit des Bauwerkes innerhalb einer bestimmten Zeit großer Wert zu legen, so dass bis zum Eintreffen von Rettungskräften, Feuerwehr und ähnlichen Fachkräften eine Garantie des Personenschutzes besteht.
In zunehmenden Maße ist auch der Umweltschutz in Verbindung mit Brandereignissen zu beachten. Dies betrifft Anlagen, bei denen im Brandfall z. B. gefährdende Flüssigkeiten und Gase, oder große Mengen (toxischer) Brandgase, belasteter Brandrückstände oder kontaminierten Löschwassers zu befürchten sind. [5]
Bezüglich der in dieser Arbeit behandelten geokunststoffbewehrten Stützkonstruktion gehen umweltbedingte Schädigungen hauptsächlich von den toxischen Gasen aus, die bei einem Brand von der Kunststoffbewehrung freigesetzt würden. Der Grad des entstehenden Schadens wäre jedoch relativ gering, da hierbei keine Personen direkt in Mitleidenschaft gezogen werden. Des weiteren ist anzumerken, dass sich Kunststoffe durch ihre brandschutztechnisch günstige Eigenschaft auszeichnen, bei Wegnahme der Zündquelle meist selbst zu verlöschen. Somit bleibt die Gefahrenquelle „toxische Gase“ in einem eingeschränkten sekundären Rahmen,

womit im Brandfall das Hauptaugenmerk auf der Standsicherheit der Stützkonstruktion (Objektschutz) liegt.
Bei einer Feingliederung des Brandschutzes nach der Priorität der Aufgaben in einen Primärschutz, Sekundärschutz, Tertiärschutz und Quartärschutz können die Gliederungsbereiche „Vorbeugender Brandschutz“ und „Brandbekämpfung“ den Aufgabengebieten und der Gegenständlichkeit der Gefahr eindeutig zugeordnet werden (Tabelle 1). [7]

Tabelle 1 Systematik des Brandschutzes [7]

Technologie und ihre Aufgabe	**Brandschutz** Abwehr von Brandgefahren			
Grobgliederung nach Aufgabenbereichen	**Verhütung von Bränden** Wirksamkeit der Maßnahmen vor Auslösung einer Zündung		**Begrenzung von Brandschäden** Wirksamkeit der Maßnahmen nach Auslösung einer Zündung	
Grobgliederung nach der Gegenständlichkeit der Gefahr	**Vorbeugender Brandschutz** Abstrakte Gefahr			**Brandbekämpfung** Konkrete Gefahr
Feingliederung nach der Priorität der Aufgaben	**Primärschutz** Vermeidung brennbarer Systeme	**Sekundärschutz** Vermeidung von Zündquellen	**Tertiärschutz** Vorsorge zur Schadensbegrenzung	**Quartärschutz** Löschen, Retten, Bergen, Sichern
Beispiele für unmittelbare Sicherheitstechnik	Verwenden nicht brennbarer Stoffe	Verwenden nicht zündfähiger Wärmequellen	Gebäudetrennwand als Brandwand	Löschen eines Brandherdes
Beispiele für mittelbare Sicherheitstechnik	Ausrüsten brennbarer Stoffe mit Antipyrenen	Abkapseln möglicher Zündquellen von brennbaren Stoffen	Einbau einer Sprinkleranlage	Retten, Bergen, Sichern bei einem Brand
Beispiele für hinweisende Sicherheitstechnik	Warnung vor Freiwerden brennbarer Gase	Verbot von offenem Feuer und Licht	Erlassen von Brandschutzordnungen	Absperren der Einsatzstelle

Der Primärschutz ist hiernach die Vermeidung brennbarer Systeme. Können wirksame Sicherheitsmaßnahmen des Primärschutzes durchgeführt werden, so sind solche des Sekundär-, Tertiär- und Quartärschutzes überflüssig.
Unter dem Sekundärschutz wird die Vermeidung von Zündquellen verstanden. Sind Sicherheitsmaßnahmen des Primärschutzes nicht möglich oder nicht angewandt, so können wirksame Maßnahmen des Sekundärschutzes den Tertiär- und Quartärschutz erübrigen.
Der Tertiärschutz beinhaltet die Vorsorgemaßnahmen zur Begrenzung von Schäden, die nach einer Entzündung möglich sind. Durch geeignete Maßnahmen des Tertiärschutzes in Verbindung mit denen des Quartärschutzes können Brandgefahren abgewehrt werden, wenn sie sich konkretisiert haben.
Der Quartärschutz schließlich ist die Brandbekämpfung, die aus dem Löschen, Retten, Bergen und Sichern besteht. Sie ist die „ultima ratio“, wenn Sicherheitsmaßnahmen des Primär-, Sekundär- und Tertiärschutzes nicht vorhanden oder unwirksam sind.[7]

Das Thema dieser Diplomarbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Erprobung der Brandentstehung bei geokunststoffbewehrten begrünten Stützkonstruktionen und dessen Auswertung. Mit Abschluss der Arbeit werden demnach nur Empfehlungen zum *Vorbeugenden Brandschutz* – also zu Primär-, Sekundär- und Tertiärschutz – gegeben. Des weiteren sollen Vorschläge zur Sanierung beschädigter Systeme gemacht werden. Die Brandbekämpfung, wozu das Löschen, Retten, Bergen und Sichern gehört, mit der konkrete Brandgefahren abgewehrt werden, ist der Tätigkeitsbereich der Feuerwehr und soll in dieser Arbeit nicht näher behandelt werden.

2.2 Unbeeinflusste Brände im Freien

Brände, die im Freien ablaufen, können sich nach den jeweiligen stofflichen Bedingungen ungehindert entwickeln [7].
Im speziellen Falle der geokunststoffbewehrten Böschungen können solche stofflichen Bedingungen beispielsweise sein:

- Art, Menge und Aufteilung der eingebauten Kunststoffbewehrung
- Dicke der Mutterbodenschicht
- Exponierung der Konstruktion (Neigung, Sonneneinstrahlung)
- Windeinflüsse

Die von dem Brand freigesetzte Wärmeenergie sowie die entstandenen Rauchgasmengen als Verbrennungsprodukte werden dabei aufgrund der entstandenen thermodynamischen Auftriebseffekte so in die Atmosphäre abgeführt, dass sie auf den unmittelbaren Brandablauf keinen Einfluss haben.
Ein Brandablauf dieser Art könnte die in Abbildung 2 gezeigte Charakteristik haben. Danach beginnt der Brandablauf mit der Zündphase, in der die brennbaren Stoffe durch Erwärmung und unter Schwelgasbildung zur Zündung aufbereitet werden. In der Entwicklungsphase breitet sich der Brand nach der Zündung auf alle erreichbaren brennbaren Stoffe aus, wodurch die Temperatur und Rauchentwicklung ansteigen. In der Vollbrandphase sind alle brennbaren Stoffe vom Brand erfasst, und in der Abkühlungsphase sinken die Temperatur und Rauchentwicklung wieder ab, weil der Verbrennungsprozess zum Abschluss kommt.

Abbildung 2 Charakteristik der Phasen eines unbeeinflussten Brandablaufes im Freien [7]

Soll durch vorbeugende Brandschutzmaßnahmen eine Schadensbegrenzung bei möglichen Bränden im Freien erzielt werden, so müssen sie in der Entwicklungsphase dieser Brände wirksam werden [7]. Dies bedeutet, dass gerade der Materialauswahl der Geokunststoffe und der Kombination dieser mit geeigneten Begrünungssystemen besondere Beachtung hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes gegeben werden sollte. Das bedeutet, dass vor allem die Zeit bis zur Selbsterlöschung der Konstruktion verringert werden sollte und die entstehende Brandlast somit relativ gering bleibt.
In der Vollbrandphase können die vom Brand erfassten Bereiche nicht mehr geschützt werden. Eine Schadensbegrenzung ist dann nur noch im Bereich der Sekundärerscheinungen des Brandes, insbesondere der Umweltgefährdung, möglich.

2.3 Brandlast

2.3.1 Definition

Unter der Brandlast – auch Brandbelastung genannt - versteht man die Summe der Verbrennungswärme[1] sämtlicher in einem Raum bzw. Objekt enthaltenen brennbaren Stoffe, die sich bei ihrem vollständigen Verbrennen ergibt. Sie kann flächenbezogen als Brandlast je Bodenflächeneinheit (ausgedrückt in kWh/m²) angegeben werden oder raumbezogen als Brandlast je Raumvolumeneinheit (ausgedrückt in kWh/m³). Zur besseren Berücksichtigung der in der Praxis meistens unterschiedlichen Beschaffenheit der brennbaren Stoffe bzw. Gegenstände wird bei der Bemessung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen auch die „rechnerische Brandbelastung“ zugrunde gelegt. Bei dieser rechnerischen Brandbelastung werden zusätzlich berücksichtigt mit Hilfe

- des Abbrandfaktors m, das Brandverhalten der brennbaren Stoffe in der jeweiligen Art, Form, Verteilung, Lagerungsdichte und Feuchte sowie
- eines Kombinationsbeiwertes ψ_i, die Möglichkeit des Zusammenwirkens ungeschützter und geschützter Brandlast.[7]

2.3.2 Berechnung

Die rechnerische Brandbelastung in kWh/m² wird für ungeschützte Stoffe und für geschützte Stoffe nach Gleichung (1) berechnet.

$$q_R = \frac{\Sigma\left(M_i \cdot H_{ui} \cdot m_i \cdot \psi_i \cdot \xi_i\right)}{A} \qquad (1)$$

Darin bedeuten:

M_i Masse des einzelnen brennbaren Stoffes in kg
H_{ui} Heizwert des einzelnen Stoffes in kWh/kg
A rechnerische Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes in m² (betrachtete Grundfläche)
m_i Abbrandfaktor des einzelnen brennbaren Stoffes
ψ_i Kombinationsbeiwert für geschützte Stoffe (ψ_i = 1 für ungeschützte Stoffe) [8]
ξ_i eingeführter Faktor zur Berücksichtigung der Neigung

Bei dem Hoch- und Industriebau ist mindestens eine rechnerische Brandbelastung von 25 kWh/m² zugrunde zu legen. Dieser in der DIN V 18 230 [9] vereinbarte Wert ist als unterster Grenzwert anzusehen. Er reicht in der Regel nur dann aus, wenn keine unmittelbar erfassbaren Brandbelastungen vorhanden sind.[8] Die Festlegung eines Mindest- oder Grenzwertes bei KBE-Konstruktionen soll in Verbindung mit der Auswertung der geplanten Versuche realisiert werden.
Als ungeschützte Stoffe sind alle brennbaren Baustoffe und Bauteile einschließlich ihrer Verkleidungen der Klasse B nach DIN 4102 [10] Teil 1 anzusehen, sofern sie nicht zu denen im folgenden erwähnten geschützten Stoffen zählen.
Brennbare Stoffe, die gegenüber Brandbeanspruchung geschützt sind, so dass sie nur mit geringer Wahrscheinlichkeit zum Brandverlauf beitragen, wie z. B. in geschlossenen Behältern oder in geschlossenen Systemen, werden als geschützte

[1] Die Verbrennungswärme ist die Wärme, die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes frei wird.

Brandlasten bezeichnet. [8] Dies bezieht sich aber hauptsächlich auf die Brandlastermittlung von Raumbränden. Als geschützte Stoffe im Sinne der Geokunststoffe bei bewehrten Stützkonstruktionen, können die Stoffe angesehen werden, die durch die Isolierung der Erde bzw. des Füllbodens von der Wärmeentwicklung nicht mehr beeinflusst werden. Nähere Aufschlüsse sollen die in dieser Arbeit durchgeführten Brandversuche geben. Vor allem die Untersuchungen der empfohlenen Versuchsstufe 2 sollen hinsichtlich der Temperaturmessung innerhalb der Konstruktion genauere Ergebnisse zur Wärmefortentwicklung mit zunehmender Tiefe zulassen.

Der Abbrandfaktor *m* ist ein Beiwert, mit dem die Brandbelastung zur Berücksichtigung des Brandverhaltens der brennbaren Stoffe in der jeweiligen Art, Form und Verteilung zu multiplizieren ist. Der Abbrandfaktor ist beim Industriebau im Einzelfall nach DIN 18 230 Teil 2 zu bestimmen.
Beispiele für den Abbrandfaktor *m* sind im Beiblatt 1 zu DIN V 18 230 Teil 1 angegeben. Sofern noch kein Nachweis durch Versuche geführt worden ist, muss im Hochbau bei fehlenden Angaben zum Abbrandfaktor *m* im Beiblatt1 zu DIN V 18 230 Teil 1 der Faktor von vergleichbaren Bau- oder Lagerstoffen angesetzt werden. [8]
Bezüglich der Geokunststoffe wird man hier natürlich nicht fündig werden. Auch stoffverwandte Materialien wird man hier nicht finden, maximal Angaben zu Kunststoffformteilen oder -behältern, die in ihrer Form und Art jedoch nicht mit denen der Geokunststoffe vergleichbar sind. Dementsprechend werden eigene Überlegungen zur Festlegung verschiedener Abbrandfaktoren beim Einsatz von Geokunststoffen notwendig. Diese sollen aufgrund fehlender Untersuchungen und Vorgaben in den in dieser Arbeit vorgestellten Versuchsstufen ermittelt werden. Ein Vorschlag zu der Auswertung und Bewertung der ermittelten Ergebnisse zur Festlegung des jeweiligen Abbrandfaktors wird in der Auswertung der Versuche unterbreitet (siehe 4.4.4).

Mit dem Kombinationsbeiwert ψ_i wird die Möglichkeit des Zusammenwirkens ungeschützter und geschützter Brandbelastungen berücksichtigt. Der Kombinationsbeiwert ψ_i für geschützte Stoffe im Industriehochbau ist in Tabelle 2 angegeben. [8]

Tabelle 2 Kombinationsbeiwerte ψ_i für geschützte Stoffe [8]

	1	2	3	4
	ungeschützte Brandbelastung > 25 kWh/m² ist zusätzlich	im Brandfall wirksame wärmedämmende Isolierung	ψ	
			größte geschützte Brandbelastung	jede weitere geschützte Brandbelastung
1	vorhanden	keine	0,75	0,60
2	vorhanden	vorhanden	0,65	0,50
3	vorhanden	Isolierung mit Kühlung	0,55	0,45
4	nicht vorhanden	keine	0,45	0,35
5	nicht vorhanden		0,35	0,25
6	nicht vorhanden	Isolierung mit Kühlung	0,25	0,20

Angelehnt an oben aufgeführte Tabelle 2 sollen auch Überlegungen zur Bildung derartiger Kombinationsbeiwerte bei KBE-Konstruktionen bezüglich der Geokunststoffe angestellt werden. Dabei sollten sowohl die Anlage von Bewässerungssystemen als auch der Einsatz der eingesetzten Geogitter in Verbindung mit hitzebeständigeren Begrünungsmatten günstig berücksichtigt werden. Ein Entwurf dieser Kombinationsbeiwerte wird ebenfalls nach Auswertung der in dieser Arbeit vorgestellten Versuche unternommen (siehe 4.4.4).

Ab einer bestimmten Tiefe in der KBE-Konstruktion werden die dort vorkommenden Geogitterlagen vom Brand nicht mehr beeinflusst und bleiben somit unbeschädigt. (Diese Tiefe ist am besten mit dem in Versuchsstufe 2 vorgestellten Versuch zu ermitteln.) Diese betroffenen Geogitter-Anteile bleiben dementsprechend in der oben angeführten Gleichung zur Berechnung der rechnerischen Brandbelastung unberücksichtigt und sind als geschützte Stoffe anzusehen.

Zusätzlich zum Kombinationsbeiwert für geschützte Stoffe, wäre auch ein Kombinationsbeiwert zur Berücksichtigung verschiedener Neigungen bei Polsterwänden denkbar. Dieser ist jedoch nur auf Böschungen mit Neigungen über 45° anzuwenden, da bei Neigungen unter 45° ein außenliegender Mutterbodenzwickel vorhanden ist und dieser schon eine Wärmedämmung übernimmt. Der Kombinationsbeiwert sei ξ genannt und sollte nach Möglichkeit in Versuchen ermittelt werden. Da in Verbindung mit diesem Forschungsvorhaben jedoch nicht die Zeit bestand, Versuche mehrerer verschiedener Neigungen mit Geogittern im eingebauten Zustand durchzuführen, wurden nur einzelne Untersuchungen im uneingebauten Zustand zur Festlegung des erwähnten Beiwertes unternommen. Die daraus gewonnenen Ergebnisse finden sich in der Auswertung der Versuche (siehe 4.4.4) wieder.
Dabei ist zu beachten, dass diese Werte nur in Verbindung mit der luftseitig liegenden Bewehrung kombiniert werden können, da parallel zum Erdplanum liegende Bewehrungslagen (also innerhalb der Böschung) von der Neigung unberücksichtigt bleiben (ξ = 1,0).

Zur Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung müssen alle gleichartigen Stoffe, z. B. Holz, massenmäßig zusammengefasst werden und dann mit ihrem Heizwert, Abbrandfaktor und einem eventuellen Kombinationsbeiwert multipliziert werden. Die Summe aller Produkte der einzelnen Stoffe dividiert durch die rechnerische Fläche oder Teilfläche des Brandbekämpfungsabschnittes ergibt dann die rechnerische Brandbelastung in kWh/m². [8] Das heißt, dass alle verschieden bei einer KBE-Konstruktion eingesetzten Stoffe auch getrennt berechnet werden müssen. Beispielsweise muss jede Kunststoffart einzeln zusammengefasst und auf ihre Masse bezogen berechnet werden. Genauso ist mit den eingesetzten Begrünungsmatten und evtl. verwendeten Schalungen zu verfahren.
Hierbei muss darauf geachtet werden, dass nur solche Stoffe mengenmäßig zusammengefasst werden dürfen, die ein ähnliches Abbrandverhalten haben. [8] Man kann z.B. nicht die Masse von Geogittern aus PET und die Masse von Geogittern aus PVA zusammenfassen.
Die Graphik in Abbildung 3 zeigt deutlich, welchen Einfluss die unterschiedliche Größe der Brandlast auf den Ablauf eines Raumbrandes hat. Mithin muss man also davon ausgehen, dass eine Beschränkung der Brandlast sich hauptsächlich in der Verkürzung der Vollbrandphase auswirkt, weniger jedoch in einer Absenkung des

Maximum der Brandraumtemperatur.[7] Diese Erkenntnisse sind auch auf einen Brand im Freien übertragbar, da hierbei eine Beeinflussung der Temperatur schon von natürlichen Bedingungen her nicht möglich ist. Das heißt, dass gerade in bezug auf die Materialwahl der Geokunststoffe, großer Wert gelegt werden sollte, um die Brandlast möglichst gering zu halten.

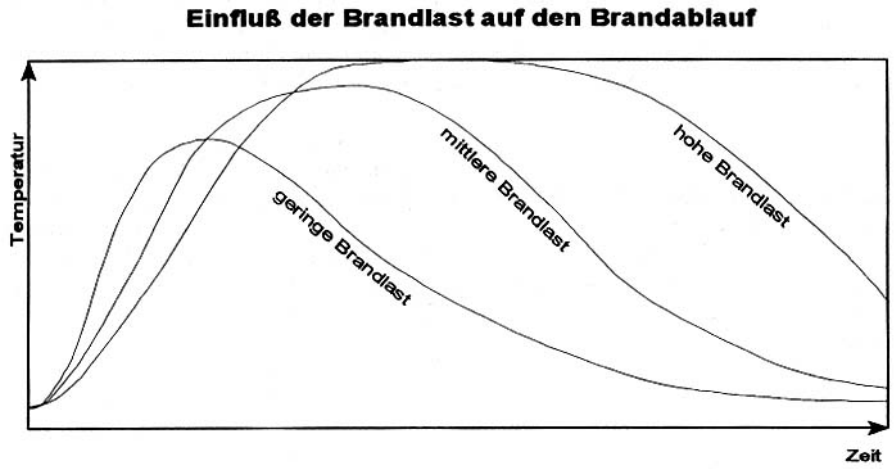


Abbildung 3 Ablauf eines Raumbrandes bei geringerer, mittlerer und hoher Brandlast [7]

2.3.3 Bewertung in Verbindung mit dem Geotechnischen Risiko

Die rechnerische Brandlast q_R gibt die Verbrennungswärme nur bezogen auf den Quadratmeter bzw. auf eine Volumeneinheit an. Sie berücksichtigt jedoch nicht die vollständige Konstruktion, da sie immer wieder auf die Quadratmeter- bzw. Volumeneinheit zurückgerechnet wird. Das heißt, dass beispielsweise eine 3 Meter hohe KBE-Konstruktion genau die gleiche rechnerische Brandlast hätte wie eine 6 Meter hohe mit den gleichen Parametern. Denn rechnerisch geht zwar auf eine Höhe von 6 Metern mehr Bewehrungsmaterial bei der Konstruktion ein, wird aber am Ende wieder auf den Quadratmeter Grundfläche zurückgerechnet und ergibt somit den gleichen Betrag wie den der 3 Meter hohen Konstruktion. Auch die größere erforderliche Einbindelänge der Bewehrungslagen spielt bei einer höheren Konstruktion keine Rolle, da durch die Erdabdeckung das Material nur bis zu einer bestimmten Tiefe berücksichtigt wird.
Somit erscheint es als sinnvoll, die ermittelte rechnerische Brandlast in Verbindung mit dem „Geotechnischen Risiko“ eines Bauwerkes zu beurteilen. Hierin werden die Bauwerke in Kategorien eingeteilt, die die jeweiligen Mindestanforderungen hinsichtlich der durchzuführenden Ingenieurmaßnahmen regeln. Dementsprechend werden auch Bauwerke größeren Umfangs und komplizierterer Bauweise höher eingestuft, womit also auch die Höhe und Komplexität der KBE-Konstruktion berücksichtigt werden können. Damit ließe sich die rechnerische Brandlast „qualitativ“ besser beurteilen und könnte bezüglich ihrer Gefahr für die Konstruktion besser und detaillierter bewertet werden. In Zusammenhang mit den Erkenntnissen aus den durchgeführten Versuchen und mehreren Beispielrechnungen, werden in Verbindung mit der Auswertung dieser, im Kapitel 4.4.4 Vorschläge zu verschiedenen Grenzwerten der Brandlast, gekoppelt mit dem verbundenen Geotechnischen Risiko, gemacht.

2.3.4 Zusammenfassung

Die Berechnung der Brandlast lässt sich nicht in einem Schritt vornehmen. Es ist ein Zusammenwirken vieler Faktoren, die jeder für sich möglichst exakt ermittelt sein wollen, um eine nahezu reale Brandlast ermitteln zu können. Deshalb sollte bei der Brandlastermittlung immer sehr gewissenhaft vorgegangen werden und diese nicht nur einfach abgeschätzt werden.
Kann die Menge der brennbaren Stoffe nicht in allen Fällen durch Messen oder Wiegen ermittelt werden, so sollte ein entsprechender Sicherheitszuschlag genommen werden. Ebenso ist darauf zu achten, dass falls Werte wie spezifisches Gewicht, Heizwert und Abbrandfaktor nicht genau bestimmt werden können, immer der nächst höhere Wert anzusetzen ist. [8] Der sicherste Weg bleibt dabei aber immer noch, fehlende oder unsichere Werte in eigenen Untersuchungen zu ermitteln.

2.4 Der Geokunststoff als „Kunststoff“

2.4.1 Brandverhalten

Das Brandverhalten von Kunststoffen ist ein sehr komplexer Vorgang. Es bedarf einer Vielzahl sich ergänzender Einzelerkenntnisse, um daraus auf die Brandsicherheit bzw. das Brandrisiko schließen zu können. Neben der Brennbarkeit des Werkstoffes bzw. des Bauelementes gehen entscheidend ein:

- Anordnung in der Konstruktion,
- Verbund mit anderen Stoffen,
- Intensität der Zündquelle,
- Konvektions- und Strahlungswärme,
- Wind,
- Verteilungsgrad,
- Dicke,
- Farbe und Oberflächenbeschaffenheit.

Die Auswirkungen sind:

- Brand,
- Rauchgase (Zusammensetzung, Dichte) und die
- Temperatur des Feuers. [11]

2.4.2 Thermisches Verhalten

2.4.2.1 Allgemeines, Begriffe

Um die Besonderheiten des thermischen Verhaltens von Kunststoffen zu verstehen, ist es zweckmäßig, verschiedene thermische Zustände und deren Grenztemperaturen in Bereichsdiagrammen (Beispiele in [12]) gegenüber zu stellen. Man erkennt bei Wasser den eindeutigen Übergang fest/flüssig und flüssig/dampfförmig. Bei *amorphen Thermoplasten*[2] (z.B. PV-U, PVC-P) zeigen sich *Glasübergangstemperatur* T_G (Einfriertemperatur), bzw. ein Glasübergangs-temperaturbereich und der Übergang vom thermoelastischen in den thermoplastischen Bereich (Abbildung 4, 5). Bei *teilkristallinen Thermoplasten*[3] erkennt man die Glasübergangstemperatur T_G der amorphen Anteile und die *Kristallitschmelztemperatur* T_m der kristallinen Bereiche als Übergang zum thermoplastischen Zustand (Abbildung 4, 6).
Alle Kunststoffe haben *Zersetzungstemperaturen* (T_Z), die nicht nur temperatur- und zeitabhängig sind sondern auch von den Umgebungsbedingungen (Sauerstoffeinwirkung oder Luftabschluss) abhängen. [12] Dies wäre beispielsweise wichtig für die Beurteilung der thermischen Beständigkeit der im Erdkörper befindlichen Geokunststofflagen.

---

[2] ungleichmäßig, sperrig aufgebaute Kettenmoleküle, die sich bei ihrer Bildung ineinander verschlingen und verfilzen

[3] Kettenmoleküle sind in Teilbereichen geordnet

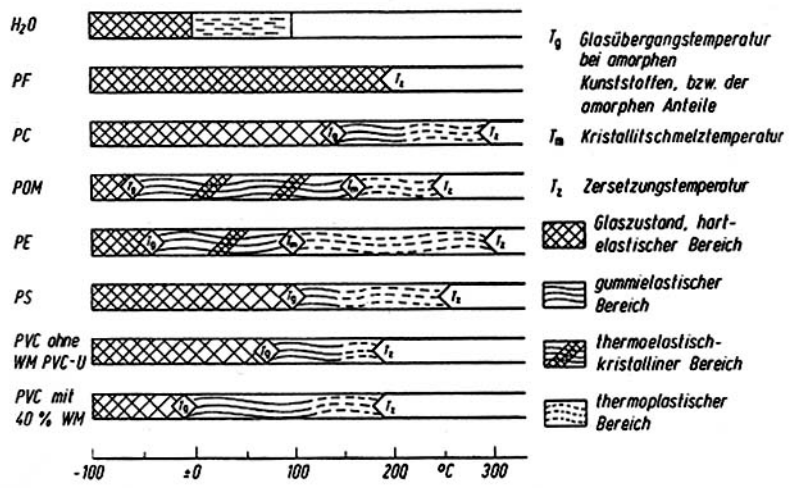


Abbildung 4 Beispiele für Zustandsbereiche verschiedener Stoffe [12]

Thermoplaste verspröden bei tiefen Temperaturen. Bei steigenden Temperaturen tritt zunächst ein stetiger Abfall des Elastizitätsmoduls mit Abnahme der Steifigkeit auf. Bei amorphen Thermoplasten erfolgt dann in einem Temperaturbereich die sogenannte Erweichung, d.h. der Übergang in den thermoelastischen, quasi-gummielastischen Bereich. In diesem können mit kleinen Umformkräften große Formänderungen vorgenommen und durch Abkühlen eingefroren werden (Warmumformung). Bei weiterer Erwärmung wird die thermische Beweglichkeit der Kettenmoleküle so groß, dass im thermoplastischen Zustand die Ketten gegeneinander abgleiten können; in diesem Bereich erfolgen Urformung und Schweißen. Dieser Bereich wird durch die Zersetzungstemperatur T_Z begrenzt (s.a. Abbildung 5). Bei teilkristallinen Thermoplasten liegen im Gebrauchsbereich erweichte, amorphe und steife, kristalline Bereiche vor. Bei steigender Temperatur ist eine Umformung erst dann möglich, wenn die kristallinen Bereiche in einem engen Temperaturbereich (Abbildung 6) bei Erreichen der Kristallitschmelztemperatur T_m aufzuschmelzen beginnen. Kurz darauf ist der thermoplastische Zustand zum Urformen und Schweißen erreicht. Dieser Bereich wird auch bei den teilkristallinen Thermoplasten durch die Zersetzungstemperatur T_Z begrenzt. [12]

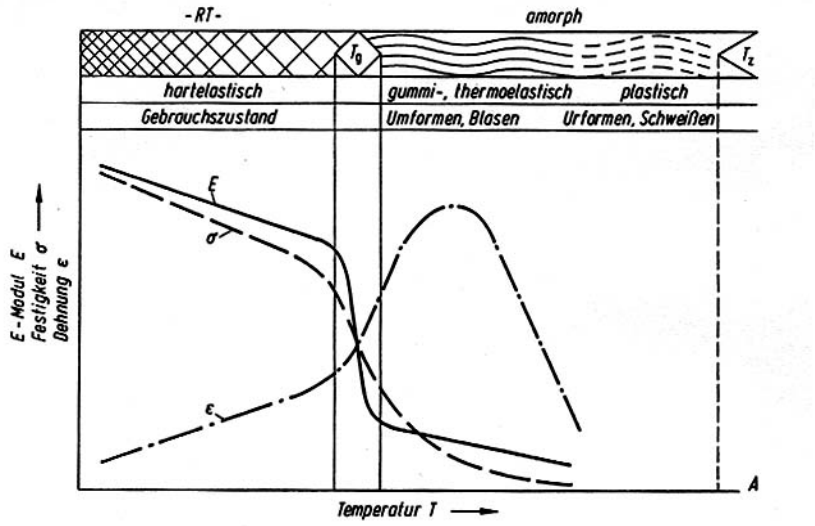


Abbildung 5 Zustandsbereiche für amorphe Thermoplaste [12]

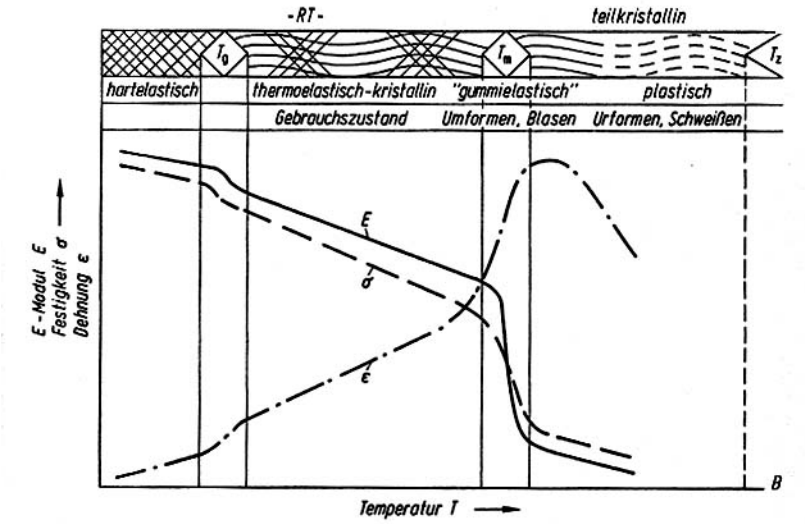


Abbildung 6 Zustandsbereiche für teilkristalline Thermoplaste [12]

Die Kunststoffe erleiden strukturbedingt bei Temperaturerhöhung eine verhältnismäßig große Volumenausdehnung, was sich auch in einer entsprechenden linearen Wärmeausdehnung (Punkt 2.4.2.5) zeigt. Bei verstärkten Kunststoffen reduziert sich die Wärmeausdehnung je nach Art und Anteil der Füll- und Verstärkungsstoffe. [12]
Zum besseren Vergleich seien die wichtigsten bei Geokunststoffen eingesetzten Materialien in Tabelle 4 mit ihren Schmelzbereichen und Dauergebrauchs-temperaturen gegenübergestellt.

Tabelle 3 Schmelzbereiche und Dauergebrauchstemperaturen von bei Geokunststoffen häufig eingesetzten Polymeren [13], [14]

Name des Polymers	Schmelzbereich (°C)	obere Dauergebrauchstemperatur (in Luft, bei niedriger Belastung und langzeitiger Temperatureinwirkung) (°C)
Polyethylen	105-110 (PE-LD) 122-124 (PE-LLD) 130-135 (PE-HD)	60-75 70-95 70-80
Polyethylenterephthalat	255	100
Polypropylen	160-165	90
Polyvinylchlorid	180	65-85 (PVC-U) 50-55 (PVC-P)
Polyamide	230 (PA 6) 255 (PA 66) 180 (PA 11) 175 (PA 12)	80-100 80-120 70-80 70-80
Polyacrylnitril	250	65-75

Die Eigenschaften der Kunststoffe sind bereits im Bereich der Raumtemperatur wesentlich von der Temperatur abhängig. Deshalb werden auch die für den Einsatz wichtigen Kennwerte in der Regel in einem weiten Temperaturbereich, der der Anwendung entspricht, ermittelt. Diese temperaturabhängigen Kennwerte sind:

- Spezifische Wärmekapazität c_p,
- Wärmeleitfähigkeit λ und der
- Linearer Ausdehnungskoeffizient α. [15]

2.4.2.2 Spezifische Wärmekapazität c_p, Verbrennungswärme

Die spezifische Wärmekapazität c_p ist die Wärmemenge Q, die benötigt wird, um eine Masse von 1 kg eines Stoffes um eine Temperatur von 1 K zu erwärmen:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta$$

Die bei Raumtemperatur bestimmten Wärmekapazitäten liegen zwischen 1 und 2 kJ/kg · K und sind damit bedeutend größer als die der metallischen Werkstoffe (Tabelle 5). Bezieht man die Wärmemenge jedoch nicht auf die Massen-, sondern auf die Volumeneinheit (c_v: ist um etwa 10% geringer), so liegen die Werte für beide Werkstoffgruppen in der gleichen Größenordnung.
Die Verbrennungswärme ist die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes frei werdende Wärmeenergie in J/mol (früher kcal/mol = molare Verbrennungswärme), häufig in J/g angegeben [11]. Die Verbrennungswärme der Kunststoffe (Heizwert) in kWh/kg ist für die Beurteilung der thermischen Recyclebarkeit ein wichtiger Kennwert. Sie liegt im Bereich üblicher Brennstoffe (Tabelle 4). [15]

Tabelle 4 Heizwerte von Polymeren und Brennstoffen [12], [15]

Heizwert KWh/kg	Polymere (ohne Zusatzstoffe)	Brennstoffe (Beispiele)
>10	PE, PP	Heizöl, Benzin
>7 – 10	Polyamide	Steinkohle
>4 – 7	PET, PVC	Holz, Papier, Braunkohlenbrikett
>1,5 – 4	PVC-C	Rohbraunkohle

2.4.2.3 Wärmeleitfähigkeit λ

Die Wärmeleitfähigkeit λ in W/K gibt diejenige Wärmemenge Q in J an, die in 1 s durch eine Schicht von A = 1 m² Fläche mit einer Dicke von s = 1 m transportiert wird, wenn der Temperaturunterschied $\Delta\vartheta$ zwischen den beiden Oberflächen 1 K beträgt (Tabelle 5). Die Wärmemenge pro Dicke wird in Watt angegeben:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \Delta\vartheta/s$$

Kunststoffe haben besonders im Vergleich zu metallischen Werkstoffen eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit. Eine Verstreckung und damit Orientierung der Makromoleküle oder eine Glasfaserorientierung führt dazu, dass die Wärmeleitfähigkeit in der Vorzugsrichtung (II) erhöht und senkrecht dazu ($\perp$) erniedrigt wird (Abbildung 7).

Es gilt:

$3/\lambda_0 = 1/\lambda_{II} + 2/\lambda_{\perp}$, mit λ_0 = Wärmeleitfähigkeit des isotropen Materials.

Die Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen ändert sich im Bereich von +20 °C bis +100 °C meist nur wenig (Ausnahme: Polyethylen) [33]. Mit zunehmenden Druck nimmt die Wärmeleitfähigkeit zu. Sie kann durch Abmischen mit anderen Stoffen beeinflusst werden. Quarzmehl, Glas, Metalle, Aluminiumnitrid-Pulver (150 µm) oder Kohlenstoff in Form von Fasern oder Pulvern erhöhen die Wärmeleitfähigkeit, während durch Aufschäumen mit Luft, CO_2 oder anderen Treibmitteln die Wärmeisolation verbessert wird. Beide Möglichkeiten werden bei praktisch allen Kunststoffsorten genutzt. [32]

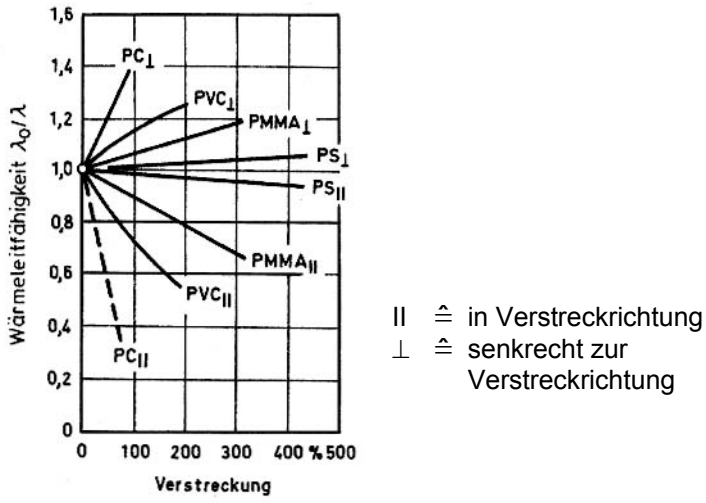


Abbildung 7 Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Verstreckung [15]

2.4.2.4 Temperaturleitfähigkeit

Für den Wärmetransport, der für alle Aufheiz- und Abkühlvorgänge entscheidend ist, ist die Temperaturleitfähigkeit eine wichtige Größe:

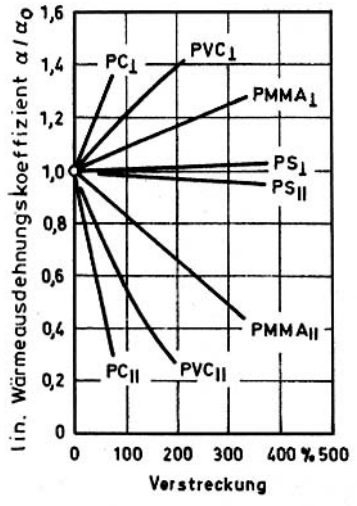
$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \qquad [15]$$

2.4.2.5 Wärme – Ausdehnungskoeffizient

Man muss hierbei zwischen dem linearen (α) und kubischen (β) Ausdehnungskoeffizienten unterscheiden [15]. Der lineare Ausdehnungskoeffizient α (lineare Wärmedehnzahl) gibt an, um wie viel sich die Länge eines Kunststoffteils verlängert oder verkürzt, wenn sich die Temperatur um 1 K ändert. Der kubische Wärmeausdehnungskoeffizient β gibt die Volumenänderung eines Kunststoff-Formteils bei einer Temperaturänderung um 1 K an (Tabelle 5). Bei kleinen Temperaturänderungen gilt näherungsweise $\beta = 3 \cdot \alpha$. [12],[15]

Der thermische Längenausdehnungskoeffizient α ist abhängig von der Temperatur und von den Herstellungsbedingungen. Er nimmt mit fallender Temperatur etwas ab. Durch Nachschwindung, Kristallisation, Feuchte, durch Füllstoffe und Weichmacher

werden die thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Kunststoffe wesentlich beeinflusst. In den meisten Fällen nimmt der thermische Ausdehnungskoeffizient eines Stoffes mit zunehmendem Elastizitätsmodul (z.B. durch Kristallisation ⇒ Faserverstärkung) ab (Tabelle 5).
Die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Kunststoffen sind bedeutend höher als die von Metallen (etwa 10mal so hoch wie bei Stahl). Diese können wesentlich durch Verwendung von Füllstoffen (z.B. Glasfasern) mit niedrigem thermischen Ausdehnungskoeffizienten herabgesetzt werden und damit denjenigen der Metalle angeglichen werden. Bei in Vorzugsrichtung orientierten länglichen Füll- oder Verstärkungsstoffen muss allerdings mit einer Anisotropie der Wärmedehnung gerechnet werden. Das gleiche gilt für Moleküländerungen, die wie in Abbildung 8 durch Verstreckung[4] erreicht wurde. [12], [15]



∥ ≙ in Verstreckrichtung
⊥ ≙ senkrecht zur Verstreckrichtung

Abbildung 8 Abhängigkeit des Wärmeausdehnungskoeffizienten von der Verstreckung [15]

Tabelle 5 Thermische Kennwerte von Kunststoffen, die für Geokunststoffe verwendet werden [11], [14], [15]

Kurz-zeichen	Dichte g/cm³	Mechanische Eigenschaften	Thermische Kennwerte		
		Zug-E-Modul N/mm²	Linearer Ausdehnungskoeffizient $K^{-1} \cdot 10^6$	Wärmeleitfähigkeit W/mK	Spezifische Wärmekapazität kJ/kgK
PE	0,914-0,928 (PE-LD) 0,94-0,96 (PE-HD)	200/500 700/1400	250 200	0,32/0,40 0,38/0,51	2,1/2,5 2,1/2,7
PET	1,37	3100	70	0,29	1,15
PP	0,90-0,907	1100/1300	150	0,17/0,22	2,0
PVC	1,38-1,55 (PVC-U) 1,16-1,35 (PVC-P)	1000/3500 -	70/80 150/210	0,14/0,17 0,15	0,85/0,9 0,9/1,8
PA	1,13 (PA 6) 1,14 (PA 66) 1,04 (PA 11) 1,02 (PA 12)	1400 2000 1000 1600	80 80 130 150	0,29 0,23 0,23 0,23	1,7 1,7 1,26 1,26
PAN	1,12-1,18	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

[4] Orientierung der Makromoleküle

2.4.3 Aufbau der Geokunststoffe

Fast alle Geokunststoffe werden aus Polymeren hergestellt. Die dabei am häufigsten verwendeten Materialien sind:

- Polypropylen (PP)
- Polyethylenterephthalat (PET)
- Polyethylen (PE)
- Polyamid (PA)
- Polyvinylchlorid
- Polyacrylnitril (PAN)

Polymere sind Kohlenwasserstoffketten mit einem n-fach über Hauptvalenzverbindungen (Atomverbindungen) aneinandergereihten „Basismolekül“. Die Anzahl der Basismoleküle in der Kette bestimmt die Eigenschaften des Gesamtproduktes. Den steuerbaren Anlagerungsprozess nennt man, je nach Ausgangsprodukten, Polymerisation (Copolymerisation), Polykondensation oder Polyaddition. Als Ausgangspartner stehen für die :

- Polymerisation — ungesättigte, niedermolekulare, reaktionsfähige Verbindungen
- Polykondensation — polyfunktionale, niedermolekulare Verbindungen mit reaktionsfähigen Endgruppen,
- Polyaddition — verschiedene Reaktionspartner mit reaktionsfähigen Endgruppen

zur Verfügung. Neben den Hauptvalenzverbindungen wirken zwischen den Molekülketten Nebenvalenzverbindungen die über Van-der-Waalsche Kräfte, Dispersions- und Dipolkräfte oder Wasserstoffbrücken bzw. Ionenverbindungen wirken. Nebenvalenzverbindungen besitzen untergeordneten Charakter, haben jedoch Einfluss auf die Eigenschaften des Gesamtproduktes. [16]
Bei Geogittern – die als Bewehrungselemente zum Einsatz kommen – sind die Kunststoffbahnen gelocht und in einer oder in beiden Richtungen (längs und quer) gestreckt. Durch das Strecken werden die Polymermoleküle in Streckrichtung orientiert, was die Festigkeit in Orientierungsrichtung erhöht und die Dehnbarkeit reduziert. [17]
Die Eigenschaften der Polymere können gezielt durch die Anlagerung bestimmter Moleküle und Ionen beeinflusst werden (Copolymerisation). Da die Rohstoffeigenschaften letztlich die Produktcharakteristik bestimmen, werden die Eigenschaften hinsichtlich der Brennbarkeit der hauptsächlich verwendeten Rohpolymere im Nachgang in tabellarischer Form (Tabelle 6) kurz beschrieben. [16]

Tabelle 6 Zusammenfassung der Brennbarkeit von Rohpolymeren [16]

Name des Rohpolymers	Chemisches Kurzzeichen	Brennbarkeit
Polyethylen	PE	- brennt wachsartig, tropft mit heller Flamme brennend ab - Entzündungstemperatur ca. 340 °C / Selbstentzündung bei ca. 350 °C - Asche ist weich wie das Material - vor Entflammen Schmelzen, Schrumpfen und Kräuseln des Materials
Polyethylenterephthalat	PET	- brennt rußend mit gelbroter Flamme, tropft ab und riecht süßlich, aromatisch
Polypropylen	PP	- entzündet sich bei Flammeinwirkung, brennt mit schwach leuchtender Flamme, tropft brennend ab - Selbstentzündungstemperatur 360 °C / Fremdentzündungstemperatur 345 °C
Polyvinylchlorid	PVC	- schwer entflammbar und selbsterlöschend - brennt mit gelber Flamme und grünlichem Flammenherd - schwarzer oder weißer Rauch - Brennbarkeit und Flammenfärbung = f (Weichmacher)
Polyamide	PA	- zersetzen sich bei Temperaturen > 300 °C - bilden zwischen 450 und 500 °C brennbare Gase, die nach Zündung weiterbrennen - brennen mit gelborangener Flamme (Flamme hat blauen Rand) - schmelzen, tropfen und brennen nach Flammherdentzug weiter - Geruch nach verbranntem Horn
Polyacrylnitril	PAN	- brennt mit leuchtender Flamme, tropft nicht - Verbrennungsgase riechen fruchtartig, ggf. nach Kautschuk

3 Vorschriften und rechtliche Grundlagen

3.1 Allgemeines

Der vorbeugende Brandschutz gehört als Daseinsvorsorge zu den hoheitlichen Aufgaben des Staates und ist deshalb in Rechtsvorschriften geregelt. Die rechtlichen Regelungen sind in Deutschland ihrer jeweiligen Aufgabe entsprechend verschiedenen Rechtsbereichen zugeordnet. Es handelt sich vor allem um folgende Bereiche:

- Brandschutz- und Hilfeleistungsrecht,
- Straf- und Ordnungswidrigkeitenrecht,
- Bauordnungsrecht,
- Arbeitsschutzrecht,
- Immissionsschutzrecht,
- Gefahrstoffrecht.

Die Rechtsvorschriften des vorbeugenden Brandschutzes sind demnach über eine Vielzahl verschiedener Rechtsgebiete verstreut und ein Überblick ist schwierig. Ein einheitliches und umfassendes Rechtsgebiet für den vorbeugenden Brandschutz gibt es nicht. In jedem dieser unterschiedlichen Rechtsbereiche sind die Belange des vorbeugenden Brandschutzes stets soweit geregelt, wie es dem Zweck des jeweiligen Rechts genügt. Die Folge sind u.a. Doppelregelungen und Zuständigkeitsprobleme[5]. [7]
Nachstehend sollen die für den vorbeugenden Brandschutz wichtigsten Grundlagen dieser Rechtsvorschriften dargestellt werden. Außerdem wird die Frage nach der rechtlichen Verantwortlichkeit und der rechtlichen Stellung technischer Regelwerke behandelt. Aus Gründen des relativ großen Umfangs soll in dieser Arbeit jedoch vorrangig die rechtliche Situation des planenden Ingenieurs zur Disposition stehen.

3.2 Verantwortlichkeit

Im vorbeugenden Brandschutz stellt sich immer die Frage nach der Verantwortlichkeit. Wer ist verantwortlich für bestehende (abstrakte) Brandgefahren und wer hat diese Gefahren abzuwehren? Die Frage kann sowohl ethisch als auch juristisch von Bedeutung sein. Hier soll nur auf die juristische Verantwortung[6] eingegangen werden. Es handelt sich bei der rechtlichen Verantwortlichkeit um die Verpflichtung zu einer bestimmten Handlungsweise und der Bereitschaft, daraus die rechtlichen Konsequenzen zu ziehen.
Die Frage nach der juristischen Verantwortlichkeit beinhaltet hier die Teilfragen nach dem Träger und nach dem Gegenstand der Verantwortung für den vorbeugenden Brandschutz. Die Beantwortung ergibt sich aus verschiedenen Rechtsgrundlagen.[7]

3.2.1 Juristische Verantwortlichkeit

Aus den insbesondere für die Ordnungsbehörden geltenden Vorschriften der Allgemeinen Sicherheits-, Polizei- und Ordnungsgesetze ergibt sich, dass in erster Linie derjenige zur Beseitigung von Gefahrenlagen ordnungspflichtig und

---

[5] z. B. Regelungen für Rettungswege im Bauordnungsrecht und Arbeitsschutzrecht.
[6] auch „Haftung“ genannt.

heranzuziehen ist, der für die gesetzte Gefahr verantwortlich ist; das ist also der Verursacher und man spricht hier folgerichtig vom Verursacherprinzip. Erst in zweiter Linie, wenn der Verantwortliche die Gefahr nicht selbst beseitigen kann, müssen die hierfür zuständigen Behörden die erforderlichen Maßnahmen selbst treffen. Als ultima ratio kommt auch eine Gefahrenbeseitigung durch einen hierfür nicht Verantwortlichen in Frage.
Zur gesetzlichen Bestimmung der Verantwortlichkeit (auch Ordnungspflicht genannt) gibt es in den Rechtsvorschriften zur Gefahrenabwehr als Anknüpfungspunkte

- das Verhalten von Personen – die Verhaltensverantwortlichkeit – und
- den Zustand von Sachen – die Zustandsverantwortlichkeit.

Die Verhaltensverantwortlichkeit trifft diejenigen Personen, die Verursacher einer Gefahr für die öffentliche Sicherheit sind. Es kommt hierbei weder auf ein zivilrechtliches Verschulden noch auf strafrechtliche Schuld an. Ausschlaggebend ist, dass die Gefahrensituation durch ein positives Tun herbeigeführt worden ist. Für eine Gefahr ist auch derjenige verantwortlich, der sie durch ein Unterlassen herbeigeführt hat. Um eine Verantwortlichkeit aufgrund einer Unterlassung handelt es sich, wenn jemand seiner sich aus anderen öffentlich-rechtlichen Vorschriften ergebenden Verpflichtung zur Gefahrenabwehr nicht nachkommt. [7] Bezüglich der rechtlichen Situation des Planers hieße das, dass wenn dieser vertraglich zu Brandschutzmaßnahmen verpflichtet wird, diese auch fachgerecht auszuführen hat bzw. durch einen bestellten Fachmann durchführen zu lassen.
Bei der Zustandsverantwortlichkeit geht die Gefahr von einer Sache oder einem Tier aus. Sie trifft den Inhaber der tatsächlichen Gewalt, den Eigentümer, den Mieter oder einen anderen Berechtigten. Die Zustandshaftung des Eigentümers einer Sache ergibt sich aus dem Eigentumsrecht. Die Verfügungsgewalt des Eigentümers wird nur durch zivilrechtliche Miteigentümer eingeschränkt, wobei jeder Mitberechtigte in vollem Umfang für den ordnungsgemäßen Zustand der Sache mitverantwortlich ist. [7] Dies könnte beispielsweise die gewissenhafte und sorgfältige Pflege der Sache – hier im speziellen Falle, der Böschungsfront – betreffen, die vom Eigentümer (z. B. Bund, Land) selbst durchzuführen bzw. zu veranlassen ist.
Die Zustandsverantwortlichkeit ergibt sich unabhängig von Rechtswidrigkeit und Verschulden, und es ist rechtlich ohne Bedeutung, wie die Sache in den Gefahrenzustand gekommen ist. Die Zustandshaftung umfasst demnach auch solche Gefahrenlagen, die z. B. durch höhere Gewalt wie Naturkatastrophen oder durch das Verhalten Dritter entstanden sind. [7]

3.2.2 Adressaten der Ordnungspflicht

Adressaten der Ordnungspflicht – die Verantwortlichen, die in erster Linie Gefahrenabwehrmaßnahmen zu ergreifen haben – können

- natürliche Personen (Zusatzhaftung des Aufsichtspflichtigen tritt ein),
- juristische Personen (Frage nach Vertretungsberechtigung aufgrund von Vorschriften) und
- Verwaltungsträger (Bund, Länder, Gemeinden: sind für Gefahrenabwehr in *ihrem* Zuständigkeitsbereich *selbst* verantwortlich)

sein. [7]

3.3 Brandschutz- und Hilfeleistungsrecht

Das Brandschutz- und Hilfeleistungsrecht ist ein Bestandteil des öffentlichen Rechts. Seine Rechtsnormen wenden sich an den Staat und statten ihn als Hoheitsträger (Gemeinden, Landkreise, Bundesländer, Bund) mit Rechten und Pflichten aus. Die Gesetzgebungskompetenz auf diesem Gebiet (Gefahrenabwehr) fällt in die Zuständigkeit der Bundesländer, deren Brandschutz- und Hilfeleistungsgesetze sich nicht nur in ihrer Bezeichnung[7], sondern auch in ihrem Umfang und Inhalt unterscheiden. Ein wesentliches Merkmal, das sich in allen Brandschutz- und Hilfeleistungsrechten gleicht, ist die Zuweisung der Hauptaufgaben, nämlich

- die Bekämpfung konkreter Gefahren, die durch Brände entstehen (sog. „Abwehrender Brandschutz“),
- die Abwehr abstrakter Gefahren, die durch Brände entstehen (sog. „Vorbeugender Brandschutz“),
- die technische Hilfeleistung und
- der Rettungsdienst,

an die Gemeinden und Landkreise. Der vorbeugende Brandschutz wird hierbei allerdings nicht oder nur global definiert als Vorkehrungen, die die Entstehung oder die Ausbreitung von Schadensfeuern verhindern sowie schnelle und wirksame Bekämpfung eines Brandes durch die Feuerwehr gewährleisten. Eine präzisere Definition enthalten lediglich die Bauordnungen der Bundesländer hinsichtlich ihres Anwendungsbereiches auf bauliche Anlagen und Bauprodukte.
Zu den konkreten Aufgaben des vorbeugenden Brandschutzes, die in vielen Brandschutz- und Hilfeleistungsgesetzen den Gemeinden und Landkreisen zugewiesen sind, gehören in der Regel nur

- die Brandsicherheitsschau,
- die Gestellung von Brandsicherheitswachen und
- die Löschwasserversorgung. [7]

3.4 Straf- und Ordnungswidrigkeitenrecht

Das Strafrecht und das Ordnungswidrigkeitenrecht haben gemeinsam die Aufgabe, die Gesellschaft vor solchen Handlungen zu schützen, durch die schutzwürdige Interessen des Einzelnen oder der Allgemeinheit verletzt oder gefährdet werden können. Das Mittel für diesen Zweck ist in beiden Rechtsgebieten die Androhung und Festsetzung einer für den Täter nachteiligen Rechtsfolge mit repressivem Charakter. Neben den allgemeinen Regelungen enthält dieses Rechtsgebiet auch zahlreiche Bestimmungen, die der präventiven Abwehr von Brandgefahren dienen. [7]
Das vorgestellte Rechtsgebiet unterteilt sich in das

- Strafgesetzbuch (Allgemeiner und Besonderer Teil) und das
- Ordnungswidrigkeitengesetz.

[7] z. B. „Feuerwehrgesetz“, „Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung bei Unglücksfällen und öffentlichen Notständen“ und „Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz“.

3.4.1 Das Strafgesetzbuch

3.4.1.1 Allgemeiner Teil

Der Allgemeine Teil enthält das kriminalpolitische Programm des deutschen Strafrechts.
Wichtige begriffliche Festlegungen im Allgemeinen Teil sind die Schuldformen. Sie orientieren sich insbesondere an

- der Tatbestandsmäßigkeit (d.h. der Inhalt der im Gesetz abstrakt beschriebenen strafbaren Handlung muss durch die Tat konkret erfüllt sein),
- der Rechtswidrigkeit der Tat und
- der Schuldhaftigkeit des Täters.

Neben den beiden „klassischen“ Schuldformen Vorsatz und Fahrlässigkeit, spielen eine wesentliche Rolle auch die modifizierten Formen

- Begehen durch Unterlassen,
- Handeln für einen anderen,
- Irrtum über Tatumstände und
- Verbotsirrtum.

In der Regel kann nur die vorsätzliche (bzw. bedingt vorsätzliche) Handlung bestraft werden. Das fahrlässige Handeln wird nur dann bestraft, wenn dieses im Gesetz ausdrücklich bestimmt ist. [7]
Der Vollständigkeit halber seien in Anlage 8.1.1 die Vorkommen der für den Brandschutz wichtigsten und relevantesten Gesetze nur erwähnt.

3.4.1.2 Besonderer Teil

Der besondere Teil des Strafgesetzbuches enthält die einzelnen Straftatbestände, die den Inhalt der strafbaren Handlung bilden und legt das zugehörige Strafmaß fest, mit dem die jeweilige Tat bedroht ist. Als Strafe sind grundsätzlich Freiheitsstrafe und Geldstrafe vorgesehen. [7]
Aus Gründen des Umfangs und der speziellen Stellung dieser Thematik, sollen innerhalb dieser Arbeit nur einige wichtige Paragraphen in Anlage 8.1.2 genannt bleiben.

3.4.2 Das Ordnungswidrigkeitengesetz

Das Gesetz über Ordnungswidrigkeiten (OWiG) ist das materiell- und verfahrensrechtliche Rahmengesetz für Ordnungswidrigkeiten auf allen Sachgebieten. Nach diesem Gesetz werden Zuwiderhandlungen gegen staatliche Gebote und Verbote, die nicht den Makel der Strafe verdienen und erfordern, deren Bekämpfung aber zum Schutz von individuellen Rechtsgütern (insbesondere der Daseinsvorsorge und der Abwehr von Gefahren) bereits in einem Vorfeld oder Interesse der ordnenden Verwaltungstätigkeit des Staates erforderlich ist, anders behandelt als kriminelle Verhaltensweisen. [7]
Zur näheren Information sei hier nur auf das entsprechende Gesetzbuch verwiesen.

3.5 Bauordnungsrecht

3.5.1 Allgemeines

Der Bund hat sich verpflichtet, von der Gesetzgebungszuständigkeit (städtebauliche Planung, Baulandumlegung, Bodenverkehr, Erschließung) auf dem Gebiet des Bauordnungsrechtes keinen Gebrauch zu machen, wenn die Länder dieses Recht „im Grundsätzlichen einheitlich“ regeln würden. So wurde vereinbart, eine Musterbauordnung auszuarbeiten, die als Unterlage für die Bauordnungen der Länder (Landesbauordnungen) dienen sollte. Diese Aufgabe übernahm die Musterbauordnungskommission, die aus der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU) und dem Bauministerium besteht. [7]
Das grundlegende Gesetz des Bauordnungsrechts ist die jeweilige Landesbauordnung, in welcher auch der vorbeugende Brandschutz geregelt ist. Die Landesbauordnungen sind Gesetze und jeweils unmittelbar wirksames Recht [5]. In ihnen sind die Sicherheitsziele definiert und die allgemeinen Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen gestellt [7].

3.5.2 Musterbauordnung

Die derzeitige Fassung der Musterbauordnung (MBO) vom Juni 1996 ist aus Anlass der Vereinheitlichkeitsbestrebungen der Europäischen Gemeinschaft erarbeitet worden. Insbesondere die Bestimmungen über Bauprodukte und Bauarten sind so ausgeformt worden, dass sie im Interesse des europäischen Binnenmarktes der Bauproduktenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (EG) entsprechen. [7]

3.5.2.1 Anwendung

Nach den Landesbauordnungen, die alle der Musterbauordnung entsprechen existieren die in Abbildung 9 dargestellten Verfahren zum Nachweis der „Verwendbarkeit“ bzw. der „Anwendbarkeit“ von nationalen und europäischen Bauprodukten und Bauarten. Dabei wird unterschieden zwischen sogenannten „geregelten“ und „nicht geregelten“ Bauprodukten. [18]
Geregelte Bauprodukte sind solche, die technischen Regeln entsprechen, die in der „Bauregelliste A Teil 1“ [19] aufgenommen sind, oder von diesen Regeln nicht wesentlich abweichen. In der Bauregelliste A werden nur technische Regeln für Bauprodukte aufgenommen, die zur Erfüllung bauaufsichtlicher Anforderungen an bauliche Anlagen erforderlich sind. Diese Regeln werden gemäß MBO § 20 [20] durch die Aufnahme in die Bauregelliste A zu Technischen Baubestimmungen im Sinne des § 3 der MBO.
Für „nicht geregelte“ Bauprodukte gibt es keine allgemein anerkannten Regeln der Technik oder sie weichen wesentlich von den in der Bauregelliste A Teil 1 bekanntgemachten ab. Nicht geregelte Bauprodukte müssen ihre Verwendbarkeit auf andere Weise nachweisen. Sie benötigen entweder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder eine Zustimmung im Einzelfall. Die Bauregelliste A Teil 2 enthält nicht geregelte Bauprodukte, die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden und eines allgemein bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses bedürfen.
„Geregelte“ Bauarten sind Bauteile, die „Produktnormen“ wie DIN 1045 [21], DIN 1052 [22], DIN 1053 [23] oder DIN 18 183 [24] entsprechen und brandschutztechnisch über DIN 4102 [10] Teil 4, Ausgabe 3/1994 nachgewiesen werden.

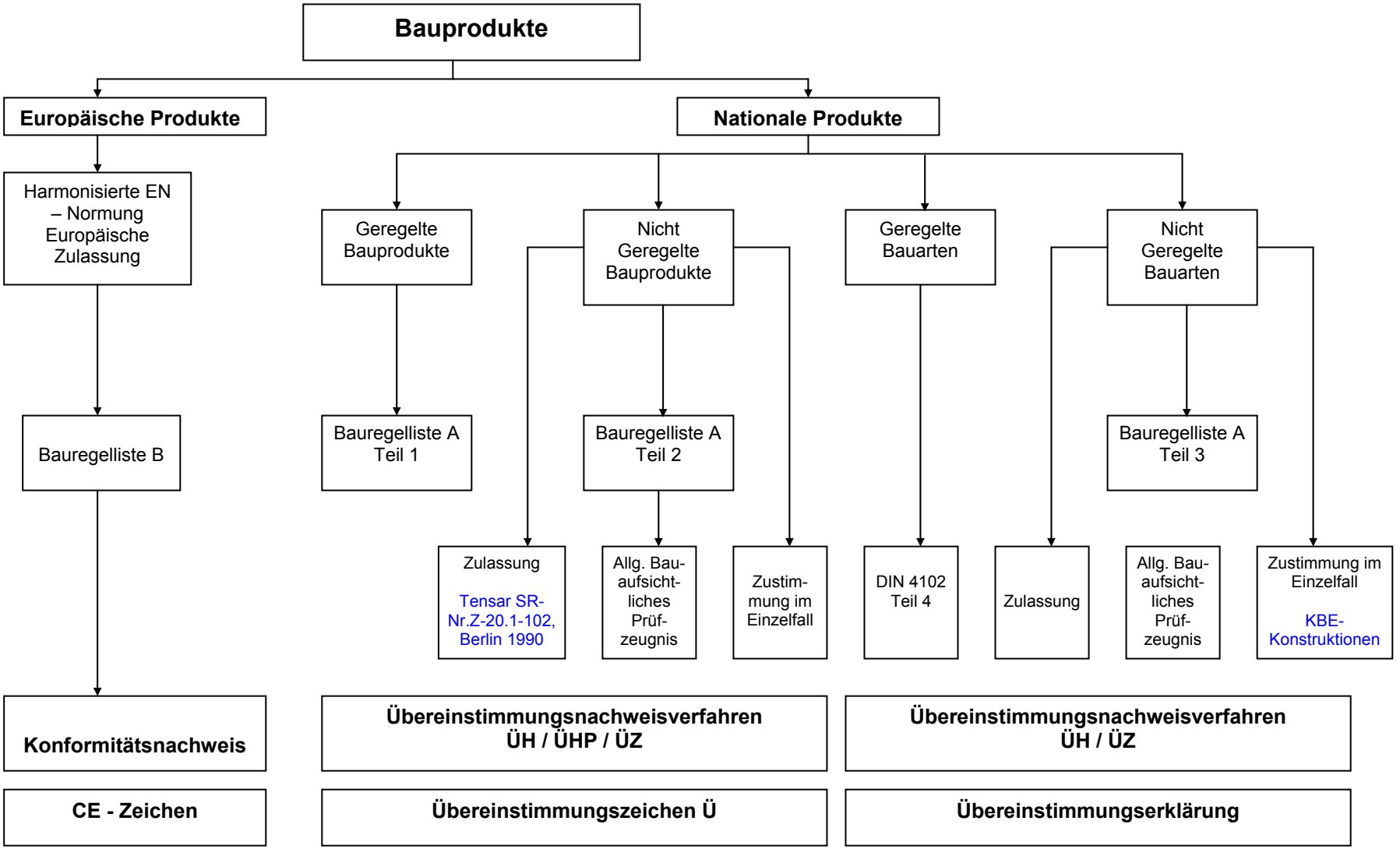


Abbildung 9 Nachweisverfahren [18], [25]

„Nicht geregelte“ Bauarten sind Bauarten, für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt. Die Anwendbarkeit ergibt sich aus der Übereinstimmung mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis oder der Zustimmung im Einzelfall. „Nicht geregelte“ Bauarten sind in der Bauregelliste A Teil 3 aufgelistet, diese bedürfen eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses. [18]

In der Bauregelliste B Teil 1 werden unter Angabe der vorgegebenen technischen Spezifikation oder Zulassungsleitlinie (siehe auch unter Punkt 3.5.4 Bauprodukten-Richtlinie) Bauprodukte aufgenommen, die aufgrund des Bauproduktengesetzes [26] (unter Punkt 3.5.3) oder aufgrund der Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG, geändert durch die Richtlinie 93/68/EWG [27], zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauprodukten-Richtlinie) in den Verkehr gebracht und gehandelt werden. In dieser wird in Abhängigkeit vom Verwendungszweck festgelegt, welche Klassen und Leistungsstufen (siehe auch unter 3.5.4.4), die in den technischen Spezifikationen und Zulassungsleitlinien festgelegt sind, von den Bauprodukten erfüllt sein müssen (§ 20 Absatz 7 MBO). Welcher Klasse oder Leistungsstufe ein Bauprodukt entspricht, muss aus der CE-Kennzeichnung erkenntlich sein.
In der Bauregelliste B Teil 2 werden Bauprodukte aufgenommen, die aufgrund der Vorschriften zur Richtlinienumsetzung der EG - mit Ausnahme von solchen, die die Bauprodukten-Richtlinie umsetzen – in den Verkehr gebracht und gehandelt werden, wenn die Richtlinie wesentliche Anforderungen nach der Brauchbarkeit von Bauprodukten (§ 5 Absatz 1 BauPG, s.a. Punkt 3.5.3) *nicht* berücksichtigen und wenn für die Erfüllung dieser Anforderungen zusätzliche Verwendbarkeisnachweise oder Übereinstimmungsnachweise nach den Bauordnungen erforderlich sind (z.B. hinsichtlich des Brandschutzes). Diese Produkte bedürfen neben der CE-Kennzeichnung auch des Übereinstimmungskennzeichen (Ü-Zeichen) nach den Bauordnungen der Länder. Welche wesentliche Anforderung nach den Bauordnungen nach § 5 Absatz 2 BauPG von den Richtlinien nicht abgedeckt wird, ist in Spalte 4 der Bauregelliste B Teil 2 angegeben. Die Spalten 5 und 6 enthalten die zur Berücksichtigung dieser wesentlichen Anforderungen erforderlichen Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweise (Abbildung 10). [19]

Lfd. Nr	Bauprodukt	Vorschriften zur Umsetzung der EG-Richtlinien	In den Vorschriften nach Spalte 3 nicht berücksichtigte wesentliche Anforderungen nach § 5 Abs. 1 Bauproduktengesetz und die hierfür noch nachzuweisenden Produktmerkmale	Zusätzlich zur CE-Kennzeichnung erforderlicher Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweis für die Anforderungen nach Spalte 4	
1	2	3	4	5	6
3.1	Fahrschachttüren zum Einbau in feuerbeständige Wände	89/392/EWG 95/16/EG	*Brandschutz:* Feuerwiderstandsdauer	Bauregelliste A Teil 1 lfd. Nr. 6.4, 6.5 oder 6.6	ÜZ
3.2	Feuerschutzabschlüsse bei Förderanlagen	73/23/EWG 89/336/EWG 89/392/EWG	*Brandschutz:* Feuerwiderstandsdauer, Verhinderung von Rauchdurchtritt, selbständiges Schließen, Mechanisches Verhalten, Einbaubedingungen	Z	–[1]
3.3	Feststellanlagen für Feuerschutzabschlüsse	73/23/EWG 89/336/EWG 89/392/EWG	*Brandschutz:* Brandmeldung, Auslösevorrichtung, Feststellvorrichtung	Z	–[1]
3.4	Elektrische Kabelanlagen mit Anforderungen an den Funktionserhalt im Brandfall	73/23/EWG	*Brandschutz:* Funktionserhalt unter Brandeinwirkung	Bauregelliste A Teil 2 lfd. Nr. 2.9	ÜH
3.5	Automatische Schiebetüren in Rettungswegen	73/23/EWG 89/336/EWG 89/392/EWG	*Brandschutz:* Konstruktionsanforderung, Steuerung, Einfehlersicherheit, Notschalter	Bauregelliste A Teil 1 lfd. Nr. 6.18	ÜHP
3.6	Elektrische Verriegelungssysteme für Türen in Rettungswegen	73/23/EWG 89/336/EWG 89/392/EWG	*Brandschutz:* Konstruktionsanforderung, Steuerung, Einfehlersicherheit, Notschalter	Bauregelliste A Teil 1 lfd. Nr. 6.19	ÜHP

ÜH – Übereinstimmungserklärung des Herstellers
ÜHP – Übereinstimmungserklärung des Herstellers nach vorheriger Prüfung des Bauproduktes durch eine anerkannte Prüfstelle
ÜZ – Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle
Z – Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
73/23/EWG – In Deutschland umgesetzt durch die 1. GSGV vom 11.6.1979 (BGBl. I S. 629)
89/336/EWG – In Deutschland umgesetzt durch das EMVG vom 9.11.1992 (BGBl. I S. 1864)
89/392/EWG – In Deutschland umgesetzt durch das 2. GerätesicherheitsÄndG vom 26.8.1992 (BGBl. I S. 1564) und die 9. GSGV vom 12.5.1993 (BGBl. I S. 704)
95/16/EG – In Deutschland umgesetzt durch Artikel 1 der Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz und zur Änderung der Aufzugsverordnung vom 17.6.1998 (BGBl. S. 1393)
[1] – Der erforderliche Übereinstimmungsnachweis wird in der Zulassung geregelt.

Abbildung 10 Auszug aus der Bauregelliste B Teil2, „Zubehörteile für den Brandschutz“ [19]

3.5.2.2 Auswirkungen auf die Geokunststoffe

Gemäß §§ 20 bis 24 MBO, 6/1996, einschließlich der dazugehörigen Übergangsvorschriften, sowie aus den Bauregellisten A Teil 1 bis Teil 3 lässt sich folgendes ableiten [18]:

- Das Produkt des Geokunststoffes an und für sich unterliegt selbst bestimmten Prüfverfahren, die es mit den Normen DIN EN 12225: 2000 [28] und DIN EN 12226: 2000 [29] zu erfüllen hat. Der Hersteller muss das Geotextil oder geotextilverwandte Produkt deutlich und unauslöschbar mit den in EN ISO 10320 [30] festgelegten Angaben kennzeichnen [31].
- Hinsichtlich des Brandverhaltens von Geotextilien bzw. geotextilverwandten Produkten sind jedoch noch keine Vorschriften bzw. Normen erarbeitet worden. Aus praktischer Sicht ist es auch als sehr unwahrscheinlich anzusehen, dass das *Bauprodukt* „Geotextil“ *selbst* von einem Brand

beeinflußt werden könnte. Da das Geokunststoffprodukt in der Praxis nur im eingebauten Zustand vorkommt, ist vielmehr das Zusammenwirken der einzelnen Parameter und eingesetzten Materialien der gesamten hier beschriebenen Stützkonstruktion von Bedeutung. Deshalb sollte im Sinne der MBO § 20 hier zwar von dem *Bauprodukt* „Geokunststoff" gesprochen werden, jedoch darf auch der § 23 MBO nicht unbeachtet bleiben, da hier auf spezielle Einzelfälle hinsichtlich der *Bauart* derartiger Stützkonstruktionen eingegangen wird.

- Nicht geregelte *Bauprodukte* müssen auf der Grundlage von Prüfzeugnissen über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt nachgewiesen werden. Auch die Zustimmung einer obersten Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall kann auf der Grundlage eines Prüfzeugnisses erteilt werden. [18] Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung liegt bisher nur für Tensar SR-Nr.Z-20.102 vor (Abbildung 9).
- Betrachtet man die gesamte Stützkonstruktion als *Bauart*, kann der Nachweis der brandschutztechnischen Sicherheit nur durch eine Zustimmung einer obersten Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall ermöglicht werden. Denn bei Stützkonstruktionen, wie sie hier beschrieben sind, ergeben sich aufgrund immer speziellerer Anforderungen und unterschiedlicher Exponierungen des Geländes permanent neue Situationen, auf die kein „Grundrezept" passt.
- Zusammenfassend sind also sowohl der Nachweis der Verwendbarkeit von *Bauprodukten* durch eine allgemein bauaufsichtliche Zulassung als auch eine Zustimmung im Einzelfall (§ 22 MBO) und eine Zustimmung im Einzelfall hinsichtlich der *Bauart* (§ 23 MBO) anzustreben.

3.5.2.3 Ziel des Brandsicherheitsnachweises bezüglich der Musterbauordnung

Eines der größten Probleme, die sich beim Brandschutz von Bauwerken immer wieder ergeben, ist die Frage der Haftung im Schadensfall. Bei „konventionellen" Bauwerken im Hochbau sind derartige Probleme meist schon seit langem fest geregelt und werden auch ständig aktualisiert. So existieren neben der DIN 18 230, DIN 4102, zahlreiche Sonderverordnungen und die Eurocodes zur Bemessung von verschiedenen Bauwerksteilen für den Brandfall.
Hinsichtlich „moderner und noch relativ vorsichtig" eingesetzter Bauweisen wie die der geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen bestehen jedoch noch keine allgemeinen Empfehlungen oder gar Vorschriften zur Brandverhütung. Deshalb erweist sich hier eine Vertragsgestaltung häufig als problematisch.

- Wie kann man derartige Konstruktionen überhaupt vor Bränden schützen?
- Wer haftet im Schadensfall?
- Wie lange sollte eine Gewährleistung hinsichtlich des Brandschutzes angesetzt werden?
- Wer übernimmt die Kontrolle einer fachgerechten Pflege der Konstruktion während der Gewährleistungszeit und wie gestaltet sich die Überwachung in der folgenden Zeit?

Wichtige Fragen, die unbedingt vor einer Planung beantwortet sein sollten. Deshalb ist bei geokunststoffbewehrten begrünten Böschungen, bei denen Garantien zur Brandsicherheit vertraglich verlangt werden (siehe auch HOAI), die Erarbeitung einer allgemeinen Richtlinie zur brandsicheren Gestaltung adäquater Konstruktionen anstrebenswert. Zur Durchsetzung solcher Richtlinien bzw. Normen mit Vorschriftencharakter gibt es wichtige rechtliche Vorlagen, nach denen der Nachweis einer derartigen Konstruktion zu führen ist. In den folgenden Kapiteln seien diese

erwähnt und mit ihrer speziellen Bedeutung für die Umsetzung der brandsicheren Gestaltung oben genannter Stützkonstruktionen näher erläutert.

3.5.3 Das Bauproduktengesetz (BauPG)

Die Vorschriften dieses Gesetzes regeln gemäß § 1 BauPG [26] das Inverkehrbringen von Bauprodukten und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten von und nach den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union oder einem Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG [6] zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauprodukten-Richtlinie, s.a. 2.2.5.4) und anderer Rechtsakte der Europäischen Union. Öffentlich-rechtliche Vorschriften, die Anforderungen an die Verwendung von Bauprodukten stellen, bleiben unberührt.
Die Vorschriften des Gesetzes gelten laut § 3 BauPG für die durch die EU anerkannten Normen und Leitlinien, für die europäische technische Zulassungen erarbeitet sind. Diese werden durch das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau im Bundesanzeiger bekannt gemacht. Werden gemäß § 3 Absatz 2 wesentliche Anforderungen gemäß § 5 Absatz 1 an Bauprodukte in Rechtsvorschriften gestellt, so richtet sich das Inverkehrbringen von Bauprodukten im Hinblick auf diese wesentlichen Anforderungen nach *diesen* Rechtsvorschriften. Der § 5 Absatz 1 sagt aus, dass ein Bauprodukt dann als brauchbar gilt, wenn dieses seinem Zweck entsprechend wirtschaftlich gebrauchstauglich ist und die wesentlichen Anforderungen der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit, des Brandschutzes, der Hygiene, der Nutzungssicherheit, des Schallschutzes sowie der Energieeinsparung und des Wärmeschutzes erfüllt. Das heißt, dass in dem speziellen Falle des Brandschutzes eben auch diese Rechtsvorschriften – z.B. Sonderverordnungen für bauliche Anlagen, zum Umweltschutz etc. – zu berücksichtigen sind.
§ 4 BauPG besagt, dass ein Bauprodukt nur in Verkehr gebracht und frei gehandelt werden darf, wenn es gemäß § 5 brauchbar und aufgrund nachgewiesener Konformität, die in § 8 BauPG geregelt ist, mit der CE-Kennzeichnung gemäß § 12 Absatz 1 gekennzeichnet ist. Jedoch wird auch darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung eines Bauproduktes im Einzelfall, diese Nachweise (Brauchbarkeit und Konformität) nicht notwendig sind, aus diesem Grund das Bauprodukt aber auch nicht die CE-Kennzeichnung tragen darf.
Geokunststoffe müssen aufgrund der Anforderungen, die an sie in ihren verschiedenen Einsatzgebieten gestellt werden, die CE-Kennzeichnung tragen, die durch die „Technischen Lieferbedingungen für Geotextilien und Geogitter für den Erdbau im Straßenbau (TL Geotex E-StB 95)“ vorgeschrieben ist. Dabei wurden noch keine Prüfverfahren zur Brandsicherheit durchgeführt. Dementsprechend sind entweder Produkte auf ihre Brandsicherheit zu untersuchen und zu beurteilen oder aufgrund einer zu geringen Sicherheit gegen Brandeinwirkung in solchen Fällen nur in Kombination mit anderen Produkten und Maßnahmen einzusetzen. Das wiederum heißt, dass ein Geokunststoff nur eine CE-Kennzeichnung hinsichtlich einer Brandsicherheit tragen kann, wenn er dies als Bauprodukt allein auch ermöglichen kann.
Die Brauchbarkeit eines Bauproduktes ist in § 5 BauPG geregelt. Dieses schreibt unter anderem den Nachweis der Brauchbarkeit durch eine europäisch technische Zulassung oder bei Abweichung von dieser in Verbindung mit einem Konformitätsnachweisverfahren des Herstellers gemäß § 8 BauPG, eine Erstprüfung

des Bauprodukts gemäß § 9 BauPG (Konformitätserklärung des Herstellers) durch eine anerkannte Prüfstelle vor.
Eine europäisch technische Zulassung wird gemäß § 6 BauPG auf Antrag des Herstellers erteilt, wenn ein Bauprodukt gemäß § 5 Bau PG brauchbar ist. Probestücke und -ausführungen sind dabei zur Verfügung zustellen oder auf Aufforderung der Zulassungsstelle durch Sachverständige zu entnehmen. Die Beurteilung der Brauchbarkeit erfolgt auf der Grundlage von Leitlinien. Die Zulassung wird für eine bestimmte Frist, die in der Regel fünf Jahre beträgt, festgelegt und regelt das Konformitätsnachweisverfahren gemäß § 8 BauPG.
Das Nachweisverfahren der Konformität kann bestehen aus:

- Erstprüfung des Bauproduktes durch den Hersteller,
- Erstprüfung des Bauproduktes durch eine Prüfstelle,
- Prüfungen von im Werk nach festgelegtem Prüfplan entnommenen Proben durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
- Stichprobenprüfung von im Werk, im freien Verkehr oder auf der Baustelle entnommenen Proben durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
- Prüfung von Proben aus einem zur Lieferung anstehenden oder gelieferten Los durch den Hersteller oder eine Prüfstelle
- Ständige Eigenüberwachung der Produktion durch den Hersteller (werkseigene Produktionskontrolle),
- Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine Überwachungsstelle oder
- Laufende Überwachung, Beurteilung und Auswertung der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine Überwachungsstelle.

Die Bestätigung der Konformität erfolgt durch eine Konformitätserklärung des Herstellers gemäß § 9 BauPG oder ein Konformitätszertifikat gemäß § 10 BauPG. Ist ergänzend zu den voran genannten Nachweisverfahren eine Bestätigung einer Zertifizierungsstelle *vorgeschrieben*, erfolgt die Bestätigung der Konformität durch ein Konformitätszertifikat gemäß § 10 BauPG.
Mit der Konformitätserklärung gemäß § 9 BauPG bestätigt der Hersteller, dass die zum Nachweis der Konformität vorgeschriebenen Verfahren durchgeführt worden sind und die Konformität des Bauproduktes ergeben haben. Auf Antrag des Herstellers erteilt die Zertifizierungsstelle in bestimmten Fällen ein Konformitäts-zertifikat gemäß § 10 BauPG.
Das Konformitätszeichen – als Folge des Nachweises der Brauchbarkeit eines Bauproduktes – ist nach dem Bauproduktengesetz die CE-Kennzeichnung. Einzel-heiten werden in den §§ 12 und 15 BauPG festgelegt. Als Überleitungsvorschriften bis zum Inkrafttreten einer Rechtsverordnung gemäß § 15 Absatz 1 Nr.1 BauPG muss die CE-Kennzeichnung laut § 16 BauPG mindestens die Anforderungen des Anhang III Nr.4.1 der Bauprodukten-Richtlinie erfüllen. Bis zum Inkrafttreten des § 15 Absatz 1 Nr.2 wiederum muss die Konformitätserklärung nach § 9 BauPG mindes-tens die Anforderungen des Anhangs III Nr.4.3 der Bauprodukten-Richtlinie und das Konformitätszertifikat gemäß § 10 BauPG mindestens die Anforderungen des Anhangs III Nr.4.2 erfüllen. [26]

3.5.4 Die Bauprodukten-Richtlinie

3.5.4.1 Die Grundlagendokumente

Die Grundlagendokumente [6] harmonisieren die Terminologie und die technischen Grundlagen und bezeichnen die Klassen oder Stufen für jede Anforderung, soweit die erforderlich und nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich ist. Sie werden für die Erarbeitung harmonisierter Normen und Leitlinien für die europäische technische Zulassung sowie für die Anerkennung nationaler technischer Spezifikationen in bezug genommen. Für die Anforderungen des Brandschutzes liegt das Grundlagendokument 2 vor.
Demnach sind die Grundlagendokumente entscheidend für den Entwurf europäisch technischer Zulassungen, die für die Geotextilien bisher nur in einem Falle (Tensar SR) geregelt sind jedoch auch ohne Bezugnahme auf Schwerpunkte des Brandschutzes. Die Grundlagendokumente haben dabei aber keinen direkten Vorschriftencharakter mit bindender Wirkung für Außenstehende, wie z.B. die Bauprodukten-Hersteller. Sie erhalten ihre bindende Wirkung erst in Verbindung mit den harmonisierenden Normen und der Erstellung von Zulassungsleitlinien. [6]

Im Artikel 3 der Bauprodukten-Richtlinie [27] ist der Vorschlag unterbreitet, bei lokalen oder regionalen Abweichungen eines Schutzniveaus hinsichtlich geographischer, klimatischer und lebensgewohnheitlicher Art, für jede wesentliche Anforderung (Leistungsstufen), Klassen festzulegen. Diese Klassen sollen das freie Inverkehrbringen und die freie Verwendung von Bauprodukten ermöglichen. Wo derartige Unterschiede nicht festzustellen sind, dürfen Klassen (oder Stufen) von Produktleistungen auch von Normungsgremien als Hilfsmittel für Planer, Hersteller oder Käufer vorgesehen werden. [6]

3.5.4.2 Ingenieurmethoden auf dem Gebiet der Brandsicherheit (Erläuterung der wesentlichen Anforderung)

Hinsichtlich des Brandschutzes bei Bauwerken können die Ingenieurmethoden in verschiedener Weise angewandt werden:

- zur Ermittlung grundlegender Kenntnis über die Entwicklung und Ausbreitung von Feuer bei Bauwerken, z. B.
  - Berechnung der Brandentwicklung (hier z. B. durch Ermittlung der Brandlast je m² Böschungsgrundfläche)
  - Berechnung der Brandausbreitung innerhalb des Böschungskörpers (nur durch Erfahrungswerte aus Versuchen zu ermitteln) und außerhalb (abhängig von Windgeschwindigkeiten, -richtungen und -spitzen; evtl. durch Entwurf von Abminderungsbeiwerten zu beurteilen)
- zur Bewertung von Einwirkungen, z. B.
  - Einwirken von Wärme auf die Böschungsfläche (Sonneneinstrahlung allein schon gefährdend?)
  - mechanische Einwirkung (Verkehrswege, wie z. B. Bahn, Autoverkehr u.ä.)
- zur Beurteilung des Verhaltens von Bauprodukten, wenn sie einem Brand ausgesetzt sind, z. B.
  - in Entstehungsbränden Merkmale wie Entzündbarkeit (bei extremen Wettersituationen, Exponierungen des Geländes, Vandalismusgefahr), Flammenausbreitung (aufgrund von Wind)

  - Widerstand der Konstruktion gegen einen Brand hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit (Standsicherheit der Böschung)
- zur Beurteilung der Brandmeldung, Aktivierung und Brandbekämpfung, z.B.
  - die Wechselwirkung zwischen Brandbekämpfung und anderen Sicherheitsmaßnahmen [6]

Das heißt, im speziellen Falle der begrünten Stützkonstruktion mit Geokunststoffbewehrung wäre es von Vorteil, mehrere Versuche bezugnehmend auf die oben genannten verschiedenen Einflussparameter durchzuführen und diese anschließend auf ihre Auswirkung zur Tragfähigkeit der Konstruktion hin zu untersuchen und zu beurteilen. Aufgrund der daraus gewonnenen Ergebnisse wäre das Einführen von verschiedenen Abminderungsfaktoren zu überdenken, um die einzelnen Einflüsse in einer Berechnung bzw. Bemessung einer derartigen Stützkonstruktion berücksichtigen zu können.

3.5.4.3 Grundlagen für den Nachweis der Erfüllung der wesentlichen Anforderung Brandschutz

In den Grundlagendokumenten wird vor allem auf die Erfüllung der Anforderung des Brandschutzes durch eine gewissenhafte Durchführung des Entwurfs und der Bemessung des Bauwerks hingewiesen [6]. Diesbezüglich ist bei der Geokunststoff-Stützkonstruktion auch ein sich für den Brandschutz günstig auswirkendes Bewässerungssystem bereits bei der Bemessung (Lasten, Anbringung) der Konstruktion zu berücksichtigen. Auch die Eigenschaften und Leistungsmerkmale (Langzeitverhalten etc.) der eingesetzten Bauprodukte sind sorgfältig zu überprüfen [6]. Das heißt, nicht nur der Geokunststoff als Bewehrungselement ist genauestens zu bemessen, sondern auch der Einsatz von brandhemmenden Produkten und dessen Einfluss auf die Standsicherheit der Konstruktion.

3.5.4.3.1 Einwirkungen

Die Größe der thermischen Einwirkung wird in zeitlicher Abhängigkeit durch die Phase der Brandentwicklung bestimmt, die durch Berechnung oder Versuch für die Bewertung der Produktleistungen unter Anwendungsbedingungen nachgestellt werden kann.
Zur Untersuchung der thermischen Einwirkung, die zur Beurteilung der Produktleistung dienen soll, werden in den Grundlagendokumenten der Bauprodukten-Richtlinie folgende Festlegungen gemacht:

1. Festlegung von Beanspruchungsstufen
   - kleine Zündquelle (z. B. Zigarette)
   - einzelne brennende Gegenstände (z.B. durch Vandalismus: Molotow-Cocktail)
   - Vollbrand (z. B. natürliche Brandbeanspruchung, ETK)
2. Art, Intensität und Dauer der Feuerbeanspruchung
   - Flammengröße (Flächenbrand oder „Punktbrand“)
   - Größe der Strahlung
   - Größe der Wärmeübertragung durch Konvektion (Temperatur und Geschwindigkeit der Verbrennungsgase)
3. Bewertung des Feuerwiderstandes
   - Brandlast der Böschung
   - Wind
   - ETK (für Brandentwicklung im Inneren) [6]

3.5.4.3.2 Nachweis der Erfüllung der wesentlichen Anforderungen

Die Anforderung kann in den nationalen Vorschriften auf dreierlei Weise oder durch eine Kombination derselben zum Ausdruck gebracht werden:

- Angabe einer Mindestleistungsanforderung an das *Bauwerk* (Standsicherheit in Jahren ohne Brandeinwirkung unter bestimmter Belastung)
- Angabe der Mindestleistung der *Produkte (Geokunststoff, brandhemmende Materialien)* (Standfestigkeit im Brandfall, Widerstand der Geokunststoffe, Einschränkung des zulässigen Beschädigungsgrades des Geokunststoffes in %)
- Angabe der kritischen Bedingungen im Brandbereich (Branddauer in Zusammenhang mit ungünstigen Bedingungen) [6]

3.5.4.4 Technische Spezifikation und Leitlinien für die ***europäische*** technische Zulassung

- Begriffsbestimmung „Technische Spezifikation“: Artikel 4
- Begriffsbestimmung „Leitlinien für die europäische technische Zulassung“: Artikel 11

Allgemein wird unterschieden zwischen:

- **Kategorie A:** Normen, die Entwurf und Bemessung sowie Ausführung von Bauwerken hinsichtlich der Erfüllung der wesentlichen Anforderungen nach 89/106/EWG betreffen
- **Kategorie B:** technische Spezifikationen und Leitlinien für die europäische technische Zulassung, die Bauprodukte betreffen, für die Konformitätsbescheinigung und Kennzeichnung gemäß Artikel 13, 14 und 15 nach 89/106/EWG erforderlich sind; Anforderungen an die Leistungen einschließlich der Dauerhaftigkeit; in den technischen Spezifikationen und den Leitlinien muss der vorgesehene Verwendungszweck des betreffenden Produkts angegeben sein [6]

3.5.4.4.1 Leistungsnachweis: (vgl. mit Punkt 3.5.4.2)

- Methoden zur Beurteilung der Brandentwicklung (Versuche, Ermittlung der Brandlast)
- Methoden zur Beurteilung der Leistung und Bemessung von Bauwerksteilen, z. B. tragender Bauteile bei Brand (hier: eingesetzte Geokunststoffe)
- Methoden zur Beurteilung der Wechselwirkung zwischen Brand und Brandbekämpfungstätigkeiten

Stufen der wesentlichen Anforderungen können abhängen von:

- Art, Nutzung und Lage des Bauwerks (normale Böschung oder Doppelwall, mit oder ohne Verkehrsbelastung, Exponierung des Geländes)
- der Bauwerksplanung (in Aufgabengebiete aufgeteilt oder einheitlich, Sachkenntnis)
- der Verfügbarkeit von Notfalleinrichtungen (Sind in der Nähe der Stützkonstruktion Ortschaften?, Anfahrbarkeit der Konstruktion) [6]

3.5.4.4.2 Tragfähigkeit des Bauwerks

Das Haupttragwerk – hier im Sinne der gesamten Stützkonstruktion – muss im Brandfall standsicher sein, in dem hier vorliegenden Fall schwerpunktmäßig den Einsturz der Konstruktion zu verhüten, um eventuell sich auf Verkehrswegen befindliche Personen nicht zu schädigen. Des weiteren muss den brandhemmenden Baustoffen – wie z. B. bei Einsatz von Glasfasergewebestoffen – die Möglichkeit gegeben werden, ihre Funktion der Brandeindämmung über einen bestimmten Zeitraum zu erfüllen. [6] Als Ziel für die sogenannten Regelsetzer [[6], 4.2.2.1] sollte also ein bestimmter Feuerwiderstand für das Haupttragwerk (hier also der gesamten Stützkonstruktion) angestrebt werden, so dass alle brennbaren Stoffe bis zu einem festgelegten Zeitpunkt oder bis zur Selbsterlöschung vollständig abbrennen können, ohne dass das Stützbauwerk in seiner Standsicherheit für einen bestimmten Zeitraum nach dem Brand beeinflusst wird.

3.5.4.4.3 Produkte, bei denen Anforderungen an das Brandverhalten gestellt werden

Für die Erstellung von Mandaten für Normen der Kategorie B und Leitlinien führt eine Liste in den Grundlagendokumenten Produkte auf, die aufgrund der Erfüllung ihrer wesentlichen Anforderungen auf den Markt gebracht werden dürfen. Sie dienen auch als Anhaltspunkte für nicht in der Liste aufgeführte Produkte.
Zur Beurteilung des Brandverhaltens wird eine *harmonisierte* Lösung entwickelt, bei der Großversuche oder Versuche im Labormaßstab angewendet werden, die mit maßgeblichen realen Brandszenarien korrelieren. [6]
Die Produkte werden in ihrem Einbauzustand untersucht, d.h. für den in dieser Arbeit angeführten Fall, dass die Geogitter auch tatsächlich in ihrem in der Erde eingebauten Zustand untersucht werden.
Als maßgebende Leistungskriterien gelten Entzündbarkeit (abhängig von Austrocknungsgrad der Konstruktion), Flammenausbreitungsgeschwindigkeit (maßgeblich für Brandfortentwicklung und Selbstverlöschen der Stützkonstruktion) und/oder eine Kombination dieser Kriterien.
Zusätzlich sind unter Punkt 4.3.1.2.2 der [6] Prüfungen zur Bestimmung der Auswirkungen von Wind vorgesehen. [6]

3.5.4.4.4 Produkte, bei denen Anforderungen an den Feuerwiderstand gestellt werden

Hierbei wird zwischen dem ISO-Normbrand (sogenannter flash-over) mit einer schlagartigen Flammenausbreitung und dem natürlichen Brandszenario mit uneinheitlicher Erwärmung unterschieden. [6] Daraus folgt, dass der erwähnte natürliche Brandablauf einer Brandbeanspruchung bei einer Stützkonstruktion im Freien am Nähesten kommt, da hier eine Erwärmung durch verschiedene Einflussfaktoren wie z.B. Wind sehr variieren kann und demnach nicht unter kontinuierlich gleichen Bedingungen abläuft.
Dabei werden grundlegende Kriterien für die Beschreibung des Feuerwiderstandes eines Produktes festgelegt. Diese sind:

- Tragfähigkeit R (des Geokunststoffes)
- Raumabschluss E (im vorliegenden Fall nicht durchführbar bzw. unrelevant)
- Wärmedämmung I (evtl. durch Boden, aber von geringer Bedeutung oder durch Einsatz von vorgelegten Glasfasergittergeweben)

ausgedrückt in Minuten (Mindestzeit, während der das jeweilige Kriterium erfüllt ist). [6]

3.5.4.4.5 Tragende Bauteile ohne raumabschließende Funktion

Diese werden bei Einwirkung eines natürlichen Brandes wie folgt beurteilt:

- Beanspruchung / Einwirkung: natürlicher Brand
- Leistungskriterien: Standhalten des Bauteils (Geokunststoffes) während einer bestimmten Zeit oder bei einer bestimmten Brandlast
- Klassifizierung: bestanden / nicht bestanden [6]

3.5.4.4.6 Produkte und Systeme zum Schutz von Bauteilen und Bauwerksteilen

Diese Produkte (z. B. Glasfasergittergewebe) werden zum Brandschutz für tragende Bauteile, wie hier der Geokunststoffe, verwendet, um die Tragfähigkeit dieser im Brandfall zu erhöhen. Diese Produkte können durch ihre Materialeigenschaften wie Wärme- und Temperaturleitfähigkeit für einen Bereich hoher Temperaturen für die Bestimmung der Tragfähigkeit geschützter Bauteile, z. B. der Geokunststoffe, (durch Berechnung und / oder Extrapolation oder Interpolation der Prüfergebnisse) beschrieben werden. [6]

3.5.4.4.7 Produktleistungen

Soweit praktisch möglich, sollten in den technischen Spezifikationen und Leitlinien für die europäische technische Zulassung die Merkmale der Produkte in Form von Leistungen abgefasst werden. Rechen-, Mess- und Prüfverfahren sind (wo möglich) zusammen mit den Konformitätskriterien entweder in den jeweiligen technischen Spezifikationen oder in Bezugsdokumenten, auf die in solchen Spezifikationen verwiesen wird, aufzuführen. Dies betrifft vor allen Dingen Aussagen zur getätigten Versuchskonfiguration und die daraus abgeleiteten Versuchsergebnisse und Beurteilung dieser (z. B. in Form von Abminderungsbeiwerten aufgrund verschiedener Einflüsse). [6]

3.5.4.4.8 Bescheinigung der Konformität von Produkten

„Bescheinigung der Konformität“ von Produkten heißt, dass die Bestimmungen und Verfahren der Artikel 13, 14 und 15 sowie des Anhangs III der Richtlinie befolgt worden sind. Dies Bestimmungen sollen sicherstellen, dass die in der einschlägigen technischen Spezifikation festgelegte Leistung eines Produkts (hier Brandschutz und Standsicherheit) mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erreicht wird. [6]

3.5.4.5 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit

3.5.4.5.1 Behandlung der Nutzungsdauer von *Bauwerken* im Hinblick auf die wesentliche Anforderung

Hängen im Hinblick auf die Erfüllung der wesentlichen Anforderung Vorschriften zur Dauerhaftigkeit von Bauwerken (hier: KBE-Konstruktion) mit den Merkmalen von Produkten zusammen, so werden die Mandate für die Erstellung der Europäischen Normen und der Leitlinien für die europäische technische Zulassung für die betreffenden Produkte auch Aspekte der Dauerhaftigkeit erfassen. [6]

3.5.4.5.2 Behandlung der Nutzungsdauer von *Bauprodukten* im Hinblick auf die wesentliche Anforderung

Spezifikationen der Kategorie B und Leitlinien sollten Angaben über die Nutzungsdauer der Produkte (Geokunststoffe) in Abhängigkeit von ihren vorgesehenen Verwendungszwecken und den Verfahren zu ihrer Beurteilung enthalten.
Die Angaben über die Nutzungsdauer eines Produkts (hier speziell der Geokunststoff im Brandfall) können nicht als Herstellergarantie ausgelegt werden, sondern sind lediglich als Hilfsmittel zur Auswahl der richtigen Produkte angesichts der erwarteten wirtschaftlich angemessenen Nutzungsdauer des Bauwerks zu betrachten. [6]

3.6 HOAI

Die Vertragsgestaltung und Klärung der brandschutztechnischen Verantwortlichkeit ist nicht zuletzt auch entscheidend für die durch den Planer zu erfüllenden Leistungen und deren Vergütung nach der HOAI [32]. Denn genau hier gilt es, zu klären, in wie weit der Brandschutz zu den planerischen Leistungen bei KBE-Konstruktionen gehört.
Die allgemeinen Leistungen bei der Planung derartiger Objekte richten sich in der Regel nach den Leistungsphasen 1 bis 5 des Teil VII „Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen“ (§ 55 Abs. 2 HOAI).
Die im Leistungsbild erläuterten Grundleistungen umfassen die Leistungen, die im allgemeinen zur ordnungsgemäßen Erfüllung des Auftrags „normalerweise“ erforderlich sind. Da aber im Normalfall ein brandschutztechnischer Nachweis bei KBE-Konstruktionen nicht verlangt wird, ist dieser auch nicht als Grundleistung anzusehen. Somit wird ein Nachweis zur Brandsicherheit von geokunststoffbewehrten Konstruktionen zu einer „Besonderen Leistung“. Diese treten dann zu den Grundleistungen des jeweiligen Leistungsbildes oder der Leistungsphase hinzu und werden nicht abschließend aufgeführt (§ 2 Abs. 3 HOAI).
Gemäß § 5 Abs. 4 HOAI darf für Besondere Leistungen nur ein Honorar vereinbart werden, wenn die Leistungen im Verhältnis zu den Grundleistungen einen nicht unwesentlichen Arbeits- und Zeitaufwand verursachen und das Honorar schriftlich vereinbart ist. Ist die Besondere Leistung nicht mit einer Grundleistung vergleichbar, so ist das Honorar als Zeithonorar gemäß § 6 zu berechnen, ansonsten wird diese im angemessenen Verhältnis in Art und Umfang zu einer vergleichbaren Grundleistung verrechnet.
Da schon allein die Vorplanung und die Berechnung brandschutzsicherer KBE-Konstruktionen einen erhöhten Aufwand darstellen, ist diese somit als Besondere Leistung vertraglich festzulegen und zu verrechnen. In den Planungsunterlagen könnten damit auch Leistungen zur Durchführung und Auswertung von zweckentsprechenden Versuchen – wie sie in dieser Arbeit vorgeschlagen werden – aufgeführt und demnach als Besondere Leistung mit abgerechnet werden. Dabei ist es aber zwingend erforderlich, derartige Leistungen schriftlich festzuhalten, um diese auch entsprechend HOAI entlohnen zu können.

3.7 Zusammenfassung

Wie in den letzten Kapiteln erkenntlich, spielen bei dem Problem des Brandschutzes eine Vielzahl von rechtlichen Vorschriften, Regelungen und Gesetzen eine große Rolle und es ist schwer, in solch derartigen rechtlichen „Wirrwarr“ auch nur nahezu eine Übersicht zu behalten. Gerade für den Ingenieur ist es dabei oftmals nicht einfach, sich im juristischen „Gesetzesdschungel“ zurechtzufinden und dabei den Überblick zu behalten. Um einen „kleinen Leitfaden“, zur Orientierung bei der Planung brandsicherer KBE-Konstruktionen zu geben, soll folgendes Schema (Abbildung 11) eine Vorgehensweise vorschlagen:

Es wird vertraglich eine brandsichere KBE-Konstruktion verlangt!

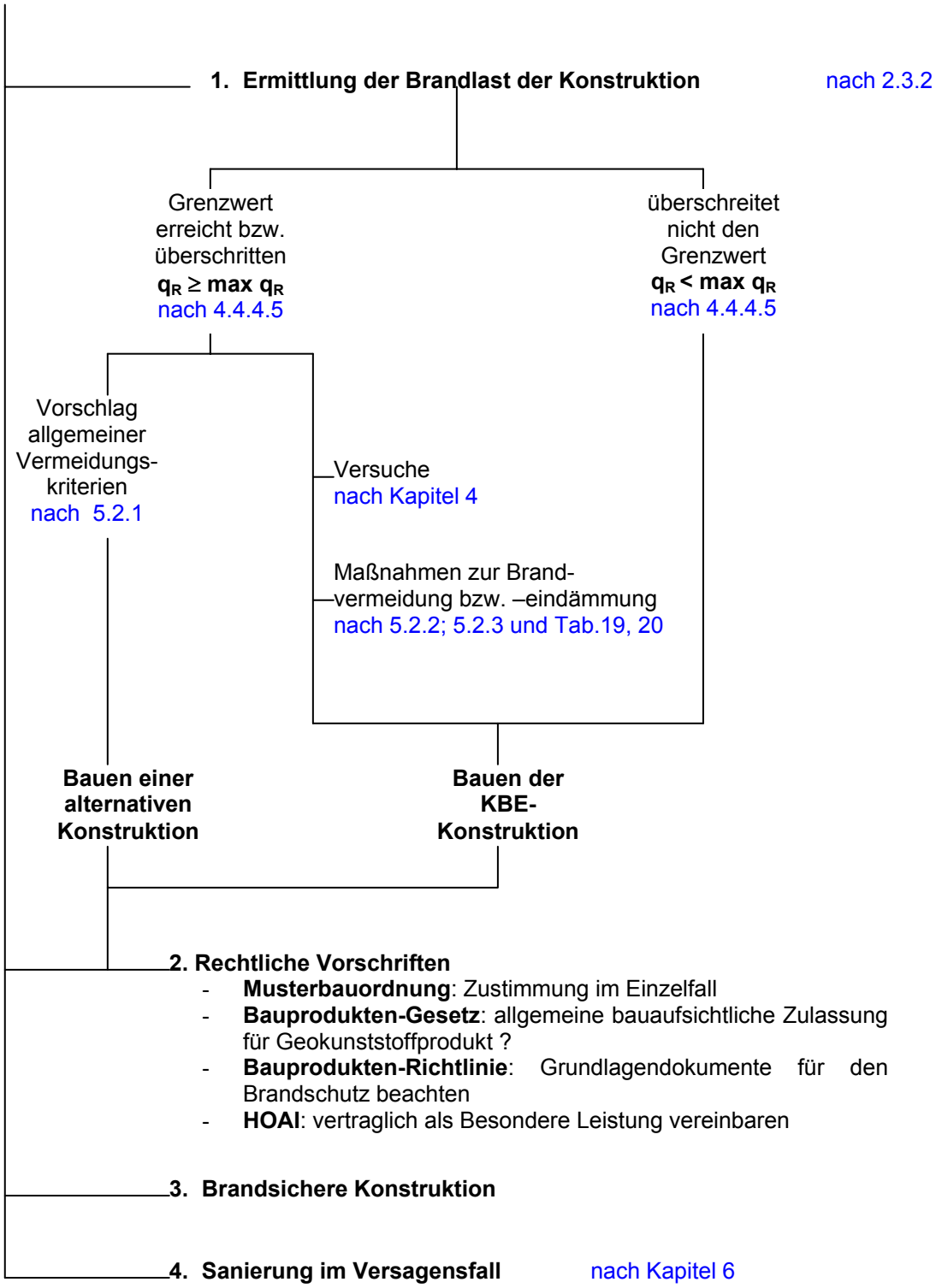


Abbildung 11 Vorgehensweise bei Verlangen einer Brandsicherheit bei KBE-Konstruktionen

4 Brandversuch

4.1 Versuchsvorbereitungen

4.1.1 Allgemeines

Um eine möglichst differenzierte Beurteilung zur Brandsicherheit von KBE-Konstruktionen gewähren zu können, werden bei den Versuchen verschiedene Geogitter und Begrünungsmatten im uneingebauten wie auch im eingebauten Zustand unter verschiedenen Bedingungen untersucht. Die dabei grundlegenden Parameter zur Vorbereitung sollen in den nächsten Kapiteln näher erläutert werden.

4.1.2 Prüfeinrichtung

Die Prüfung besteht aus der Beanspruchung von Probematerialien bzw. Probekörpern mit einer Brandbelastung unter festgelegten Bedingungen. Am Ende der Beanspruchung werden die Probematerialien bzw. Probekörper visuell bewertet und eventuell durch Messen physikalischer Eigenschaften geprüft. Diese Prüfergebnisse werden mit denen verglichen, die an der noch nichtbeanspruchten Messprobe erfasst wurden.

4.1.2.1 Probematerial

Das Probematerial besteht aus verschiedenen Geogittern und Begrünungsmatten. Dabei sollen vor allen Dingen Materialien mit verschiedenen Brennverhalten eingesetzt werden, um deren Brandsicherheit detaillierter beurteilen zu können.

4.1.2.2 Probekörper

Der Probekörper für den zu fahrenden Brandversuch besteht im allgemeinen aus dem zu untersuchenden Geogitter und der ihn umschließenden bzw. überdeckenden Erde. Der Einbau des Geogitters soll dabei so geschehen, dass der Probekörper einem Ausschnitt aus einer sogenannten Polsterwand möglichst nahe kommt, da die hier luftseitig angrenzende Umschlagbewehrung dem Brand am intensivsten ausgesetzt ist.
Zunächst werden alle bei den Versuchen eingesetzten Materialien – d.h. sowohl die Geogitter als auch die Begrünungsmatten – im uneingebauten Zustand einer Brandeinwirkung ausgesetzt. Dabei werden etwa DIN A4-große Proben ausgeschnitten und in eine dafür hergestellte Haltekonstruktion fest eingespannt (Anlagen 8.5.1 und 8.5.2).
Hinsichtlich der begrenzten Zeit, die für die relativ aufwendige Versuchsvorbereitung und den Versuchsaufbau der Probematerialien im eingebauten Zustand zur Verfügung stehen, können nur eine begrenzte Anzahl an Probekörperarten angefertigt werden. Hierfür sollen mehrere Probekörper mit verschiedenen zu untersuchenden Parametern für allgemeine Beurteilungen hinsichtlich des Brandverhaltens bei intakter Begrünung hergestellt werden. Diese sollten dann nach dem zu fahrenden Versuch nicht mehr bewässert und bei nahezu vollständiger Vertrocknung der Vegetation in einer zweiten Versuchsstufe getestet werden, der insbesondere vergleichende Aussagen hinsichtlich der Temperaturausbreitung und Verformung begrünter KBE-Konstruktionen zulassen soll.

4.1.2.3 Prüfboden

Aufgrund der schon sehr zahlreichen verschiedenen Versuchsparameter, wird bei dem Versuch nur eine Bodenart als Füllboden (Prüfboden 1) verwendet. Dabei handelt es sich um ein bei KBE-Konstruktionen häufig verwendetes Kies-Sandgemenge der Körnung 0/32 nach ZTVT. Die Anlage 8.2 stellt die Verteilung der Korngrößen grafisch dar.
Den zweiten Prüfboden stellt der Mutterboden (Prüfboden 2) dar. Dieser ist für die Ausbildung einer KBE-Konstruktion unerlässlich, da er für die für die Begrünung notwendigen Nährstoffe enthält. Um eine möglichst rasche und gleichmäßige Begrünung zu erreichen, wird dieser mit Blumenerde im Verhältnis 3:1 eingebaut.
Die Bodenmaterialien werden in Schalungen, parallel mit dem Einbau der Geogitter und Begrünungsmatten, nach entsprechendem Versuchsaufbau (Anlagen 8.5.3 und 8.5.4) in die Versuchseinrichtung eingebaut und stets mit der gleichen Energie lagenweise auf D_{pr} 97–100% verdichtet (Abbildung 12).
Zur möglichst realitätsgetreuen Simulierung eines im Hochsommer ausgetrockneten Bodens, sollten die Versuchskörper nach ausreichendem Begrünungsbewuchs für die Versuchsstufe 2 nicht mehr bewässert und möglichst – wenn notwendig auch mit Hilfe künstlicher Wärmeeinwirkung bei einer Temperatur von ca. 100°C bis 110°C – nahezu vollständig „ausgetrocknet“ werden.

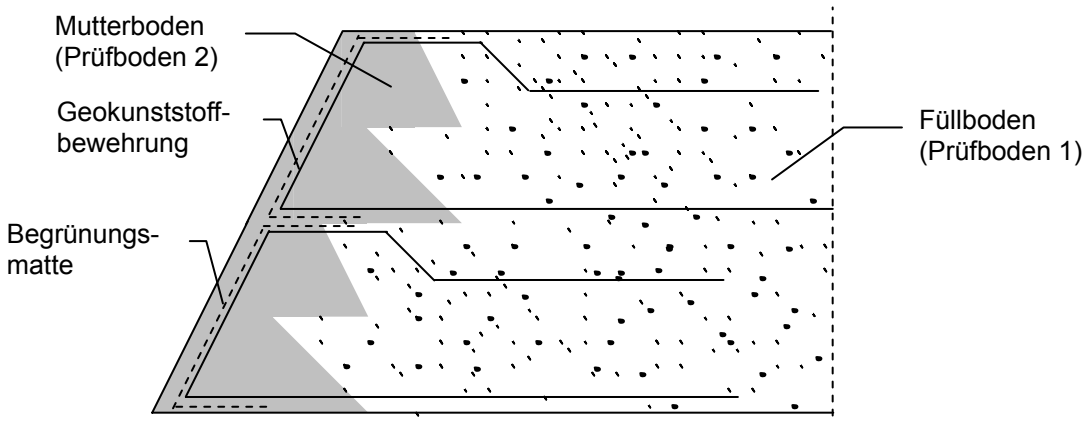


Abbildung 12 Aufbau der Probekörper

4.1.2.4 Produktauswahl der Geokunststoffe

Bei den Untersuchungen sollten nur handelsübliche Produkte zur Anwendung kommen [33]. Da zur Beurteilung des Brandverhaltens verschiedene Materialien, wie PET (Polyethylenterephthalat) und PVA (Vinal – mindestens 85 Masse-% Vinylalkohol) bzw. PA (Polyamid), untersucht werden sollen, werden Produkte zwei verschiedener Hersteller verwendet. Zum einen wird ein Geogitter „a“ der Firma A [34] eingebaut. Als zweites Material kommt das Produkt „b“ der Firma B [35] zum Einsatz. Die entsprechenden Datenblätter zu den Produkten befinden sich im Anhang unter der Anlage 8.3.

4.1.2.5 Produktauswahl der Begrünungsmatten

Die Außenhautgestaltung ist bezüglich einer eventuellen Brandentstehung und -ausbreitung von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund werden bei beiden Versuchsreihen verschiedene Systeme von Begrünungsmatten verwendet. Diese sollen in der späteren Auswertung des Versuchs Aufschluss über zu bevorzugende Außenhautsysteme geben. In den drei Versuchen werden folgende Begrünungsmatten eingesetzt:

- Glasseidengittergewebe
- Glasfaser, kunststoffbeschichtet
- Kokos

4.1.3 Messproben

4.1.3.1 Anzahl der Messproben für den Geokunststoff

Für jede Beständigkeitsprüfung müssen laut EN 12226:2000 [29] mindestens fünf Messproben für die Prüfung und die Kontrolle sowohl in Längs- als auch in Querrichtung verwendet werden. Hinsichtlich des vorzubereitenden Brandversuches wären demnach mindestens zehn Probekörper herzustellen bzw. zehn Geokunststoffproben einzubauen. Dies wird jedoch hauptsächlich zu Festigkeitsuntersuchungen verlangt. Da aber bei diesem Versuch vorrangig die Temperaturausbreitung in der gesamten KBE-Konstruktion und die daraus evtl. resultierenden Beschädigungen ermittelt werden sollen, wird von dieser Vorgabe abgewichen. Denn es sollen weniger Versuche zu Tragfähigkeiten gemacht werden, vielmehr soll der Versuch darüber Aufschluss geben, inwieweit der Geokunststoff im allgemeinen bei einer Brandeinwirkung beschädigt wird. Darüber hinaus wird in [29] darauf hingewiesen, dass bei der gleichzeitigen Durchführung mehrerer Beständigkeitsprüfungen gemeinsame Kontrollmessproben verwendet werden dürfen. Bei späteren Untersuchungen, wo ein nicht so enger Zeitrahmen vorgegeben ist, können und sollten diese Proben jedoch zur detaillierteren Auswertung in größerer Anzahl hergestellt werden.
Die Messproben müssen vor Staub geschützt in einer trockenen, dunklen Umgebung bei Raumtemperatur und geschützt gegen chemische und physikalische Beschädigungen aufbewahrt werden [36].

4.1.3.2 Probenahme für den Geokunststoff

Da für eine möglichst genaue Prüfung der Geogitter unbeschädigte und hinsichtlich der Produktqualität einwandfreie Proben notwendig sind, ist auch bei der Probenahme für den Versuch besondere Sorgfalt unerlässlich. Die Grundprinzipien für diese Probenahmen von Geokunststoffen und für die Vorbereitung von Messproben sind in der EN 963 : 1995 [36] verankert.

4.1.3.3 Probenahmebericht

Die Geokunststoffproben werden jeweils von der Firma A und der Firma B zur Verfügung gestellt.
Nach [36] muss ein sogenannter Probenahmebericht (Anlage 8.4) über die zugeschnittenen Proben angefertigt werden.
Der Probenahmebericht muss die folgenden Einzelheiten enthalten:

a) eine Erklärung, dass die Probenahme und die Vorbereitung nach EN 963:1995 [36] ausgeführt wurden;
b) Einzelheiten jeder besonderen, während der Auswahl, der Probenahme oder der Vorbereitung von Messproben gemachten Beobachtungen, wie
   - ungewöhnlich hohe Anzahl von Fehlerstellen,
   - Ablösen von Bestandteilen des Geotextils oder geotextilverwandten Produktes,
   - die Notwendigkeit, mehrere Messproben für dieselbe Prüfung aus demselben Streifen in Längs- oder Querrichtung zu entnehmen;
c) Einzelheiten jeder Abweichung des in [36] festgelegten Probenahmeverfahrens,
d) Datum des Probeschneidens und die Referenznummer(n) der ausgewählten Rollen

4.2 Versuchskonfiguration

4.2.1 Allgemeines

Es ist sicherlich nicht immer ganz einfach, Konstruktionen, die in der Realität in größeren Dimensionen vorkommen, im Labor wirklich realitätsnah herzustellen und zu untersuchen. Nicht nur die Größendimensionen und Verhältnisse der Kräfte sind dabei entscheidend, sondern auch gerade die in dem vorliegenden Forschungsvorhaben herzustellende Analogie zu natürlichen Bedingungen.
Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren, welche in den Versuchen analysiert werden sollen, werden die Materialien zunächst im uneingebauten Zustand beflammt und untersucht. Die Versuchsdurchführung der eingebauten Proben wird in zwei Versuchsstufen unterteilt. In den Versuchstufen sollen möglichst viele Einflussparameter kombiniert eingesetzt werden. Diese sollen näheren Aufschluss über brandsichere und brandunsichere Systeme geben, und hauptsächlich Aussagen über den Beschädigungsgrad der eingesetzten Geokunststoffe zulassen.
Mit der zur Weiterführung empfohlenen Versuchsstufe 2 sollten zusätzlich noch Ergebnisse zur Temperaturausbreitung innerhalb der KBE-Konstruktion und zu eventuell auftretenden Verformungen gewonnen werden. Aus diesem Grund müssen bei dieser Versuchsstufe zusätzlich Thermoelemente und Wegaufnehmer zur Messdatenaufnahme eingesetzt werden.

4.2.2 Versuch im uneingebauten Zustand

Alle im Versuch verwendeten Materialien werden vorab in einer Halterungseinrichtung (Fotos 1, 2, 3) im uneingebauten Zustand auf ihr Brandverhalten untersucht. Dazu werden die Proben zu DIN A4-Größe zugeschnitten und in eine Klemmvorrichtung fest eingespannt. An gleicher Vorrichtung befindet sich eine Halterung für den Brenner, der in dem definierten Abstand von 17 mm von der Probe entfernt festgestellt wird (Anlagen 8.5.1 und 8.5.2).
Dabei werden die Materialproben wie in Tabelle 7 bezeichnet.

Tabelle 7 Bezeichnung der Proben in uneingebautem Zustand

	ohne Begrünungsmatte	**Glasfasergewebe Firma A, Kstst.-beschichtet**	**Glasfasergewebe Firma B**	**Glasfasergewebe Firma C, 4 x 4**	**Glasfasergewebe Firma D, 6 x 6**	**Glasfasergewebe Firma D, 3,5 x 3,5**	**Kokos**
Geogitter „a“ Firma A	MP1	MP9	MP10				
Geogitter „b“ Firma B	MP2 MP12 MP13		MP8				
ohne Geogitter		MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP11

Die bei den Versuchen gemachten Beobachtungen sind nach dem in Anlage 8.6.1 dargestellten Protokoll schriftlich festzuhalten. Des weiteren sind Foto- und Videoaufnahmen während des Versuchs empfehlenswert, um diese eventuell für spätere zusätzliche Auswertungen verwenden zu können.

Foto 1 Halterungsvorrichtung von der Seite

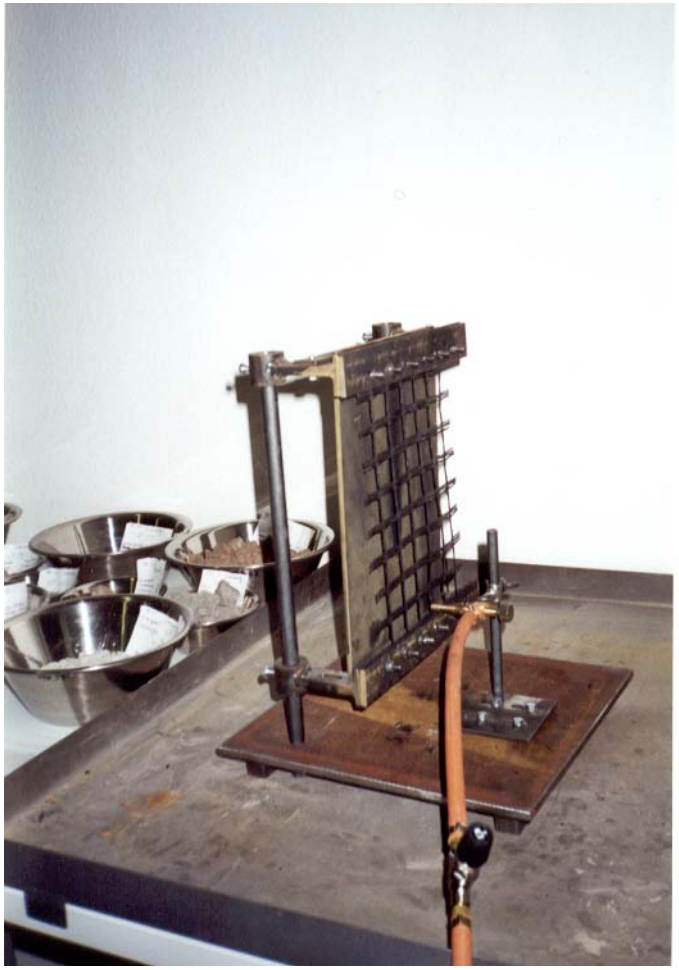


Foto 2 Halterungsvorrichtung von schräg vorn

Foto 3 Halterungsvorrichtung am Prüfstandort

4.2.3 Versuchsstufe 1

4.2.3.1 Probekörpereinfassung

Die im Versuch künstlich realisierte KBE-Konstruktion wird in einer Schalung aus Holz hergestellt. Die Abmessungen (Tabelle 8) der Bodenplatten betragen 50 cm x 90 cm. Die Seiteneinfassungen haben eine Höhe von 41 cm und eine Tiefe von 90 cm. Die Rückwand der Einfassung ist 52 cm breit und 41 cm hoch. Die Dicke der verwendeten Schalungsbretter beträgt 12 mm (Abbildung 13). Dabei sind die Bretter mit Nägeln im Abstand von 5 cm möglichst fest zu verbinden, um eine zu große Sauerstoffzufuhr durch eventuelle Fehlstellen zu vermeiden und dem beim Einbau des Bodens entstehenden Erddruck zu widerstehen.

Tabelle 8 Abmessungen für Probekörpereinfassung in Versuchsstufe 1 und 2 in [cm]

	Neigung 60°
Bodenplatte	50 x 90
Seiteneinfassung	41 x 90
Rückwand	52 x 41

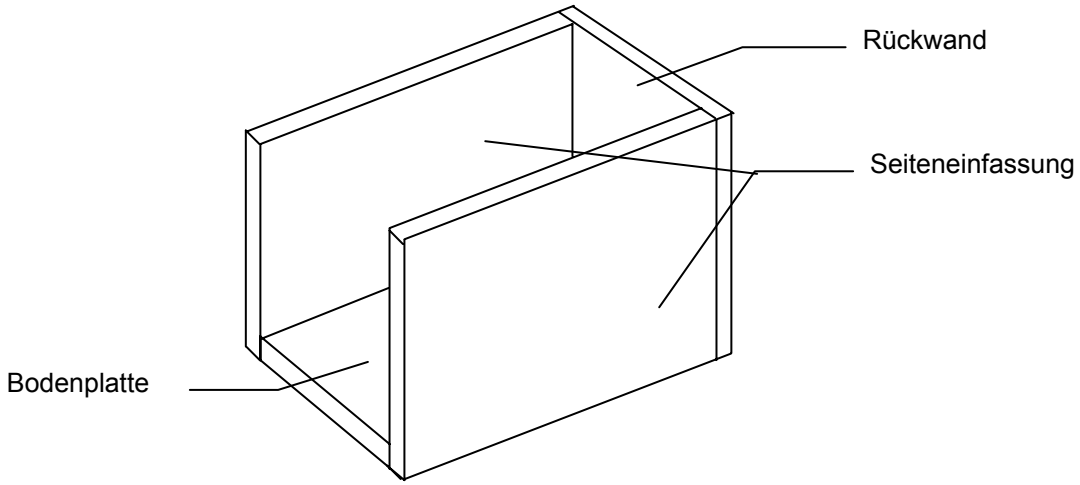


Abbildung 13 Probekörpereinfassung

4.2.3.2 Geokunststoff

Bei dem Einbau der Geokunststoffe kommen zwei verschiedene Materialien netzartiger Struktur zum Einsatz. Eine Probe wird durch ein in Längsrichtung aus Vinal (PVA – mindestens 85 Masse - % Vinylalkohol)und in Querrichtung aus Polyamid (PA), die andere durch ein aus Polyethylenterephthalat (PET) bestehendes Geogitter charakterisiert. Dabei werden die Geogitter mit einem Umschlag zur offenen Seite der Schalung hin eingebaut – entsprechend der realen sogenannten „Polsterwand“.

Die Überdeckung der Geogitter wird durch eine ca. 180 mm starke Füllbodenschicht aus einem Kies-Sand-Gemisch der Körnung 0/32 gemäß der Korngrößenverteilung nach Anlage 8.2 realisiert. Die luftseitige Abdeckung wird durch eine

Begrünungsmatte gebildet, die mit einer formgebenden wiederverwendbaren Schalung eingebracht wird. Diese Schalung wird in Form eines Holzbrettes an der offenen Seite der Probekörpereinfassung mit Hilfe von Nägeln fixiert und dient dem Einbau des Füllbodens (Prüfboden 1) und Mutterbodens (Prüfboden 2). Die Mutterbodenschicht ist – ähnlich dem innenliegenden Mutterbodenzwickel – hinter dem Geogitter mit einer Stärke von ca. 30 mm an der Basis einzubauen (Anlagen 8.5.3 und 8.5.4). Nach dem vollständigem Einbau der Konstruktion wird das Schalungsbrett gezogen, und die zur Fixierung dienenden Nägel werden entfernt.
Der Prüfabschnitt der eingebauten Geogitter hat demnach bei den Versuchen eine Breite von 500 mm und eine Länge von ca. 1250 mm in der unteren Lage und 1150 mm in der oberen Lage.
Folgende Tabelle (Tabelle 9) gibt eine Übersicht über die wichtigsten Materialkennwerte der verwendeten Geogitter:

Tabelle 9 Materialkennwerte für Geogitter [34], [35], [37]

Produkt	**Firma A**	**Firma B**
Aufbau	Geogitter	Geogitter
Zusammensetzung	Kette: PET Schuss: PET	Kette: PVA Schuss: PA
Bruchlast längs	35 kN/m²	110 kN/m²
Bruchdehnung längs	15 %	≤12,5 %
Bruchlast quer	35 kN/m²	25 kN/m²
Bruchdehnung quer	15 %	≤12,5 %
Flächengewicht	≈ 500 g/cm²	≈ 500 g/cm²

Auf Belastungseinrichtung und Thermoelemente wird bei der Versuchsstufe 1 verzichtet, da diese lediglich zur allgemeinen Bewertung der Brandauswirkung auf das Geogitter dienen sollen.

4.2.3.3 Begrünung

Die erforderliche Begrünung für die Konstruktion wird mit Hilfe von Saatmischungen des Typs RS 7.2.2 realisiert. Diese werden von Hand gleichmäßig auf dem gut durchfeuchteten Boden angesät. Während der Wachstumsphase ist der Probekörper regelmäßig zu gießen, so dass ein guter Bewuchs der Konstruktion gewährleistet ist.

4.2.3.4 Kombination von Geokunststoff und Begrünungsmatte

Um verschiedene Reaktionen der KBE – Konstruktionen bei unterschiedlicher Kombination von Begrünungsmatte und Geokunststoff bei einer Brandbelastung deutlich zu machen, werden die Probekörper nach den in Tabelle 10 vorgegebenen Kombinationen hergestellt und bezeichnet (Fotos 4, 5, 6, 7, 8).

Tabelle 10 Kombination der Versuchsparameter und Bezeichnung der Proben

Begrünungsmatte	Versuchsstufe 1		Zur Weiterführung empfohlene Versuchstufe 2	
	Firma A „a“, Neigung 60°	**Firma B „b“, Neigung 60°**	**Firma A „a“, Neigung 60°**	**Firma B „b“, Neigung 60°**
ohne	PK1V1		PK1V2	
Glasfasergewebe Firma A, Kunststoff-beschichtet	PK2V1		PK2V2	
Glasfaser Firma C 4 x 4	PK3V1		PK3V2	
Glasfasergewebe Firma B		PK4V1		PK4V2
Kokos	PK5V1		PK5V2	

Die bei den Versuchen erlangten Erkenntnisse sind in den Protokollen nach Anlagen 8.6.2 und 8.6.3 (zur Weiterführung empfohlene Versuchsstufe 2) schriftlich festzuhalten. Zusätzlich sind für spätere Versuchsauswertungen Foto- und Videoaufnahmen während der Versuchsdurchführung zu empfehlen.

Foto 4 PK1V1

Foto 5 PK2V1

Foto 6 PK4V1

Foto 7 PK4V1

Foto 8 PK5V1

4.2.4 Zur Weiterführung empfohlene Versuchstufe 2

4.2.4.1 Probekörpereinfassung

Die Probekörpereinfassung ist adäquat der in Versuchsstufe 1.

4.2.4.2 Geokunststoff

Da für diese Versuchsstufe die gleichen Probekörper, jedoch mit ausgetrockneter Vegetation, zur Anwendung kommen, verändern sich die Parameter dahingehend auch nicht und sind denen der Versuchsstufe 1 zu entnehmen.

4.2.4.3 Belastungseinrichtung

Um die Auswirkung der Lastausbreitung in Verbindung mit einem Lastfall Brand innerhalb des KBE-Körpers von befahrbaren Böschungen beurteilen zu können, soll der Versuchskörper mit einer Totlast von 50-100 kN/m² mittig mit Stahlplatten belastet werden. Eine Simulierung einer Ersatzflächenlast, welche mittels Verteilerträgern durch hydraulisch erzeugte Kräfte erzeugt werden müsste, wäre im Rahmen dieser Versuche zu aufwendig und aufgrund der Probengröße schlecht realisierbar.
Die Gesamtfläche der Berührungspunkte der Belastungseinrichtung darf dabei laut DIN 1363-1 [38] 10% der Gesamtoberfläche des Probekörpers nicht überschreiten.
Es ist darauf zu achten, dass die Last mindestens drei Tage vor Versuchsbeginn aufgebracht wird, so dass eventuell auftretende Vorverformungen berücksichtigt werden können.

4.2.4.4 Begrünung

Die Begrünung des Probekörpers erfolgt gleichermaßen der in Versuchsstufe 1. Dieser ist jedoch nach Beendigung der Versuchsstufe 1 nicht mehr zu bewässern, sodass die Vegetation vollständig austrocknen kann.

4.2.4.5 Messtechnik

Während des Versuches sollen Temperatur und eventuelle sichtbare Verformungen bzw. Verschiebungen gemessen werden. Außerdem sind alle visuellen Beobachtungen am Gesamtprobekörper in einem Protokoll festzuhalten.

4.2.4.5.1 Thermoelemente

Der Temperaturverlauf innerhalb des Probekörpers soll mit Thermoelementdrähten Typ K (Chromel / Alumel) [38] gemessen werden. Die Thermoelemente sind an den Stößen und jeweils an den Oberkanten des Geokunststoffes mittig und am Probekörperrand mindestens einen Tag vor der Versuchsdurchführung in die Konstruktion einzubringen.
Zur Messung der unmittelbaren Umgebungswärme an der beflammten Seite sollten Ofen-Thermoelemente (Plattenthermometer) Typ K gemäß EN 60584-1 [39] zum Einsatz kommmen. Sie werden an Halterungen im Abstand von 10 cm zur Konstruktion jeweils an der beflammten Seite am Rand und in der Mitte der

begrünten Böschungsfront befestigt. Die Plattenthermometer sind so anzuordnen, dass sie nicht mit Flammen des Brennelementes in Berührung kommen.
Zur Feststellung der Oberflächentemperatur sind sowohl auf der Böschungsoberfläche als auch auf der Waagerechten Plattenthermometer anzubringen. Diese sind jeweils in der Mitte der Böschungsoberflächen und auf der Geraden sowohl mittig als auch an den Außenseiten zu befestigen.
Die genaue Anordnung ist – in ihrer Symmetrie adäquat der detaillierten Versuchsstufe 2 – in den Anlagen 8.6.7 und 8.6.8 ersichtlich.
Die Temperaturen aller Thermoelemente müssen während der gesamten Aufheizdauer in Abständen von höchstens einer Minute gemessen und aufgezeichnet werden [38].
Die Umgebungstemperatur innerhalb des Prüflabors, unweit des Probekörpers, ist mit einem Thermoelement Typ K nach [39] so zu messen, dass die Temperatur vor und während der Prüfung protokolliert werden kann. Die Messstelle muss vor Strahlungswärme und Zugluft geschützt werden. Zu Beginn der Prüfung muss die Luft im Labor (20 $\pm$ 10)°C betragen [38].
Laut [38] sollte das Thermoelement mit einem Keramikklebstoff auf Wasserbasis, der durch Mischen der Bestandteile unter Bildung eines hochtemperaturbeständigen Klebstoffs hergestellt wird, an die Oberflächen geklebt werden. Sollten sich beim Kleben Schwierigkeiten ergeben, darf zum Festhalten Klebeband verwendet werden, vorausgesetzt, das Klebeband wird vor der Prüfung früh genug entfernt, um die vollständige Trocknung des Klebstoffs zu ermöglichen. Das Klebeband muss vorsichtig entfernt werden, damit die Oberfläche nicht beschädigt wird. [38]

4.2.4.5.2 Analogie zum Brandraum

Während eines Brandversuches muss die mittlere Temperatur im Brandraum nach der Einheits-Temperaturzeitkurve – abgekürzt: ETK – ansteigen (Gleichung (2)) [10].
Nach den ersten fünf Minuten der Prüfung dürfen die Abweichungen der mittleren Temperatur im Brandraum $\pm$ 100 K nicht übersteigen. Außerdem darf nach den ersten fünf Minuten die Fläche unter der gemessenen Kurve von der Fläche unter der ETK bis zu 30 Minuten Prüfdauer nur um $\pm$ 10%, bei längerer Prüfdauer nur um $\pm$ 5% abweichen. Hierbei beziehen sich die angegebenen Fehlergrenzen jeweils auf den Sollwert bei Beflammungsende. [38]
Da bei dem hier dargelegten Brandversuch der Abbrand jedoch den in der freien Natur stattfindenden Brand simulieren soll, sind größere Toleranzen in den Fehlergrenzen durchaus zulässig. Während des Versuches sind jedoch in regelmäßigen Abständen die Temperaturen zu protokollieren und gemäß nachstehender Abbildung 14 eine Temperaturkurve analog einer ETK anzufertigen und zu bewerten.

$$\vartheta - \vartheta_0 = 345 \lg(8t + 1) \qquad (2)$$

ϑ Brandraumtemperatur in K
ϑ_0 Temperatur der Probekörper bei Versuchsbeginn in K
t Zeit in Minuten

t min	$\vartheta - \vartheta_0$ K
0	0
5	556
10	658
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1194

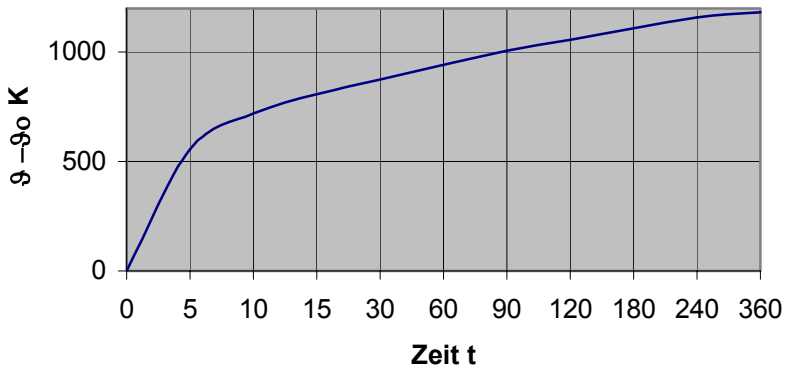


Abbildung 14 Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK)

4.2.4.5.3 Wegaufnehmer

Mit dem Versuch sollen auch detailliertere Aussagen zum Verformungsverhalten der KBE-Konstruktion während und nach dem Lastfall Brand gemacht werden können. Da das Befestigen von DMS an dem Geokunststoff sehr problematisch bzw. nicht möglich ist, sind einfachere aber dennoch möglichst genaue Vorrichtungen zum Festhalten eventuell auftretender Verformungen notwendig. Messaufnehmer, die direkt am Geokunststoff angebracht werden können, existieren leider nicht bzw. sind diese im Rahmen dieser Versuchsreihe zu aufwendig. Da die Verformungen dennoch sichtbar sein sollen und weitestgehend genau festzustellen sind, sollen vor dem Versuchsbeginn Wegaufnehmer an der Waagerechten ausgerichtet werden (Anlage 8.6.9 – in dieser Versuchsstufe an beiden Seiten im Querschnitt). Diese sind, fixiert an eine Haltevorrichtung, unmittelbar an der Kante zur Böschungsstirnfläche anzubringen.
Die Geräte sind in regelmäßigen Abständen von einer Minute abzulesen und eventuell auftretende Veränderungen zu protokollieren.

4.2.4.5.4 Visuelle Beobachtungen

Zusätzlich zu den bereits erläuterten Wegaufnehmern, sind Ausgangssituation und Endzustand der Böschungsflächen mit feuerfester Farbe an den Seiten der Probekörpereinfassung zu kennzeichnen.
Des weiteren sind bei beiden Versuchsstufen die gesamten Versuchsabläufe mit einer Digitalkamera festzuhalten. Für diese sollte ein geeignetes Stativ bzw. ein fester Standplatz vorgesehen werden, um eine einwandfreie Auswertung der Bilder zu gewährleisten. Die Kamera ist vor Hitzestrahlung zu schützen.

4.2.5 Vorschlag zu detaillierterer Versuchskonfiguration der Versuchstufe 2

4.2.5.1 Allgemeines

Aufgrund des engen Zeitrahmens bei Bearbeitung dieser Arbeit, sind gewisse Einschränkungen in der Versuchsdurchführung notwendig gewesen. Gerade bezüglich der genaueren Untersuchung von Temperaturausbreitung und Verformungen bei KBE-Konstruktionen unter Brandbelastung wäre ein ausführlicherer und komplexerer Versuch von Vorteil. Eine solche mögliche Versuchskonfiguration wurde auch bei den Vorüberlegungen zu dieser Arbeit überdacht und entworfen, aus den bereits erwähnten Zeitgründen jedoch nicht durchgeführt. Dieses Konzept soll jedoch hier nicht unerwähnt bleiben und eventuell als Anregung für weitere Forschungsvorhaben gleicher Art dienen.

4.2.5.2 Probekörpereinfassung

Die Einfassung der Probekörper der Versuchsstufe 2 soll aus Stahlblechen von 4 mm Dicke hergestellt werden. Dazu werden jeweils zwei Stahlbleche mit einer Breite von 850 mm und einer Höhe von 500 mm auf ein Bodenblech mit einer Breite von 530 mm und einer Tiefe von 850 mm mit einer Kehlnaht a = 5 mm aufgeschweißt (Abbildung15).

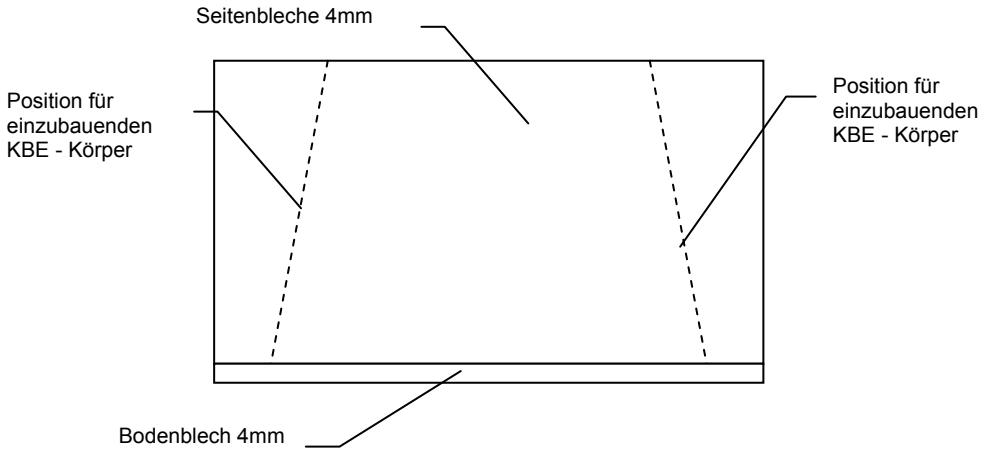
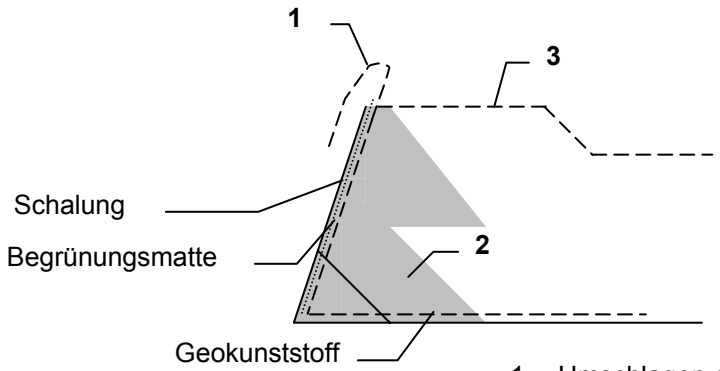


Abbildung 15 Aufbau Probekörpereinfassung für Versuchsstufe 2

Zur Formgebung der Böschungsfront ist vor Einbringen des Füll- und Mutterbodens und des Einbaus der Geokunststoffe, ein als verlorene Schalung anzusehendes Stahlgitter so einzubauen, dass eine Böschungsneigung von 70° erreicht wird. Die Neigung wird dabei durch einen an der Schalung befestigten Haken fixiert. Der Geokunststoff wird an der Schalung entlang verlegt und zunächst über die stirnseitig liegende Schalung überlappt (Abbildung 16). Die Begrünungsmatte liegt zwischen dem Schalungselement und dem Geokunststoff. Der Einbau des Mutterbodens erfolgt parallel dem Einbau des Füllbodens im Frontbereich der Konstruktion.
Bei dieser Versuchsstufe wird der Probekörper ähnlich dem eines Doppelwalls hergestellt, um auch eventuelle Ergebnisse von der beim Wall unbeflammten Seite

zu erhalten. Diese könnten z. B. Aussagen zum Verformungsverhalten und der Standfestigkeit des Walls sein.



1 Umschlagen der Bewehrung
2 Einbau des Mutter- und Füllbodens
3 Zurückschlagen der Bewehrung über eingebauten Boden

Abbildung 16 Einbauablauf für den Geokunststoff

4.2.5.3 Geokunststoff

Aufgrund der großen Variationsmöglichkeiten von Geokunststoffen mit Begrünungsmatten, sollten bei diesen Versuchen auch mehrere Kombinationen dieser Systeme zur Anwendung kommen. Nach Auswertung der Versuchsstufe 1 sollen dabei vor allen Dingen sowohl brandsichere als auch brandunsichere Systeme hergestellt und geprüft werden. Somit wird ein besserer Vergleich der Systeme untereinander ermöglicht.
Es sind jeweils zwei Lagen Bewehrung mit einer Breite von 500 mm und einer Länge von 1450 mm (oben) bzw. 1850 mm (unten) einzubauen. Die untere Bewehrung ist dabei auf eine dünne Schicht Füllboden aufzulegen, mit einer 200 mm dicken Schicht des Füllbodens zu überdecken und oben 30 mm zu überlappen. Im gleichen Zuge erfolgt der Einbau des Mutterbodens. Dieser wird aufgrund der ungünstigeren Auswirkung des Brandes auf den Geokunststoff und wegen der steilen Neigung von 70° [2] innenliegend eingebracht (Anlagen 8.6.5 und 8.6.6).

4.2.5.4 Belastungseinrichtung

4.2.5.5 Begrünung

Belastungseinrichtung und Begrünung sind ebenso wie bei der empfohlenen Versuchsstufe 2 vorzubereiten.

4.2.5.6 Messtechnik

Während des Versuches werden Temperatur und eventuelle sichtbare Verformungen bzw. Verschiebungen gemessen. Diese erfolgen adäquat denen der vorgeschlagenen fortführenden Versuchsstufe 2. Im folgenden sollen noch einige zusätzliche Angaben gemacht werden, die die Form des Doppelwalls berücksichtigen und Aussagen zur Reaktion der unbeflammten Seite zulassen.

4.2.5.6.1 Thermoelemente

Die Umgebungswärme wird zusätzlich an der unbeflammten Seite in gleicher Exponierung wie an der beflammten, jedoch mit Scheiben-Thermoelementen vom Typ K, wie in [39] festgelegt, gemessen.
Zur Feststellung der Oberflächentemperatur sind sowohl auf den beiden Böschungsoberflächen als auch auf der Waagerechten an der beflammten Seite Plattenthermometer und an der unbeflammten Seite Scheibenthermometer des Typs K anzubringen. Diese sind jeweils in der Mitte der Böschungsoberflächen und auf der Geraden im Abstand von 16 cm zu befestigen.
Die genaue Anordnung ist in den Anlagen 8.6.7 und 8.6.8 ersichtlich.
Alle anderen Vorbereitungen gelten analog der empfohlenen Versuchsstufe 2.

4.2.5.6.2 Analogie zum Brandraum

Siehe Punkt 4.2.5.5.2 .

4.2.5.6.3 Wegaufnehmer

Hier ist nur zu beachten, dass die Wegaufnehmer sowohl an der beflammten wie auch an der unbeflammten Böschungskante anzubringen sind (Anlage 8.6.9). Alle anderen Angaben sind Punkt 4.2.5.5.3 zu entnehmen.

4.2.5.6.4 Visuelle Beobachtungen

Siehe Punkt 4.2.5.5.4 .

4.3 Versuchsdurchführung

4.3.1 Brenner

Laut Textilnorm ist bei Brandversuchen ein Kleinbrenner nach DIN EN ISO 6941 [40] zu verwenden. Entsprechende Darstellungen des Brenners sind im Anhang unter Anlage 8.7 angeführt.

4.3.2 Versuch im uneingebauten Zustand

Das Protokoll zur Versuchsdurchführung befindet sich im Anhang unter der Anlage 8.6.1.
Nachdem sich der Versuchsdurchführende davon überzeugt hat, dass die Proben fest in die Halterungsvorrichtung eingespannt sind, so dass die Materialproben nicht mehr verrutschen können, ist der Brenner laut [40] in einem Abstand von 17 mm von der Probe entfernt, fest zu fixieren. Einige wenige Proben sind dabei mit Neigungen von 50° und 70° einzuspannen, um die Reaktionen der Materialien hinsichtlich unterschiedlicher Neigungswinkel beurteilen zu können.
Im Anschluss wird bei der Probe eine Kurzbeflammung von 5 Sekunden durchgeführt.
Die Prüfung ist mit Erlöschen der Flamme und Beenden des Glimmvorganges der Probematerialen abgeschlossen.
Alle Beobachtungen und Bemerkungen sind in dem Protokoll nach Anlage 8.6.1 schriftlich festzuhalten.
Zur Beurteilung des Zugkraftverlustes der eingesetzten Materialien sollen die brandbeanspruchten Proben Streifenzugversuchen nach DIN EN ISO 10319 [41] unterzogen werden. Dazu wurden die Proben an das Sächsische Textilforschungs-Institut gesandt, die die entsprechenden Versuche durchführen werden. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind protokollarisch festzuhalten und mit den Ausgangsfestigkeiten zu vergleichen und auszuwerten.

4.3.3 Versuchsstufe1

Das Protokoll zur Versuchsdurchführung befindet sich im Anhang unter der Anlage 8.6.2.
Da sich bei Versuchstufe 1 die Untersuchungen auf das Geotextil nach dem Lastfall Brand bei noch vollständig intakter Begrünung beschränken, reduzieren sich hier die Vorbereitungen auf die Fixierung des Brenners in dem definiertem Abstand von 17 mm von dem Probekörper entfernt.
Unmittelbar nach einer Kurzbeflammung von 5 Sekunden wird die Flamme von dem Probekörper entfernt bzw. die Beflammung eingestellt und bis zum vollständigen Verlöschen des Brandes bzw. Glimmens alle Beobachtungen nach dem Protokoll in Anlage 8.6.2 protokolliert.

4.3.4 Zur Weiterführung empfohlene Versuchsstufe 2

4.3.4.1 Allgemeines

Zur Beurteilung des Brandverhaltens von KBE-Konstruktionen bei geschädigter Vegetation, sind die Probekörper der Versuchsstufe 1 nach Versuchsdurchführung nicht weiter zu bewässern, um eine nahezu vollständige Austrocknung der Begrünung realisieren zu können.

4.3.4.2 Lastaufbringung

Die Prüflast muss mindestens drei Tage vor Beginn der Prüfung und mit einer Geschwindigkeit aufgebracht werden, die keine dynamischen Auswirkungen hat. Alle daraus resultierenden auftretenden Verformungen müssen gemessen und aufgezeichnet werden [38]. Die Messung kann hier z. B. mit dem Anzeichnen einer ersten Linie an den Seiten der Probekörpereinfassung und einer ersten Ablesung der beiden angebrachten Wegaufnehmer erfolgen.

4.3.4.3 Beginn der Prüfung

Spätestens 5 Minuten vor Beginn der Prüfung sind die von allen Thermoelementen aufgezeichneten Anfangstemperaturen zu überprüfen, um die Übereinstimmung sicherzustellen. Die Bezugswerte müssen aufgezeichnet werden.
Die mittlere Anfangs-Innentemperatur des Probekörpers muss (20 $\pm$ 10)°C betragen und innerhalb von 5°C der Anfangstemperatur der Umgebung liegen.
Die Wegaufnehmer sind nochmals auf ihre Ausrichtung zur Böschungsoberfläche hin zu überprüfen und notfalls nachzujustieren.
Die Prüfung beginnt, wenn die Anzeige irgendeines Thermoelements 50°C übersteigt. Die Zeit ist von diesem Zeitpunkt an zu messen [38].
Das Protokoll zur Versuchsdurchführung befindet sich im Anhang unter der Anlage 8.6.3.

4.3.5 Beobachtungen und Messungen

Für jeden einzelnen Versuch sind Versuchprotokolle nach Anlage 8.6.3 zu führen. Jeder Versuch ist mit einer eigenen Bezeichnung zu versehen (siehe Tabelle 10) und alle Beobachtungen sind in einem Versuchsprotokoll festzuhalten. Die Protokolle sollten in verschiedene Kategorien zum Festhalten von Messdaten und Beobachtungen unterteilt sein.
Die Messergebnisse zu den Thermoelementen und Wegaufnehmern sollten möglichst in einem Abstand von einer Minute abgelesen und protokolliert werden. Bei größeren Messunterschieden sollten die Ableseintervalle entsprechend verkürzt werden.
Der gesamte Brandablauf ist bei jedem einzelnen Probekörper mit einer Digitalkamera aufzunehmen und gegebenenfalls zu dokumentieren. Zur Erleichterung der späteren Auswertung ist vor jedem Versuch die genaue Probekörperbezeichnung (siehe Tabelle 10) deutlich sichtbar in die Kamera zu halten.
Des weiteren sind – soweit es bei der Hitzeentwicklung möglich ist – eventuell auftretende Verformungen an den Böschungsstirnflächen mit feuerfester Farbe nachzuzeichnen und im Protokoll zeitlich festzuhalten.

4.3.6 Wärmeeintragung

Aufgrund der Untersuchungen einer Konstruktion, die sich in Realität in der freien Natur befindet, scheint eine Brandsimulierung in einem Wärmeofen hier nicht zweckmäßig. Vielmehr ist ein sich von kleinem Ursprung zu einer größeren Fläche ausbreitender Brand wahrscheinlicher. Das heißt, dass eine starke Sonneneinstrahlung an einzelnen eventuell schon beschädigten ausgetrockneten Vegetationsstellen eine Entzündung hervorrufen kann, welche sich dann zu einem Flächenbrand ausbreitet, bis dieser keine „Nahrung“ mehr hat und von selbst erlischt. Des weiteren können auch fahrlässig verursachte Brandherde, wie z. B. durch das Wegwerfen von Zigarettenkippen, zu einem Flächenbrand führen.
Aus diesem Grund erfolgt die Wärmeeintragung bei beiden Versuchsstufen durch einen Kleinbrenner nach [40] in einem vorher definierten Abstand von 17 mm auf eine festgelegte Fläche. Die Bestrahlung erfolgt dabei nur solang, bis sich die Konstruktion entzündet hat, was einer Kurzbeflammung von 5 Sekunden laut DIN EN ISO 6941: 1995 entspricht.

4.3.7 Versuchsende

Die Brandversuche beider Versuchsstufen gelten als abgeschlossen, sobald der Brand beendet ist bzw. die Konstruktion eventuell versagt.

4.4 Versuchsauswertung

4.4.1 Versuchsprotokolle

Siehe Anlagen Seiten 144 bis 161

4.4.2 Versuche im uneingebauten Zustand

4.4.2.1 MP1 und MP2

Bereits bei den Versuchen im uneingebauten Zustand waren erstaunliche Beobachtungen und Unterschiede im Abbrandverhalten der einzelnen bzw. kombinierten Materialien festzustellen.
Gerade hinsichtlich des Beschädigungsgrades der eingesetzten Geogitter nach einem Brandfall konnten erhebliche Unterschiede festgestellt werden. Während beispielsweise das Geogitter „a“ (MP1) der Firma A (Anlage 8.3) nahezu vollständig abbrannte (Fotos 9, 10, 11, 12), verblieb bei dem Versuch mit dem Geogitter „b“ (MP2) der Firma B (Anlage 8.3) nur ein Loch in der Materialprobe (Foto 13). Auch hinsichtlich der Branddauer unterschieden sich beide Produkte in hohen Maße. Während das Geogitter der Firma A, was aus dem Material PET hergestellt ist, eine Brenndauer von 220 Sekunden aufwies, wurde bei dem der Firma B (PVA in Längsrichtung, PA in Querrichtung) nur eine Branddauer von 13 (!) Sekunden gemessen. Welche gravierenden Vorteile der Einsatz letztgenannten Produktes auf die brandsichere Gestaltung von KBE-Konstruktionen in der Praxis somit hätte, muss wohl hiermit nicht näher erläutert werden. Diesbezüglich liegt die Schlussfolgerung nahe, dass der Einsatz von PET-Materialien bei Brandschutzproblemen zu vermeiden und Produkte aus PVA bzw. PA vorzuziehen sind. Auch hinsichtlich der Schadstoff- und Rauchgasemission ist der Einsatz von Produkten aus PVA und PA-Materialien im Gegensatz zu PET-Produkten von Vorteil. Während beim Abbrennen von MP1 eine sehr starke Rauchentwicklung in Verbindung mit sehr großer Rußpartikelbildung und beisenden Geruch zu vermerken waren, beschränkten sich die Auswirkungen bei MP2 nur auf eine geringe Rauchentwicklung. Somit würden auch gesundheitliche Risiken hinsichtlich der Auswirkung auf den Menschen (z. B. bei nahegelegenen Verkehrswegen) vermieden, und auch für die vorhandene Tierwelt würde keine Gefahr bestehen.
Daraus lässt sich folgendes Fazit ableiten. Produkte wie MP2 sind bei Brandschutz-problemen nahezu unbedenklich einzusetzen, sowohl hinsichtlich der Tragfähigkeit als auch bezüglich der Rauchgasemission. Dahingegen ist zu überprüfen, inwieweit sich temperaturresistentere Begrünungsmatten günstiger auf die Brandentwicklung von Materialien wie MP1 auswirken können. Zur brandsicheren Gestaltung von KBE-Konstruktionen sollten MP1-Produkte niemals ohne zusätzliche Maßnahmen verwendet werden (Tabelle 11)!

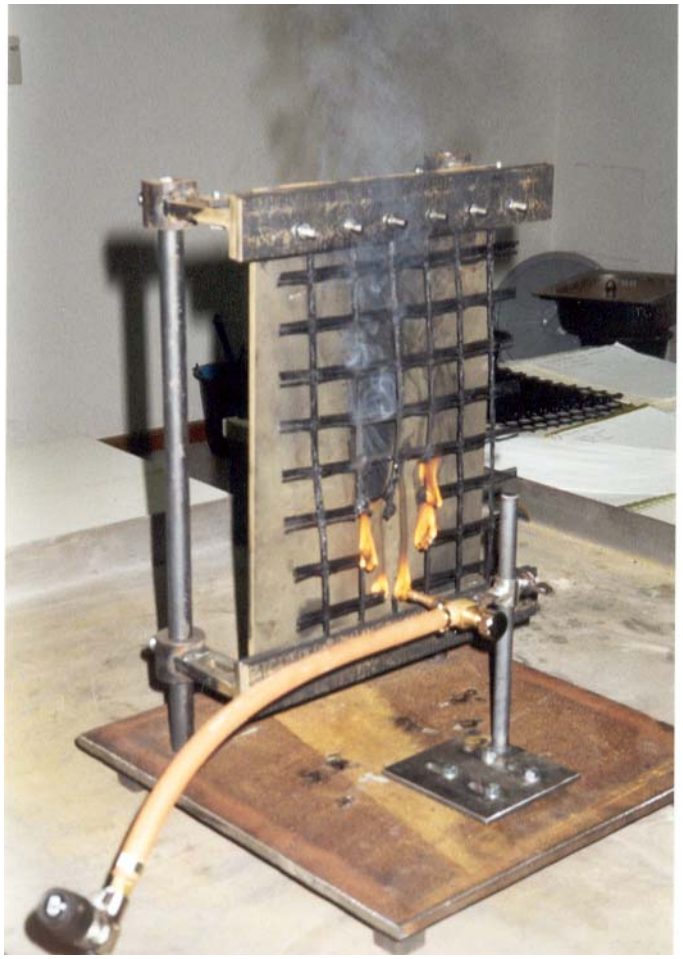


Foto 9 MP1 zu Anfang des Brandes

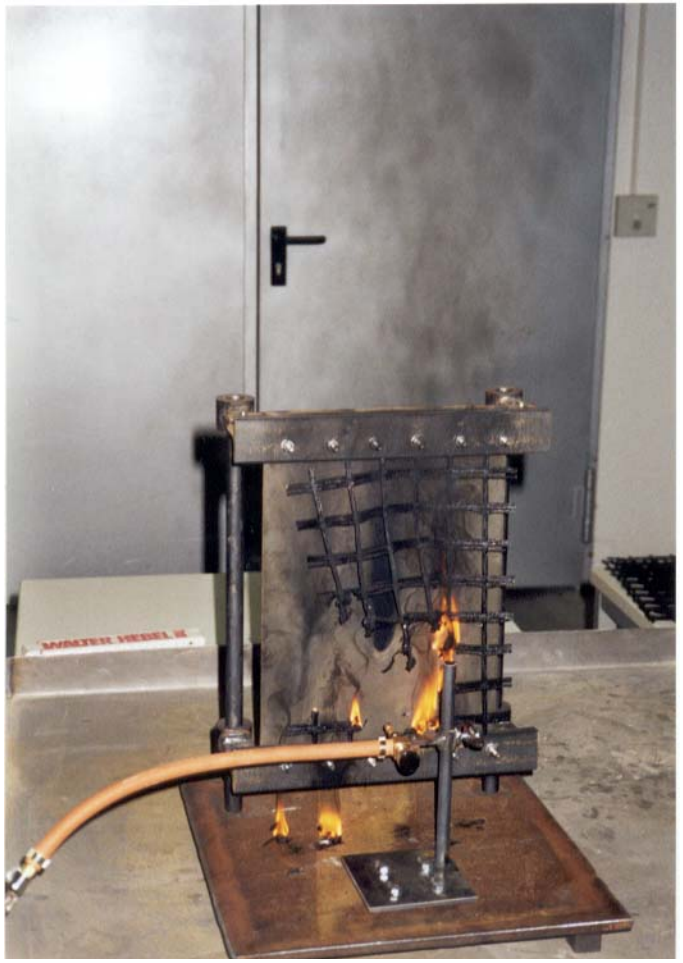


Foto 10 MP1 während des Brandes

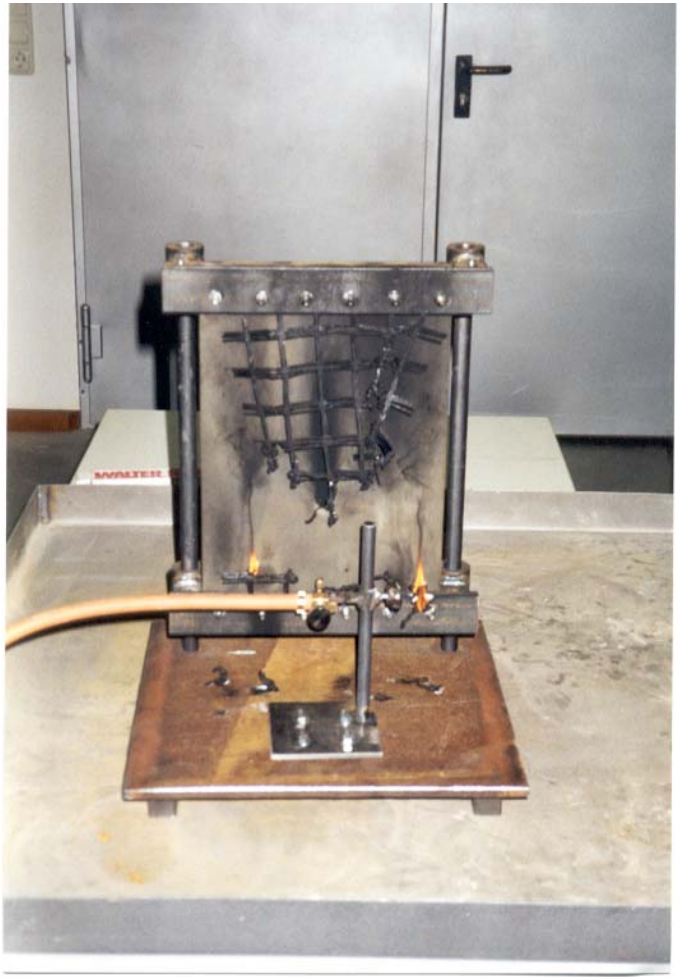


Foto 11 MP1 zu Ende des Brandes

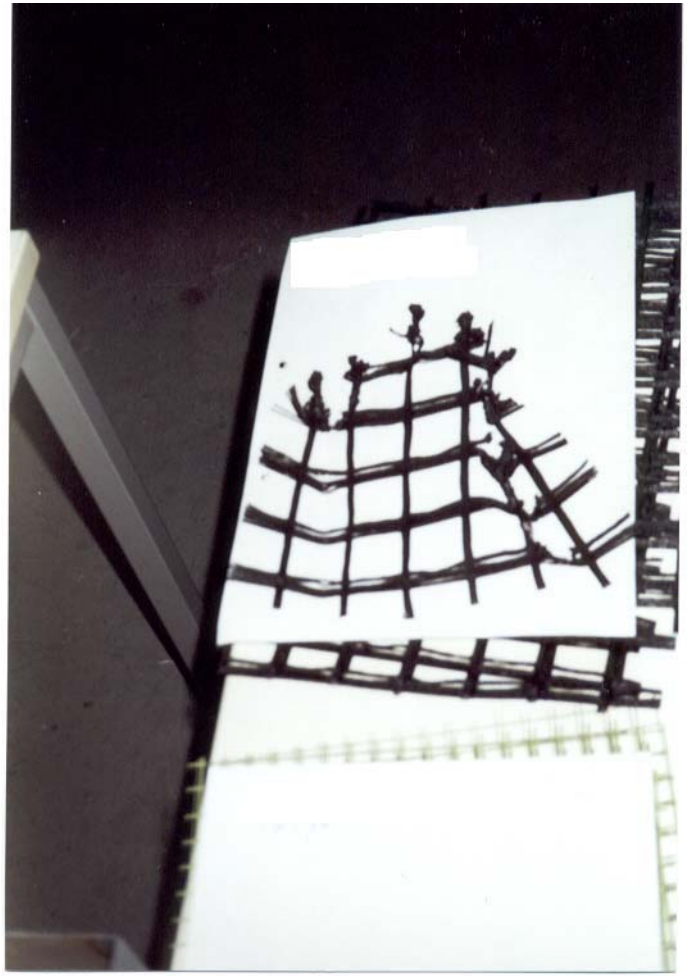


Foto 12 MP1 nach Brandversuch

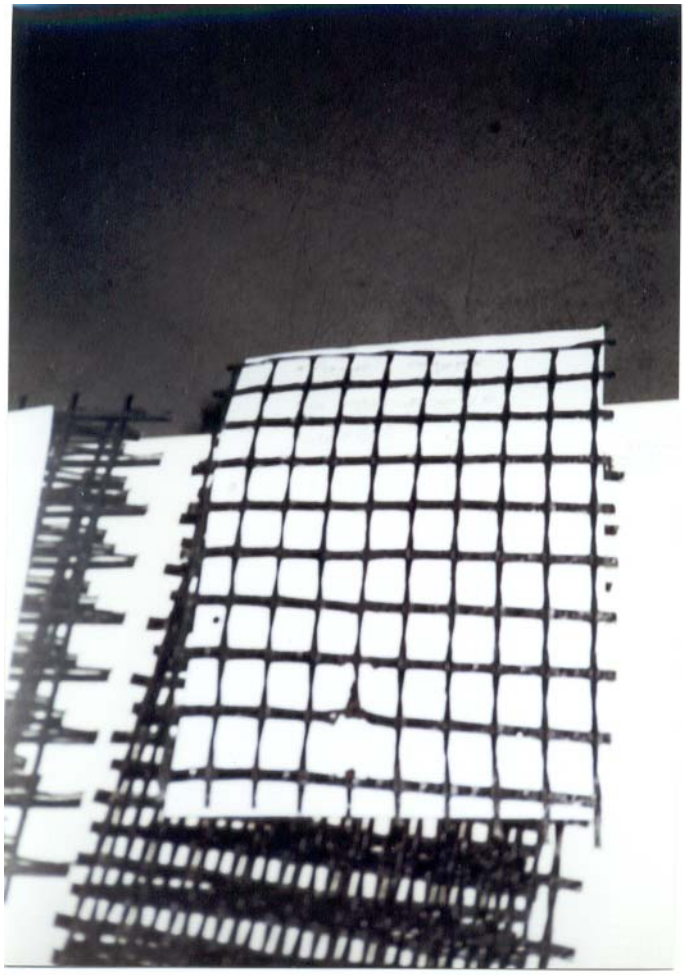


Foto 13 MP2 nach Brandversuch

Tabelle 11 Auswertung MP1 und MP2

Kriterium	MP1	MP2
Brenndauer in Sekunden	220	13
Rauchgasentwicklung	- sehr groß, ätzender Geruch	- gering
Rußpartikelbildung	- sehr stark	- nahezu keine
Beschädigungsgröße	- bis auf oberes Viertel vollständig abgebrannt, Abfallen von brennendem Material	- nur eine Kreuzungspunkt mit angrenzenden Fäden betroffen
Fazit	- ohne zusätzliche Maßnahmen für Brandschutzprobleme unbedingt zu vermeiden	- hervorragend einzusetzen für brandsichere KBE - Konstruktionen

4.4.2.2 MP3 und MP4

Mit den Messproben MP3 und MP4 wurden jeweils die von den Firmen A und B zur Verfügung stehenden Glasfasermaterialien untersucht. Auch hier ließen die Beobachtungen eindeutige Vor- und Nachteile der beiden Materialien erkennen. Bei dem Versuch zu dem Glasfasermaterial MP3 war sofort nach Entzündung ein großflächiger Brand zu den Seiten hin erkennbar, die nach 21 Sekunden (linke Seite) bzw. 31 Sekunden (rechte Seite) erreicht waren (Foto 14). Der Brand breitete sich nach oben hin fort und erlosch nach 35 Sekunden. Auch hier war eine große Rußentwicklung zu beobachten, und ein unangenehmer Geruch konnte wahrgenommen werden. Bei MP4 minimierte sich die Brenndauer hingegen auf die Dauer der Entzündungszeit. Nach Wegnahme der Zündquelle – 5 Sekunden nach DIN EN ISO 6941:1995 – erlosch auch die Flamme. Es waren lediglich ein kleines Loch (etwa 2 cm ∅) und einkleiner Rußkegel oberhalb des Loches zu erkennen (Foto 17). Eine Rauchentwicklung war dabei überhaupt nicht zu beobachten. Auch hinsichtlich der Stabilität nach dem Brand erwies sich MP4 als äußerst vorteilhaft. Im Gegensatz zu MP3, bei der die gesamte Kunststoffbeschichtung abbrannte, womit die Glasfasern freilagen, sich in ihren Verbindungen lösten und die gesamte Probe in sich zerfiel (Fotos 15, 16), stellt das kleine Loch bei MP4 nahezu keine Gefahr für einen Stabilitäts- und Flächenverlust der Begrünungsmatte dar.
Somit fällt auch hier die Wahl zugunsten der Firma B, deren Begrünungsmatte MP4 die eindeutig günstigeren Eigenschaften aufweist. Die kunststoffbeschichtete Glasfasermatte MP3 der Firma A ist als brandschützende Begrünungsmatte aus den genannten Gründen weitestgehend auszuschließen (Tabelle 12).

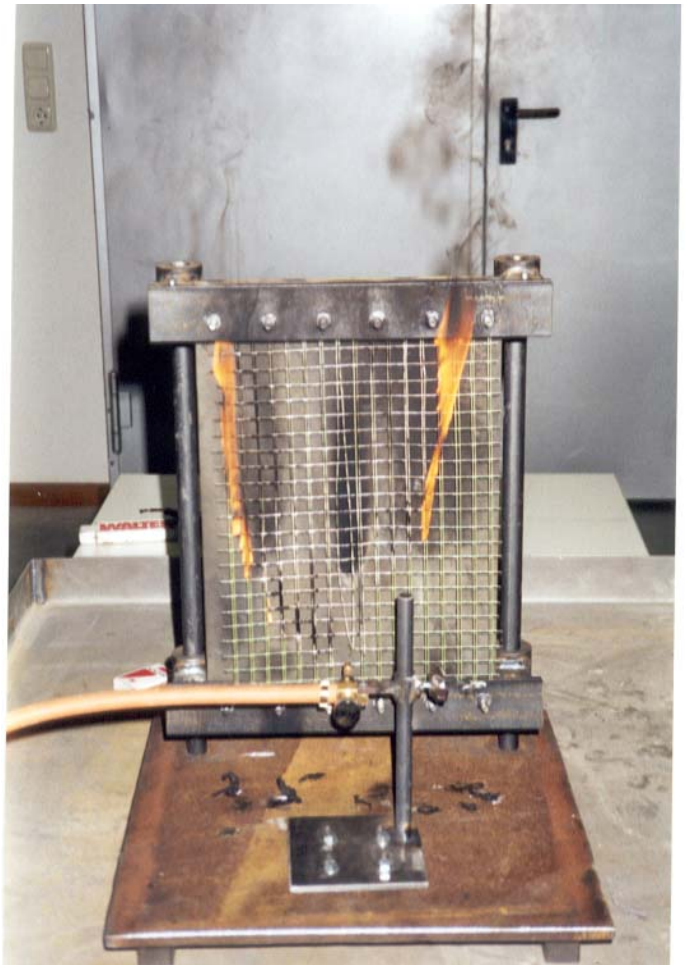


Foto 14 MP3 während des Brandversuchs

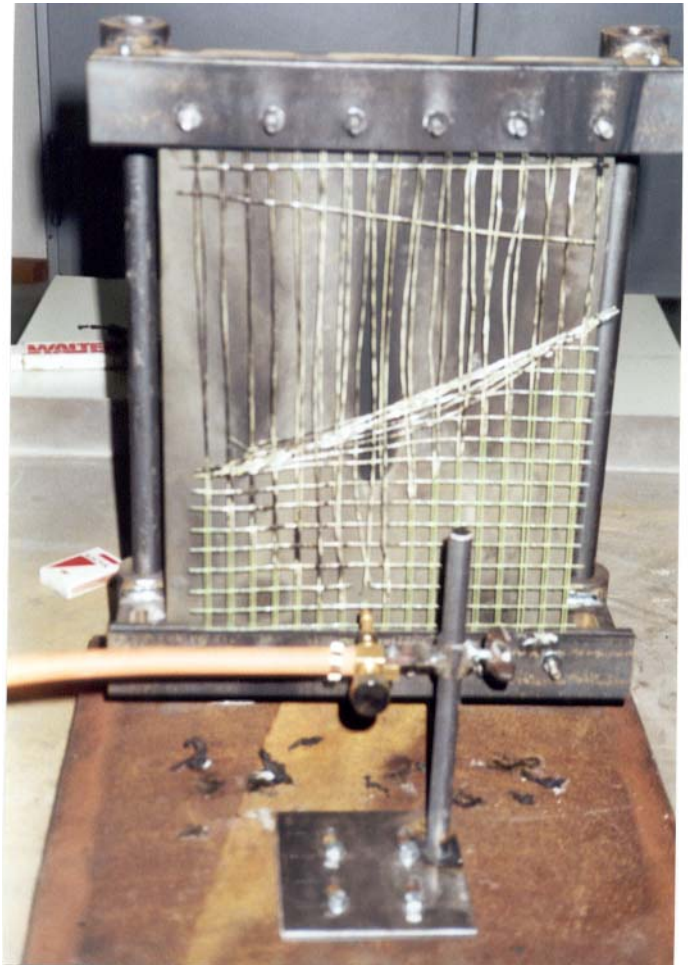


Foto 15 MP3 nach dem Brandversuch, noch in der Halterung

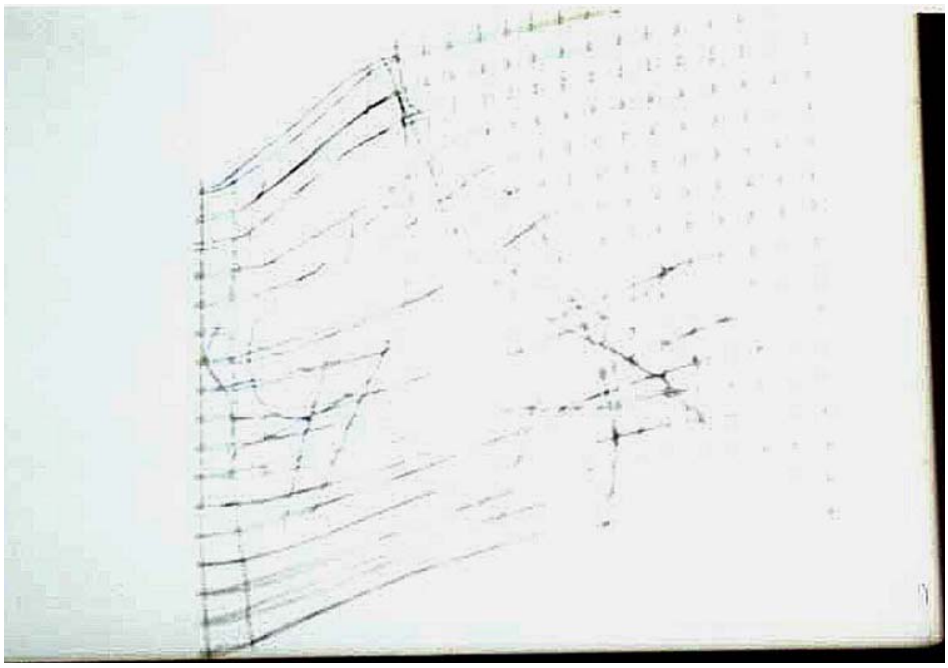


Foto 16 MP3 nach Brandversuch

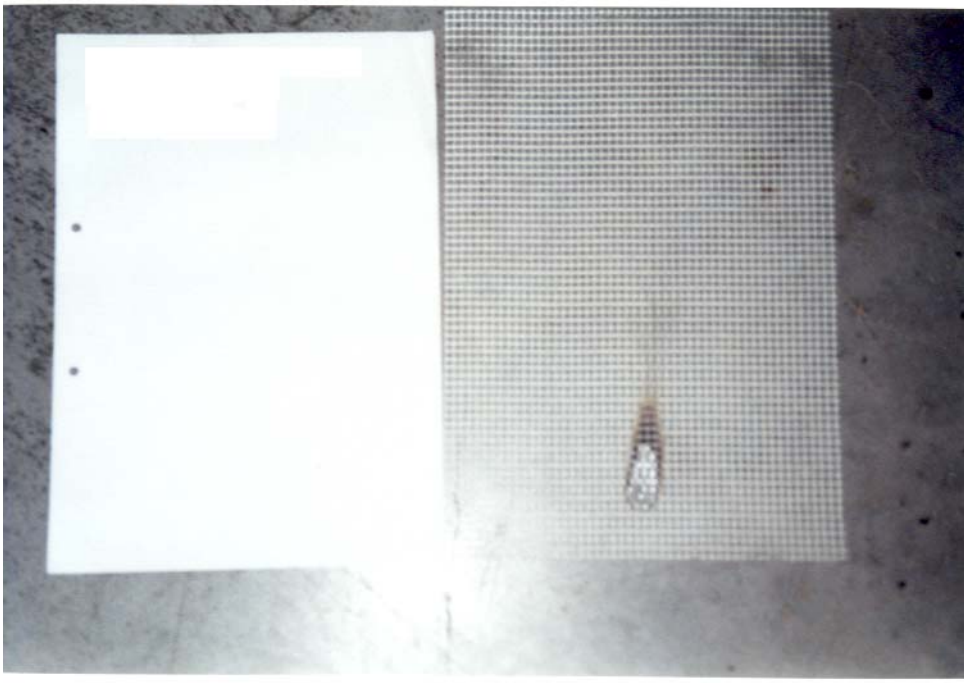


Foto 17 MP4 nach Brandversuch

Tabelle 12 Auswertung MP3 und MP4

Kriterium	MP3	MP4
Brenndauer in Sekunden	35	5
Rauchgasentwicklung	- sehr groß, unangenehmer Geruch	- keine
Rußpartikelbildung	- stark	- keine
Beschädigungsgröße	- Abbrand ganzer Beschichtung, Fäden lösen sich bereits in Haltevorrichtung	- Loch von etwa 2 cm Durchmesser
Fazit	- für Brandschutzprobleme als Begrünungsmatte ungeeignet	- hervorragend einzusetzen für brandsichere KBE - Konstruktionen

4.4.2.3 MP5, MP6 und MP7

Zusätzlich zu den handelüblichen Geokunststoffherstellern wurden für weitere Erkenntnisse Glasfasermaterialien anderer Hersteller angefordert und untersucht. Die Firma C stellte das Glasfasergitter MP5 mit einer Maschenweite von 4 x 4 mm zur Verfügung. Von der Firma D wurden die Glasfasergitter mit den Maschenweiten von 6 x 6 mm (MP6) und 3,5 x 3,5 mm (MP7) bereitgestellt. Alle drei Proben wiesen bei den Versuchen nahezu gleiche Eigenschaften auf. Der Versuch begann mit einer großen Flammenbildung, die sich sofort zu einem flächigen Brand entwickelte. Dabei suchten sich die Flammen erst einen Weg zum Rand hin nach oben, wo sie sich dann am nicht beschädigten Material an den Rändern nach unten hin fortsetzten und dort in kleinen Flammen bis zum vollständigen Erlöschen weiterbrannten. Auch bei der Gesamtbrenndauer liegen die drei Proben etwa im gleichen Bereich. Während die MP6 eine Brenndauer von 68 Sekunden aufwies, konnten bei den Proben MP 5 52 Sekunden und bei MP7 49 Sekunden gemessen werden.
Hinsichtlich der Rußpartikelbildung konnte festgestellt werden, dass bei MP5 und MP7 (Foto 20) zwar wenig Rußpartikel auftraten, bei MP6 jedoch gar keine Freisetzung erkennbar war. Dies lässt den Schluss zu, dass engmaschigere Materialien wie MP5 und MP7 mehr Rußpartikel freisetzen als weitmaschigere. Genauso verhält es sich auch mit den Rußablagerungen auf dem Material (Fotos 18, 19, 21). Diese Beobachtungen sind sicherlich auf den Abbrand der Beschichtungen der Glasfasern – welche zur Formstabilität dienen – zurückzuführen. Durch das Abbrennen dieser liegen die Glasfasern frei und werden nur noch durch die „Kettenverbindung“ gehalten. Dementsprechend instabil sind die Materialien auch nach der Brandeinwirkung, wobei die großmaschigere Probe MP6 stabiler erscheint als die Materialien MP5 und MP7.
Bei diesen Materialien ist es recht schwierig, eines als das vorteilhaftere hervorzuheben. Da sich die Proben lediglich in ihrer Rußbildung unterscheiden, die jedoch relativ gering ist, können diese nur nach ihren Brenndauern bewertet werden. Dabei wäre dem Material MP7 eindeutig Vorrang zu gewähren, da deren Brenndauer um fast ein Drittel geringer ist als die von MP6. Bei Betrachtung der aber noch geringeren Brenndauer von 5 Sekunden bei dem Material MP4, ist diesem bei Brandschutzproblemen auch weiterhin der Vorrang zu gewähren (Tabelle 13).

Foto 16 MP5 nach Brandversuch

Foto 17 MP6 nach Brandversuch

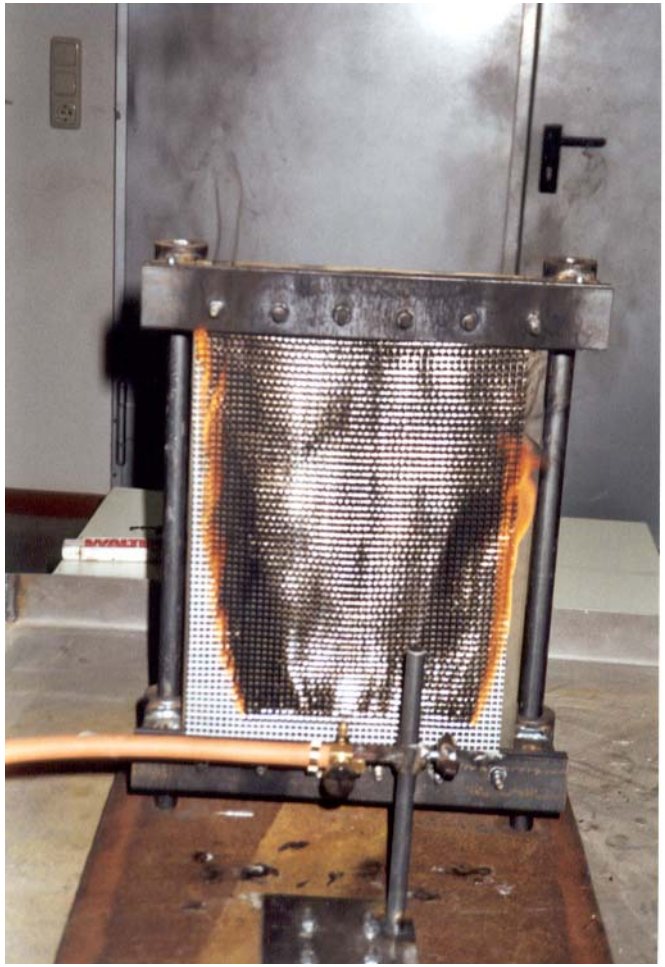


Foto 18 MP7 während des Brandversuchs

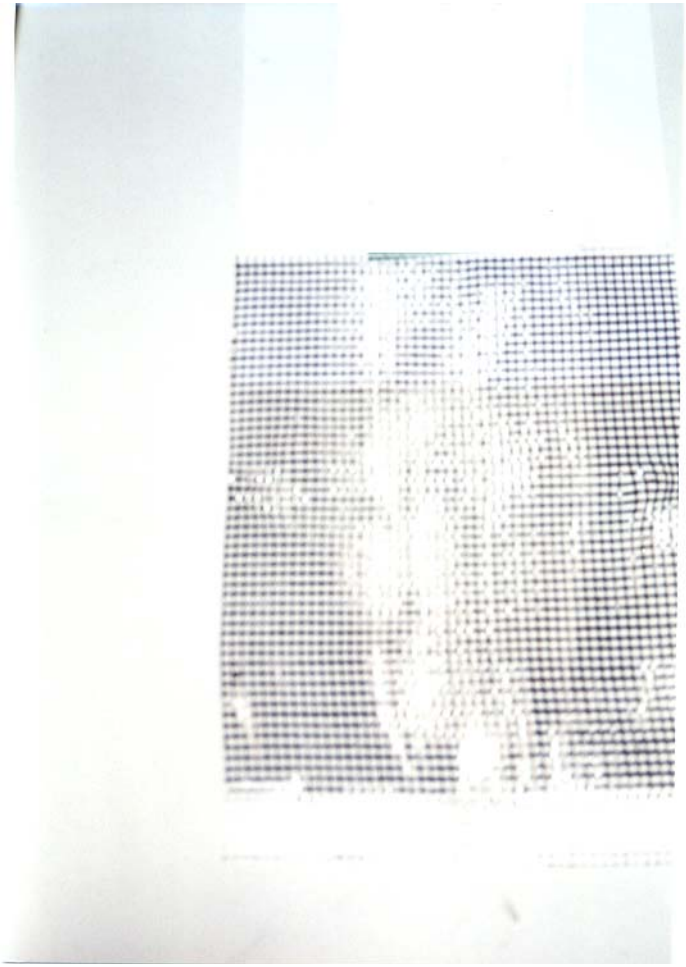


Foto 19 MP7 nach Brandversuch

Tabelle 13 Auswertung MP5, MP6 und MP7

Kriterium	MP5	MP6	MP 7
Brenndauer in Sekunden	52	68	49
Rauchgasentwicklung	- groß	- mittel	- groß
Rußpartikelbildung	- mittel	- keine	- mittel
Beschädigungsgröße	- Abbrand olivgrüner Beschichtung, Glasfasern liegen auf nahezu ganzer Probenoberfläche frei, instabil	- Abbrand der Beschichtung, Glasfasern liegen auf ganzer Probenoberfläche frei, instabil	- Abbrand der Beschichtung, Glasfasern liegen auf ganzer Probenoberfläche frei, instabil
Fazit	- für Brandschutzprobleme als Begrünungsmatte bedingt einsetzbar	- für Brandschutzprobleme als Begrünungsmatte bedingt einsetzbar	- für Brandschutzprobleme als Begrünungsmatte bedingt einsetzbar

4.4.2.4 MP8 und MP9

Bei diesen beiden Versuchen waren wiederum erstaunliche Unterschiede der jeweiligen Materialkombinationen in ihren Reaktionen auf die Brandeinwirkung zu beobachten. Gerade hinsichtlich der immens großen Spanne zwischen den verschiedenen Brenndauern – MP8 wies nur die Brenndauer der Entzündungszeit, also 5 Sekunden auf, während MP9 ganze 217 Sekunden brannte – ergaben diese Versuche damit überraschende Resultate.
Bei der Probe MP8 handelte es sich sowohl bei dem Geogitter als auch bei der Begrünungsmatte um Produkte der Firma B. Beide Produkte wurden bereits in den Versuchen MP2 und MP4 einzeln untersucht und als für brandsichere Konstruktionen hervorragend einsetzbare Materialien eingestuft. Auch bei der Kombination beider konnten ausgezeichnete Ergebnisse hinsichtlich des Brandschutzes festgestellt werden. Während sich die Begrünungsmatte genauso verhielt wie in Versuch MP4, wurden die Brenndauer und die Beschädigung des Geogitters hier gegenüber MP2 nochmals heruntergesetzt (Fotos 22, 23).
Die Reaktionen des Versuches MP9 (Foto 24) ergaben dagegen ganz andere Resultate. Auch hier stammten sowohl Begrünungsmatte als auch das Geogitter vom gleichen Hersteller – der Firma A. Schon kurz nach Entzündung der Kombinationsprobe standen hier beide Materialien in vollen Flammen (Foto 25), was mit einer starken Rauchgasentwicklung und sehr großen Rußpartikelbildung verbunden war. Das Geogitter brannte dabei – im Gegensatz zu MP1 – vollständig ab. Einzelne Teile des Geogitters fielen während der Versuchsdurchführung brennend ab und brannten dort bis zum gänzlichen Erlöschen weiter. Bei der Begrünungsmatte wurde – wie auch schon bei MP3 – die gesamte Beschichtung zerstört, und die dadurch freiliegenden Glasfasern hingen – lediglich gehalten durch die Klemmleisten – nur noch lose in der Halterungsvorrichtung (Fotos 26, 27).
Es bleibt hier wohl kaum ein anderes Fazit übrig, als eindeutig der Kombinationsweise MP8 bei brandschutztechnischen Problemen von KBE-Konstruktionen den Vorrang zu gewähren (Tabelle 14).

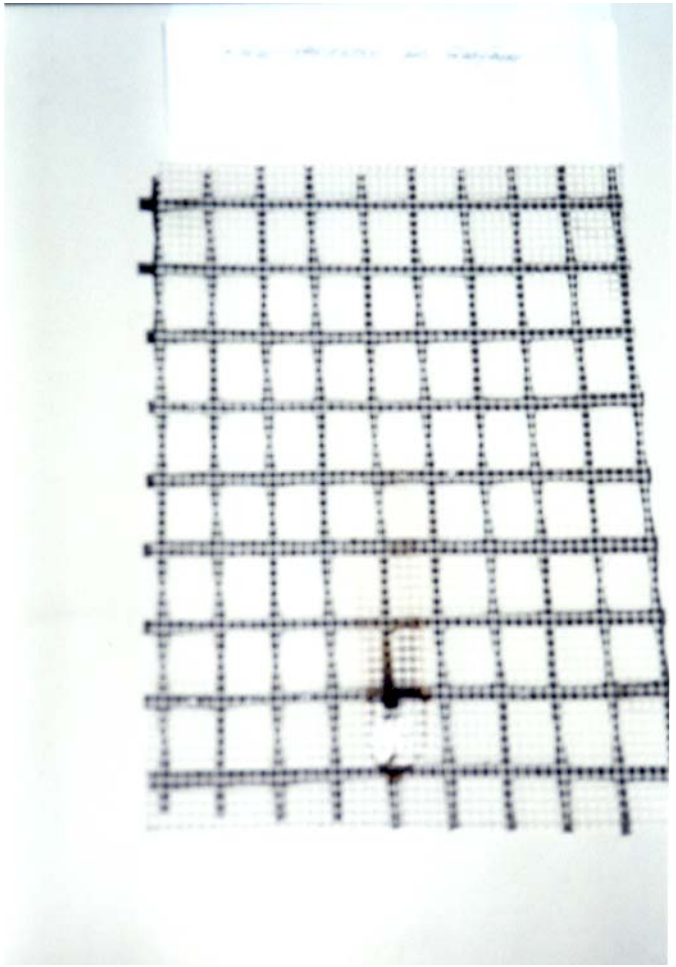


Foto 20 MP8 nach Brandversuch

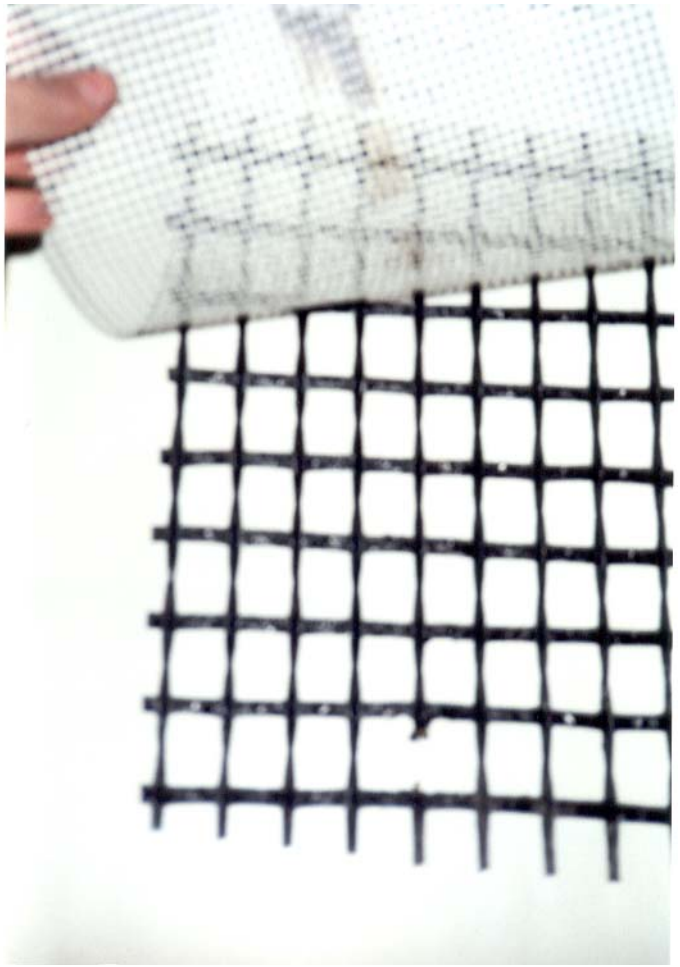


Foto 21 MP8 nach Brandversuch

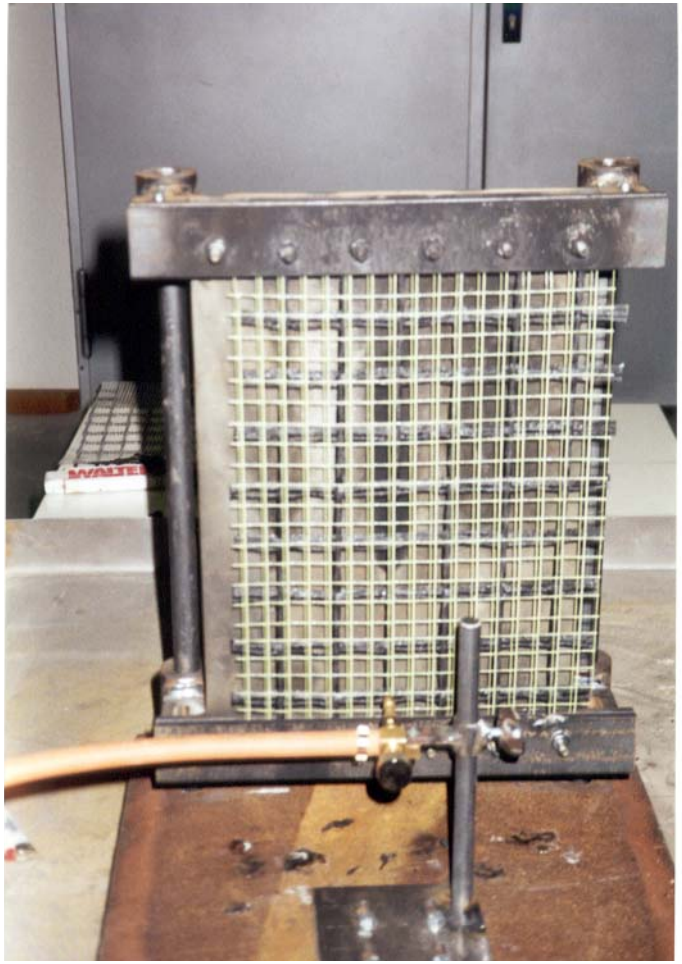


Foto 22 MP9 vor Brandversuch

Foto 23 MP9 während des Brandversuchs

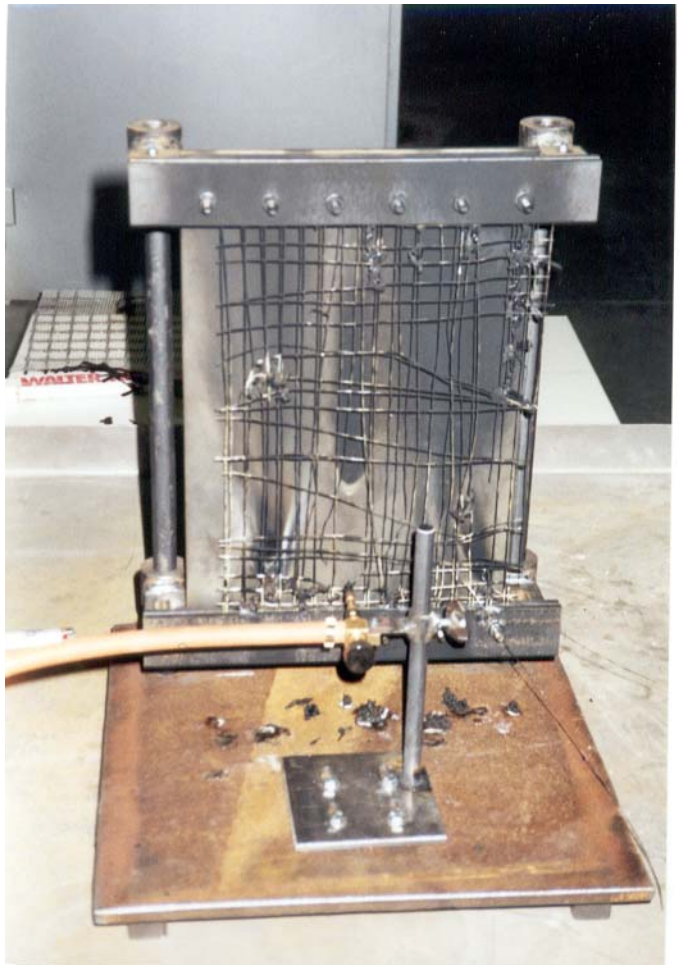


Foto 24 MP9 nach dem Brandversuch, noch in der Halterungsvorrichtung

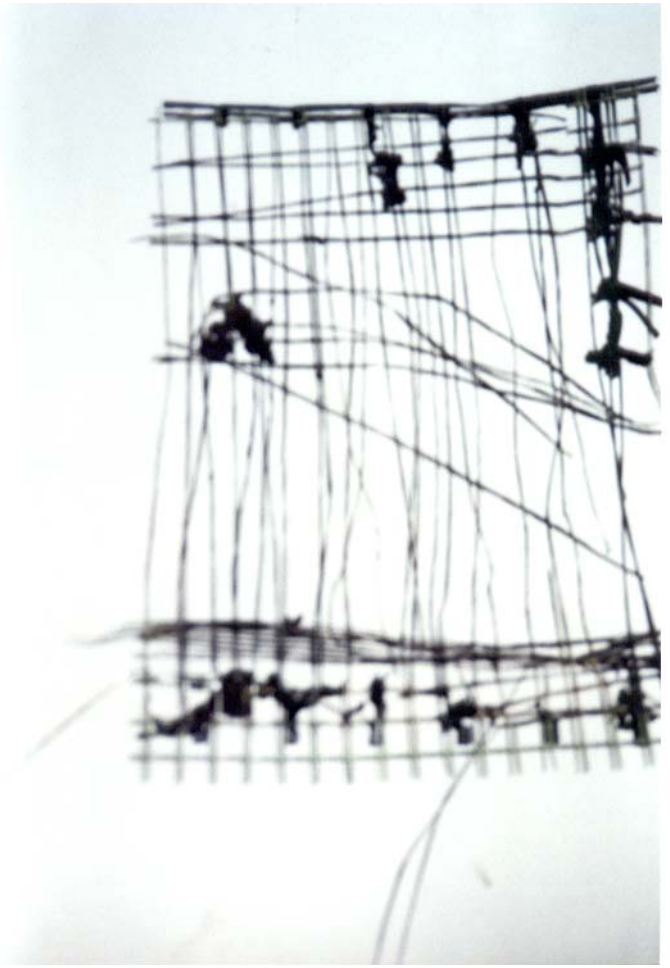


Foto 25 MP9 nach dem Brandversuch

Tabelle 14 Auswertung MP8 und MP9

Kriterium	MP8	MP9
Brenndauer in Sekunden	5	217
Rauchgasentwicklung	- kaum bis keine	- sehr stark
Rußpartikelbildung	- keine	- sehr groß
Beschädigungsgröße	- kleines Loch von etwa 2 cm Durchmesser in Begrünungsmatte - Kreuzungspunkt mit nach oben hin angrenzenden Fäden betroffen - an Berührungspunkt zwischen Begrünungsmatte und Geogitter leicht zusammengeklebt	- vollständiger Abbrand der Beschichtung der Begrünungsmatte, Glasfasern liegen vollkommen frei und hängen lose in Halterungsvorrichtung - vollständiger Abbrand des Geogitters, Abfallen von brennendem Material
Fazit	- hervorragend einzusetzen für brandsichere KBE-Konstruktionen	- für Brandschutzprobleme bei KBE-Konstruktionen unbedingt zu vermeiden

4.4.2.5 MP10

Um den Einsatz von Geogittern der Firma A bei der Planung von brandsicheren KBE-Konstruktionen nicht von vornherein vollkommen ausschließen zu müssen, wurde der Versuch gemacht, dieses Produkt mit der Begrünungsmatte MP4 der Firma B zu kombinieren, da sich diese brandschutztechnisch in den Versuchen als die am geeignetste erwiesen hat.
Die Ergebnisse enttäuschten nicht. Während die Begrünungsmatte wie bereits in den anderen Versuchen nach der Entzündungszeit erlosch, pflanzte sich der Brand am Geogitter in kleiner Flamme gerade mal noch 17 Sekunden fort. Dementsprechend gering fielen auch die Beschädigungen und Rauch- bzw. Rußentwicklungen aus. So beschränkten sich hier, vergleichend mit der Probe MP8, die Beschädigungen am Geogitter auf den Kreuzungspunkt mit den nach oben angrenzenden Fäden (Fotos 28, 29).
Demnach muss der Einsatz von Geogittern der Firma A bei Problemen brandschutztechnischer Hinsicht nicht mehr ausgeschlossen werden, solang diese mit Materialien wie z. B. Begrünungsmatten der Firma B kombiniert werden (Tabelle 15).

Tabelle 15 Auswertung MP10

Kriterium	MP10
Brenndauer in Sekunden	22
Rauchgasentwicklung	- kaum bis keine
Rußpartikelbildung	- keine
Beschädigungsgröße	- kleines Loch von etwa 2 cm Durchmesser in Begrünungsmatte - Kreuzungspunkt mit nach oben hin angrenzenden Fäden betroffen - an Berührungspunkt zwischen Begrünungsmatte und Geogitter leicht zusammengeklebt
Fazit	- sehr gut einzusetzen für brandsichere KBE-Konstruktionen

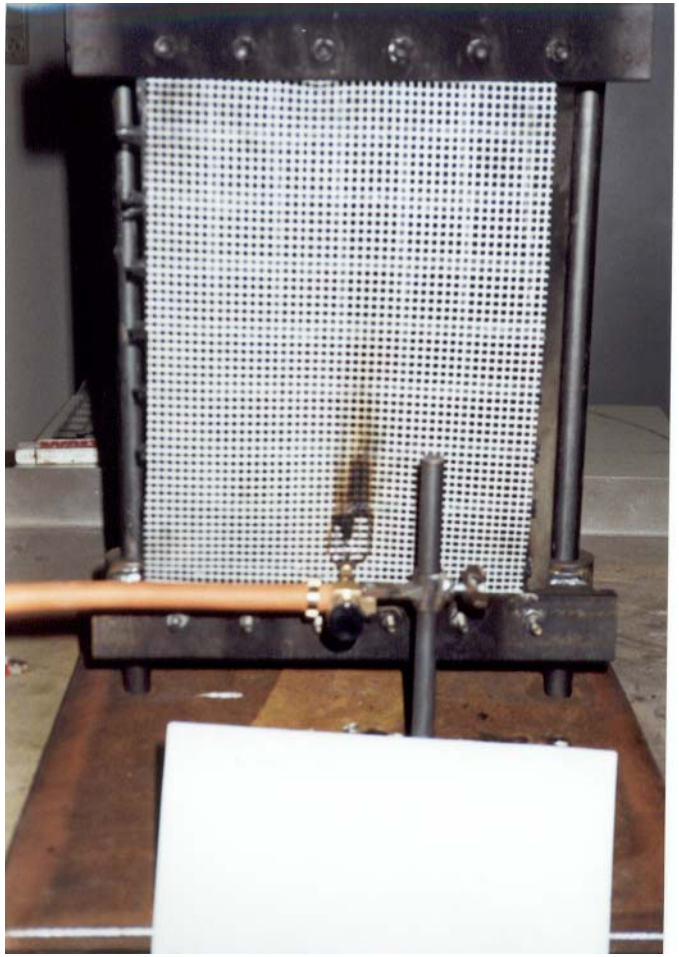


Foto 26 MP10 nach Brandversuch, noch in Halterungsvorrichtung

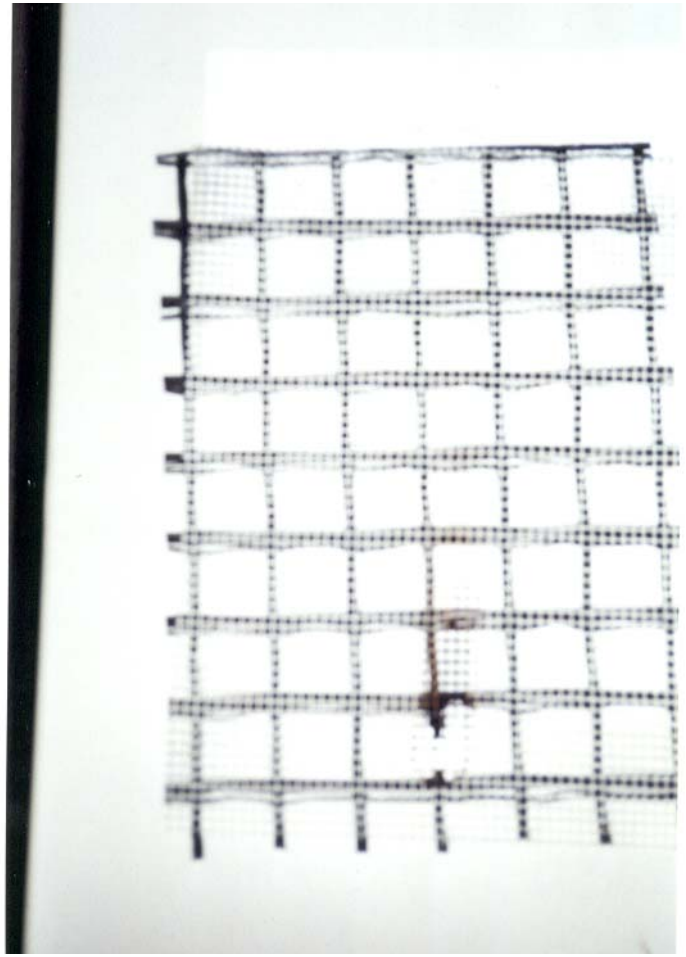


Foto 27 MP10 nach Brandversuch

4.4.2.6 MP11

Bei der Probe MP11 (Foto 30) handelte es sich um eine geschlossenflächige Begrünungsmatte, wobei die Trägermatte aus sehr feinen Kunstfasern und rückwärtig aus Zellstoffvlies bestand und mit verrottbaren Kokos gefüllt war.
Wie die Materialzusammensetzung bereits vermuten lässt, ist diese Variante brandschutztechnisch sicherlich nicht sehr günstig. Bei dem Versuch zu MP11 war ein sofortiges großflächiges Brennen des Materials mit großer Flammenbildung als besonders signifikant zu beobachten (Foto 31, 32). Auch die Brenndauer von 59 Sekunden ist gegenüber anderen Begrünungsvarianten als nicht sehr vorteilhaft anzusehen. Auffällig war die sehr lange Nachglimmdauer (Foto 33) der Probe, die mit 217 Sekunden dem Material noch genügend Zeit zum wiederholten Selbstentzünden gab. Diese Reaktion konnte nach 89 Sekunden beobachtet werden, als sich die Probe während des „Glühglimmens“ nochmals selbst entzündete, 7 Sekunden weiterbrannte und nach 119 Sekunden weiteren Glimmens schließlich vollständig verlosch.
Des weiteren wurde der Versuch durch sehr starke weiße Rauchbildung und ebenfalls sehr große Rußpartikelbildung begleitet.
Die bereits angestellte Vermutung, dass derartige vollflächige Begrünungsmatten eher ungeeignet für den Einsatz bei der Planung brandsicherer KBE-Systeme sind, wurde mit diesem Versuch bestätigt. Da sie jedoch durch ihre relativ schnelle und qualitativ gute Begrünung während der Keim- und Vegetationsphase günstig zu beurteilen sind, wäre die Möglichkeit in Erwägung zu ziehen, diese in Verbindung mit eventuellen Bewässerungssystemen bei weniger gefährdeten Objekten einzusetzen Tabelle 16).

Tabelle 16 Auswertung MP11

Kriterium	**MP11**
Brenndauer in Sekunden	59, nochmaliges Brennen nach 89 Sekunden für 7 Sekunden
Nachglimmdauer in Sekunden	217
Rauchgasentwicklung	- sehr stark, weiß
Rußpartikelbildung	- sehr groß
Beschädigungsgröße	- vollständiger Abbrand - Reste von Zellstoffvlies bleiben an Rückwand der Halterungsvorrichtung kleben (Foto 34)
Fazit	- bedingt und nur in Kombination mit anderen Maßnahmen für untergeordnete Objekte einzusetzen

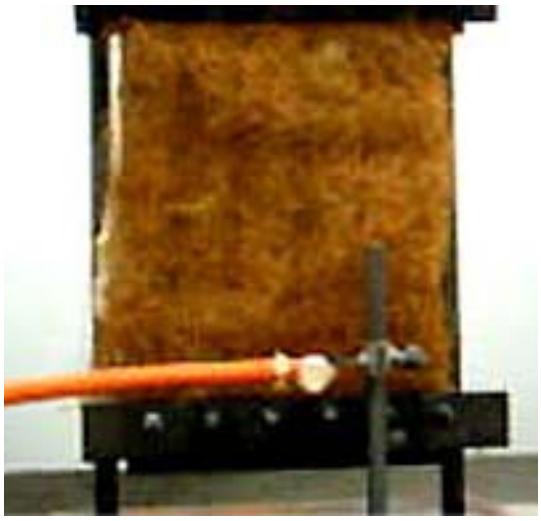


Foto 28 MP11 vor Brandversuch

Foto 29 MP11 während des Brandversuchs

Foto 30 MP11 während des Brandversuchs

Foto 31 MP11 am Ende des Brandversuchs

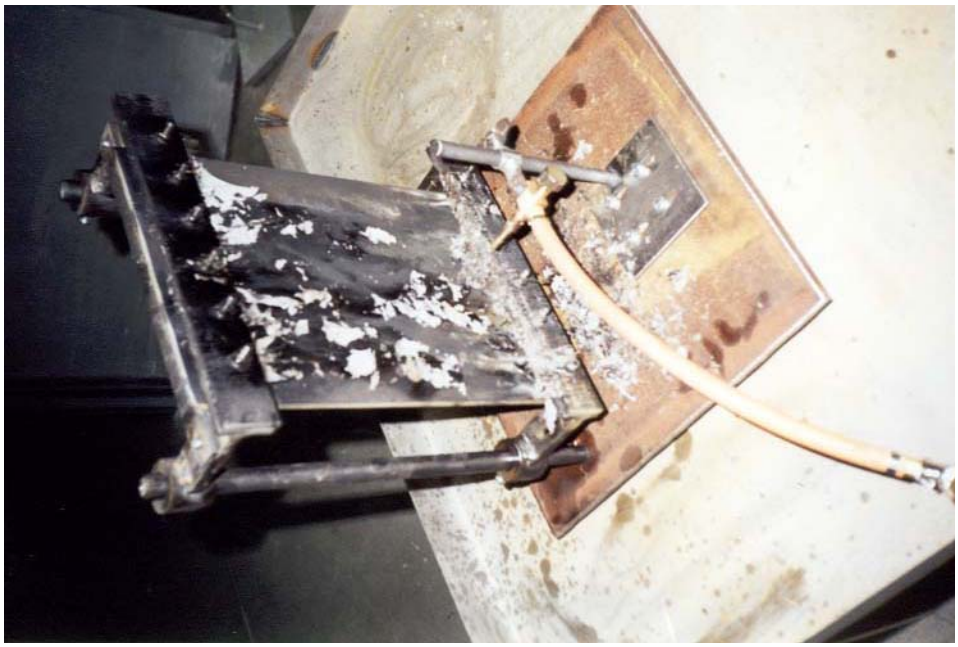


Foto 32 MP11 nach dem Brandversuch

4.4.2.7 MP12 und MP13

Um eine Einschätzung des Verhaltens der Materialien bei unterschiedlicher Neigungsausrichtung vornehmen zu können, wurden mehrere Proben in den Winkeln von 50° und 70° in die Halterungsvorrichtung eingespannt. Nach mehreren Vorversuchen ergab sich, dass sich das Geogitter-Material der Firma B zur Beurteilung dieser Reaktionen am besten eignete.
Die Probe MP12 wurde im Winkel von 70° in die Halterungsvorrichtung eingebaut. Die Probe brannte zwar mit 28 Sekunden Brenndauer, länger als die im senkrechten Versuch eingebaute MP2, jedoch geschah dies mit sehr kleiner Flamme und auch der resultierende Schaden war geringer (Foto35).
Bei der mit 50° eingebauten Probe MP13 minimierte sich die Brenndauer auf sogar 5 Sekunden, sodass sich der Schaden lediglich auf ein paar Schmorstellen an der beflammten Stelle belief (Fotos 36, 37, 38).

Tabelle 17 Auswertung MP8 und MP9

Kriterium	**MP12 (70°)**	**MP13 (50°)**
Brenndauer in Sekunden	28	5
Rauchgasentwicklung	- kaum bis keine	- keine
Rußpartikelbildung	- keine	- keine
Beschädigungsgröße	- Beschichtung des Kreuzungspunktes und der nach oben hin angrenzenden Fäden abgeschmolzen - jedoch kein Durchbrand der Fäden	- nur leichtes Anschmoren des Kreuzungspunktes mit angenzenden Fäden
Fazit	- Brandrisiko geringer als bei MP2, demnach hervorragend für brandsichere Konstruktion	- Brandrisiko am geringsten, demnach hervorragend für brandsichere Konstruktion
	- jedoch abhängig von eingesetzten Material hinsichtlich der Eignung des Einsatzes für brandsichere Konstruktionen (Firma B am geeignetsten)	

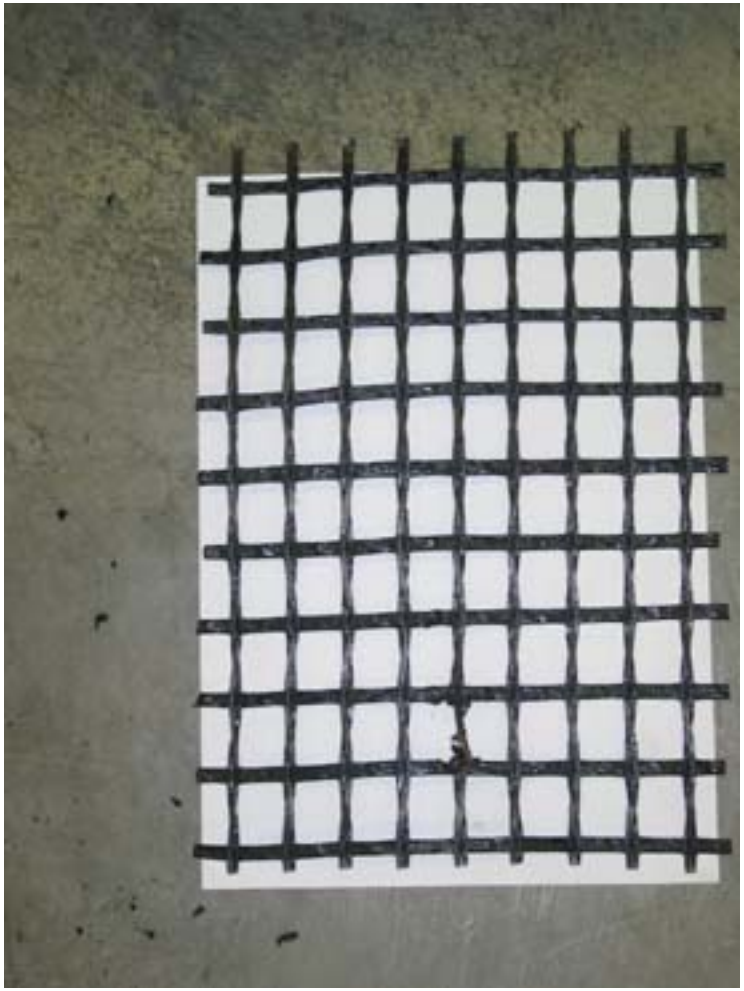


Foto 33 MP12 nach Brandversuch

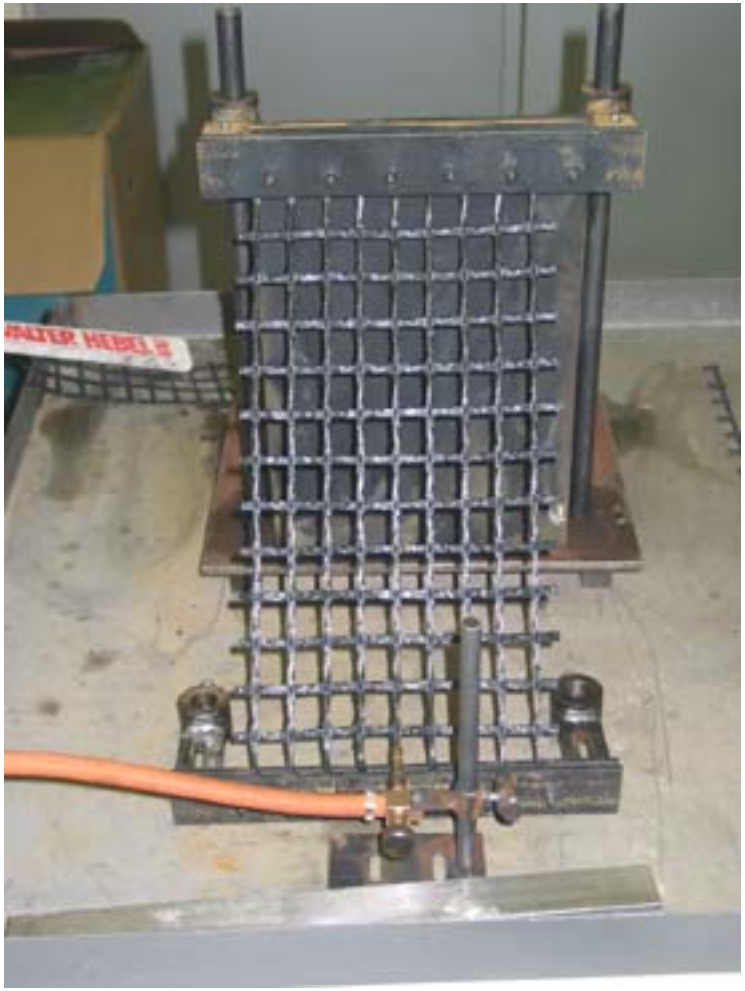


Foto 34 MP13 vor Brandversuch

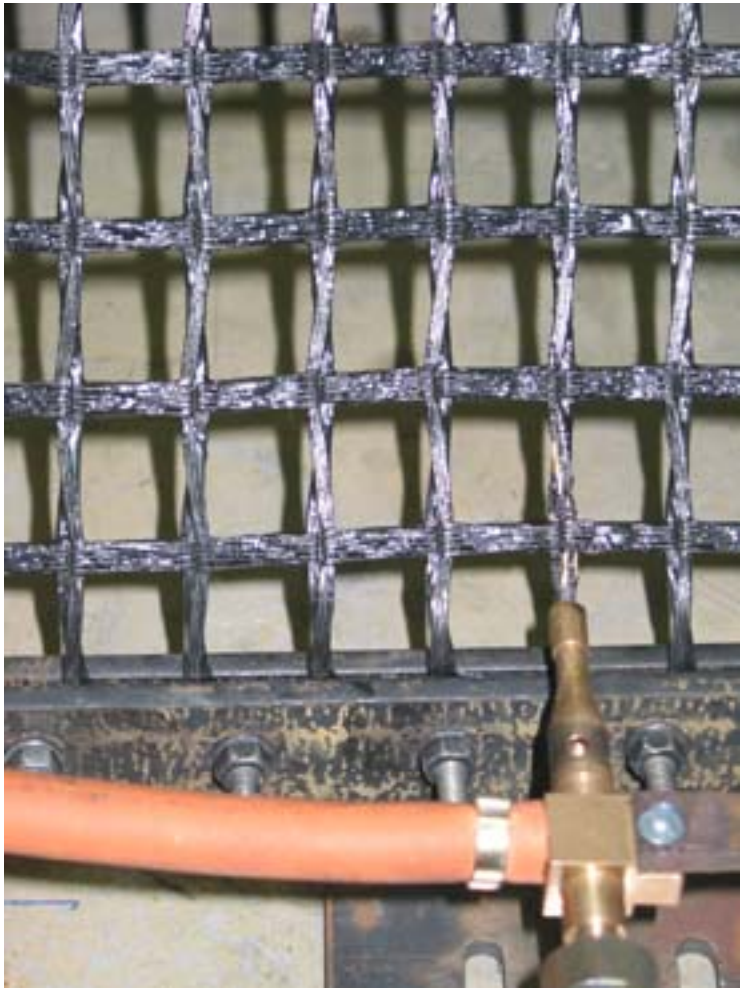


Foto 35 MP13 nach Brandversuch

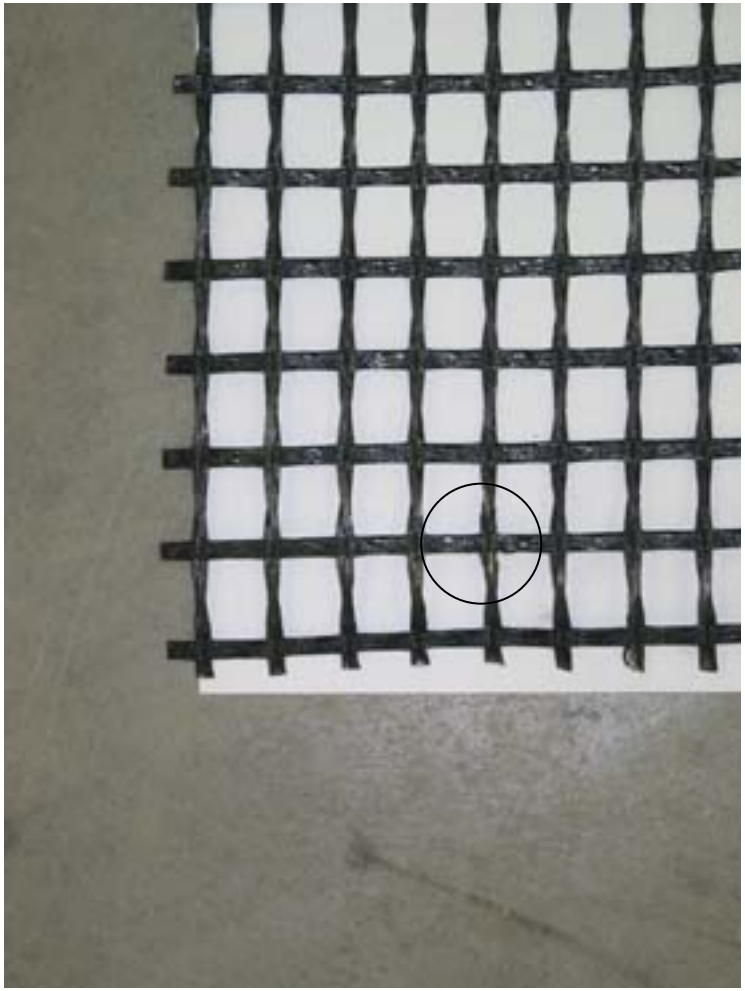


Foto 36 Beschädigungsstelle an MP13

4.4.3 Versuchsreihe 1

Bei der Versuchsreihe 1 wurden alle fünf Probekörper bei noch intakter Begrünung geprüft (Fotos 39, 41, 43, 45, 47). Das heißt, diese wurden noch bis zum Vorabend der Prüfung bewässert. Am Morgen der Prüfung blieb eine Bewässerung der Probekörper aus, um eventuelle Nassstellen auf der Begrünung zu vermeiden, die eine Entzündung der Probekörper ausschließen könnten.
Das Protokoll zur Versuchsdurchführung findet sich unter der Anlage 8.6.2.
Alle fünf Probekörper wiesen bei der Versuchsdurchführung die gleichen Resultate auf. Die Brenndauer aller Proben beschränkte sich auf die von der DIN EN ISO 6941: 1995 vorgegebenen Entzündungszeit von 5 Sekunden. Ein Nachglimmen war – ausgenommen bei PK5V1 (Kombination mit Kokosmatte) von 1 Sekunde – bei keinem Versuchskörper zu beobachten.
Die Beschädigungen an den Konstruktionen belaufen sich lediglich auf ein Verkohlen der Begrünung im Umfang von etwa einem Zentimeter Durchmesser (Fotos 40, 42, 44, 46, 48). Rauchgasemissionen und Rußpartikelbildung waren dementsprechend überhaupt nicht zu beobachten (Tabelle 17).
Damit kann mit großer Sicherheit gesagt werden, dass – mit Ausnahme von Vandalismus und höherer Gewalt – eine KBE-Stützkonstruktion bei noch vollständig intakter Begrünung bzw. Vegetation als brandsicher einzustufen ist. Diese Eigenschaft könnte durch den Einsatz geeigneter Bewässerungssysteme unterstützt werden.

Tabelle 18 Auswertung PK1V1, PK2V1, PK3V1, PK4V1, PK5V1

Kriterium	PK1V1	PK2V1	PK3V1	PK4V1	PK5V1
Brenndauer in Sekunden	5				
Rauchgasentwicklung	- keine				
Rußpartikelbildung	- keine				
Beschädigungsgröße	- Verkohlen der Begrünung im Durchmesser von etwa 1 cm				
Fazit	- weitestgehend brandsicher - Bewässerungssysteme empfehlenswert				

Foto 37 Probekörper PK1V1 vor Brandversuch

Foto 38 Probekörper PK1V1 nach Brandversuch

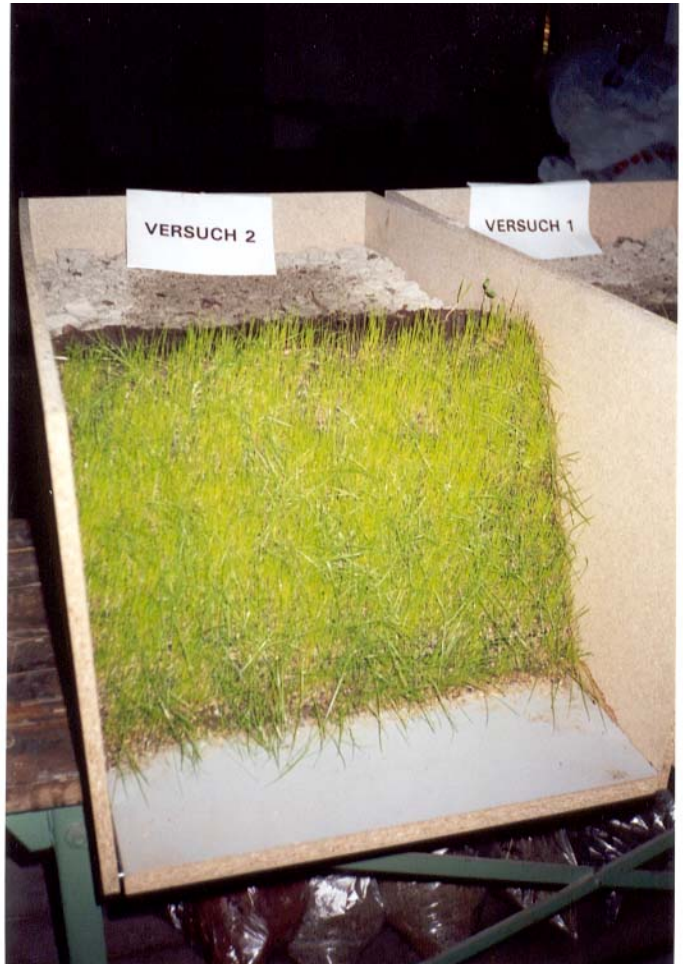


Foto 39 Probekörper PK2V1 vor Brandversuch

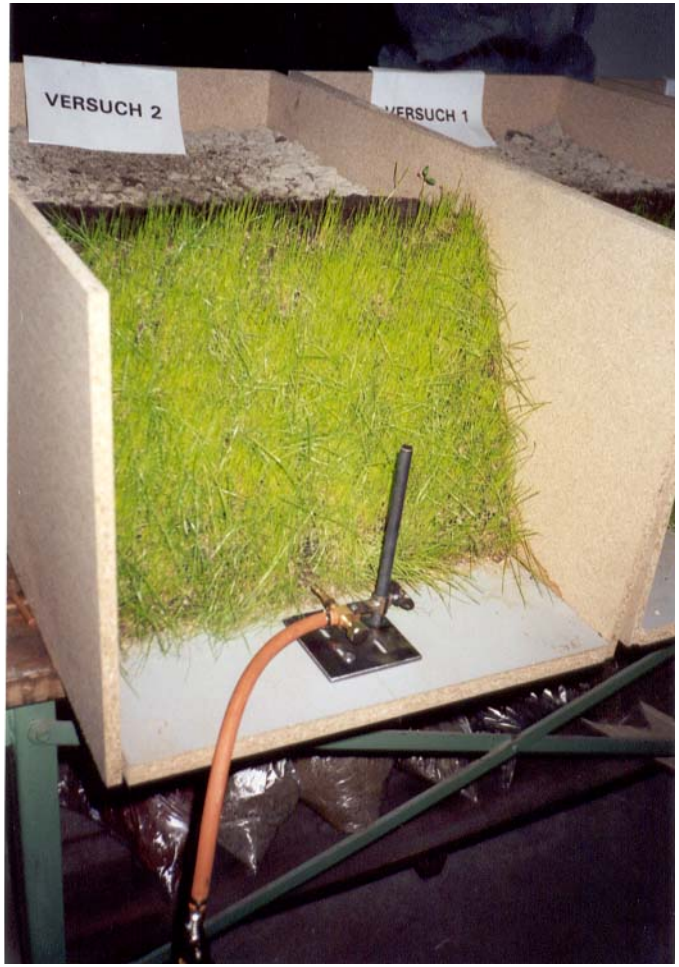


Foto 40 Probekörper PK2V1 nach Brandversuch

Foto 41 Probekörper PK3V1 vor Brandversuch

Foto 42 Probekörper PK3V1 nach Brandversuch

Foto 43 Probekörper PK4V1 vor Brandversuch

Foto 44 Probekörper PK4V1 nach Brandversuch

Foto 45 Probekörper PK5V1 vor Brandversuch

Foto 46 Probekörper PK5V1 nach Brandversuch

4.4.4 Auswertung der erlangten Ergebnisse bezüglich der Brandlast

Ein Hauptziel der hier vorliegenden Arbeit war es, detailliertere Aussagen und Ergebnisse hinsichtlich der Beurteilung von KBE-Konstruktionen unter einer Brandeinwirkung gewinnen zu können. Da sich die Beurteilungen vor allen Dingen auf die Festlegung von Abbrandfaktor und Kombinationsbeiwerten konzentrieren, sollen hier vor allen Dingen die Ergebnisse der Versuche im uneingebauten Zustand ausgewertet werden. Bezüglich der Resultate bei noch intakter Begrünung werden die Beobachtungen aus der Versuchsstufe 1 zu Rate gezogen.
Die angegebenen Werte sollen dabei aber keinen verbindlichen Charakter hinsichtlich der sofortigen Verwendung dieser in vergleichbaren Berechnungen geben. Vielmehr soll damit eine Vorgehensweise zur Auswertung gleichwertiger Versuche empfohlen werden. Im Vergleich der in eigenen Versuchen getätigten Beobachtungen mit denen in dieser Arbeit erlangten, sind somit folgende Empfehlungen zum Entwurf der Beiwerte denkbar.

4.4.4.1 Abbrandfaktor m

Folgende Abstufung des Abbrandfaktors m wäre vorstellbar:

m = 1,0	$\geq$ 50 %	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})
m = 0,9	40-50 %	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})
m = 0,8	30-40 %	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})
m = 0,7	20-30 %	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})
m = 0,6	10-20 %	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})
m = 0,5	5-10%	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})
m = 0,4	$\leq$ 5 %	Abbrand des untersuchten Materials (p_{Brand})

Dabei ist der prozentuale Abbrand sowohl bei Vliesstoffen als auch bei Geogittern auf die Abbrandfläche $\mathbf{A_{Brand}}$ (bei Geogittern: Maschen einschl. Luftzwischenräume) bezogen, zu ermitteln. Somit lautet die Gleichung (3) zur Ermittlung des prozentualen Abbrandes:

$$\frac{A_1}{A_{Brand}} = \frac{100\%}{p_{Brand}} \Rightarrow p_{Brand} = \frac{A_{Brand} \cdot 100\%}{A_1} \qquad (3)$$

Zusätzlich ist die Beschädigung immer bis zur nächsten angrenzenden Masche zu berücksichtigen (Abbildung 17), um den prozentualen Abbrand möglichst einfach und eindeutig bestimmen zu können.

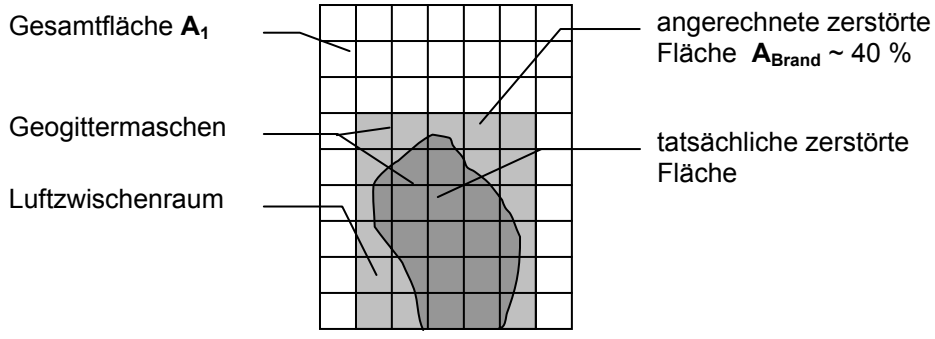


Abbildung 17 anrechenbare Abbrandfläche

Des weiteren wird mit den getätigten Beobachtungen in der Versuchsstufe 1, die Vermutung angestellt, dass Materialien, die in größerer Tiefe als 0,3 m liegen, von einem Brandschaden nahezu unbeeinflusst bleiben, sodass deren Abbrandfaktor rein rechnerisch als m = 0 anzunehmen ist und diese somit in einer Berechnung nicht weiter berücksichtigt werden sollen.

4.4.4.2 Kombinationsbeiwert ψ

Der Entwurf des Kombinationsbeiwertes ψ wäre in Anlehnung an Tabelle 2 nach folgender Tabelle 18 vorstellbar:

Tabelle 19 Kombinationsbeiwerte für geschützte Geokunststoffe

	1	2	3
	ungeschützte Brandbelastung (z. B. Begrünungsmatte, nicht hitzebeständig) ist zusätzlich	im Brandfall wirksame wärmedämmende Isolierung	ψ geschützte Brandbelastung
1	vorhanden	Begrünung intakt	0,5
2	vorhanden	Bewässerungsanlage	0,5
3	vorhanden	Hitzebeständige Begrünungsmatte (z. B. die der Firma B)	0,45
4	vorhanden	Erdisolierung (der zum Erdplanum parallel liegenden Lagen)	0,4
5	vorhanden	außenliegender Mutterbodenzwickel (keine Polsterwände)	0,3
6	nicht vorhanden	Begrünung intakt	0,45
7	nicht vorhanden	Bewässerungsanlage	0,45
8	nicht vorhanden	Erdisolierung (der zum Erdplanum parallel liegenden Lagen)	0,3
9	nicht vorhanden	außenliegender Mutterbodenzwickel (keine Polsterwände)	0,2

Bei vertrockneter Vegetation ist der Kombinationswert als ψ = 1,0 anzusetzen.

4.4.4.3 Kombinationsbeiwert zur Berücksichtigung der Neigung ξ

Zur Beurteilung des Einflusses der Neigung der Konstruktion wurden bei den Versuchen im uneingebauten Zustand auch einige Untersuchungen mit verschiedener Winkelausrichtung der Proben durchgeführt. Die daraus gewonnen Beobachtungen lassen folgenden Vorschlag zur Berücksichtigung der Neigungsausrichtung der Konstruktion in der Brandlastermittlung zu.

ξ = 1,50 für Neigungen bis 90°
ξ = 1,30 für Neigungen bis 80°
ξ = 1,15 für Neigungen bis 70°
ξ = 1,05 für Neigungen bis 60°
ξ = 1,00 für Neigungen bis 50°

Dabei ist zu beachten, dass diese Werte nur in Verbindung mit der luftseitig liegenden Bewehrung kombiniert werden können, da parallel zum Erdplanum liegende Bewehrungslagen (also innerhalb der Böschung) von der Neigung unberücksichtigt bleiben (ξ = 1,0).

4.4.4.4 Beispiel 1

- Böschung mit Neigung 80°
- Polsterwand mit 6 Lagen Geogittern mit einer Länge von l = 4,0 m und einem Abstand von a = 0,50 m
- Lastfall 1: Vegetation ausgetrocknet, Böschung ohne Bewässerung, m = 1,0
- Lastfall 2: Vegetation intakt, Böschung mit Bewässerung und hitzebeständiger Begrünungsmatte, m = 0,4

M = 0,5 kg/m² (für Geogitter)
H = 7 kWh/kg (für PET)

Lastfall 1	**Lastfall 2**
Polsterwand, 6 Umschläge; m = 1,0	**Polsterwand**, 6 Umschläge; m = 0,4
ψ_1 = 1,0	$\psi_{1,1}$ = 0,5 (Vegetation intakt) $\psi_{1,2}$ = 0,5 (Bewässerung) $\psi_{1,3}$ = 0,45 (Begrünungsmatte)
ξ_1=1,3 (Neigung 80°)	ξ_1=1,3 (Neigung 80°)
$q_1 \cdot A = M_1 \cdot H_1 \cdot m \cdot \psi_1 \cdot \xi_1$ = 6 · (0,5 m /sin70°) · 0,5 kg/m² · 7 kWh/kg · 1,0 · 1,0 · 1,3 = **14,53 kWh je lfd. Meter**	$q_1 \cdot A = M_1 \cdot H_1 \cdot m \cdot \psi_{1,1} \cdot \psi_{1,2} \cdot \psi_{1,3} \cdot \xi_1$ = 6 · (0,5 m /sin70°) · 0,5 kg/m² · 7 kWh/kg · 0,4 · 0, 5 · 0, 5 0,45 · 1,3 = **0,65 kWh je lfd. Meter**
Lagen innerhalb Böschung: Für Brandlast wirksame Tiefe: Berechnung bis 0,30 m Tiefe	
6 Lagen bis 0,30 m Tiefe und 0,50 m Überschlag (auch nur bis 0,3 m wirksam) innerhalb Böschung	
ψ_2 = 0,3 (Erdüberdeckung vorhanden)	$\psi_{2,1}$ = 0,5 (Vegetation intakt) $\psi_{2,2}$ = 0,5 (Bewässerung) $\psi_{2,3}$ = 0,45 (Begrünungsmatte) $\psi_{2,4}$ = 0,4 (Erdüberdeckung vorhanden)
ξ_2=1,0 (parallel zu Erdplanum)	ξ_2=1,0 (parallel zu Erdplanum)
$q_2 \cdot A = M_2 \cdot H_2 \cdot m \cdot \psi_2 \cdot \xi_2$ = 6 · (0,3 m + 0,3 m) · 0,5 kg/m² · 7kWh/kg · 1,0 · 0,3 · 1,0 = **3,78 kWh je lfd. Meter**	$q_2 \cdot A = M_2 \cdot H_2 \cdot m \cdot \psi_{2,1} \cdot \psi_{2,2} \cdot \psi_{2,3} \cdot \psi_{2,4} \cdot \xi_2$ = 6· (0,3 m + 0,3 m) · 0,5 kg/m² · 7 kWh/kg · 0,4 · 0,5 · 0,5· 0,45 · 0,4 · 1,0 = **0,27 kWh je lfd. Meter**
$q_R \cdot A$ = (14,53 + 3,78)kWh **= <u>18,31 kWh je lfd. Meter</u>**	**$q_R \cdot A$ = (0,65 + 0,27)kWh** **= <u>0,92 kWh je lfd. Meter</u>**

Umrechnen auf die Grundfläche:
Höhe der Böschung H = 6 Lagen · 0,50 m Lagenabstand = 3,0 m
Bezogene Grundflächenlänge L = 3,0 m / tan70° = 1,09 m
⇒ g_R = 18,31 kWh / (1,09 m · 1,0 m) = **16,80 kWh/m² (Lastfall1)**
⇒ g_R = 0,92 kWh / (1,09 m · 1,0 m) = **0,84 kWh/m² (Lastfall2)**

4.4.4.5 Entwurf von Grenzwerten maxq_R in Verbindung mit dem Geotechnischen Risiko

Aufgrund der Ergebnisse in dem oben aufgeführten Beispiel, weiterer Vergleichsrechnungen und der in den Versuchen erlangten Resultate, sollen folgende Ansätze für eine Grenzwertfestlegung der Rechnerischen Brandlast vorgeschlagen werden.

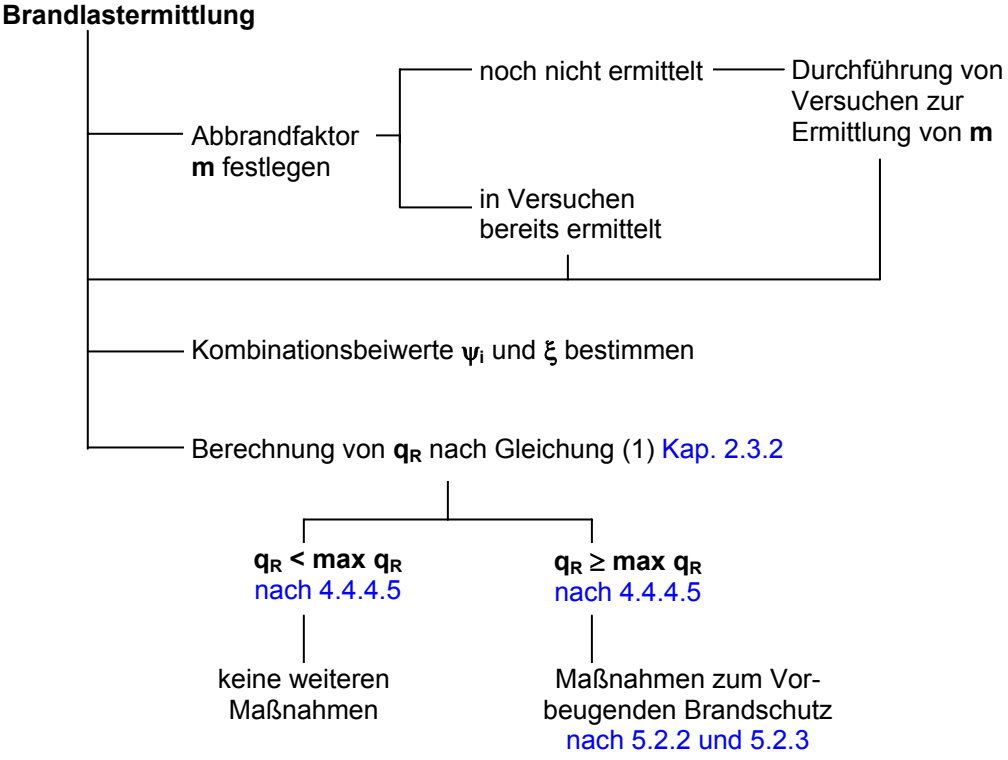
GK 1 **max $q_R \leq$ 10 kW/m²**

GK 2 **max $q_R \leq$ 7 kW/m²**

GK 3 **max $q_R \leq$ 5 kW/m²**

Werden diese Grenzwerte unterschritten, sind zusätzliche Maßnahmen zum vorbeugenden Brandschutz nicht mehr notwendig.
Um eine noch genauere Staffelung der Grenzwerte zu erreichen, bietet es sich an, weitere Versuche und Untersuchungen an Probekörpern verschiedener Größen, Lagen und Neigungen durchzuführen. Je mehr in diesen die Einflussfaktoren variiert werden und je näher die Versuche dabei an die in der Realität existierenden KBE-Konstruktionen heranreichen, desto verbindlicher können die damit gewonnenen Ergebnisse und Empfehlungen behandelt werden.

4.4.4.6 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Brandlast



4.4.5 Auswertung der Zugkraftverluste der Proben im uneingebauten Zustand

Nach Abschluss der Brandversuche im uneingebauten Zustand wurden die noch untersuchbaren beschädigten Probematerialien zu Zugversuchen an das Sächsische Textilforschungs-Institut in Chemnitz eingesandt, die entsprechende Versuchseinrichtungen zur Verfügung haben. Dort sollten die beschädigten Proben beim Versuch am breiten Streifen nach DIN EN ISO 10 319 [41] auf ihre Restfestigkeit hin untersucht werden. Leider ließ der begrenzte Zeitrahmen dieser Arbeit einen Abschluss dieser Versuche jedoch nicht zu und die Zugversuche konnten nicht mehr im Bearbeitungszeitraum durchgeführt werden. Aufgrund der erprobten Materialien und der Ergebnisse aus den Brandversuchen lassen sich aber dennoch einige Rückschlüsse auf die Restfestigkeiten der eingesetzten Proben tätigen und führen zu folgenden Annahmen.
Die Materialien der Firma A brannten bei den Versuchen ohne Glasfaserkombination nahezu vollständig ab. Von einer Restfestigkeit kann hier demnach nicht mehr gesprochen werden, denn diese verhält sich wie Null.
Zur Beurteilung der Restfestigkeit sind folgende Gleichungen notwendig:

Gleichung zur Berechnung der Bemessungszugfestigkeit (4):

$$F_d = \frac{F_k}{(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) \cdot \gamma_B} \qquad (4)$$

F_d Bemessungsfestigkeit
F_k charakteristische Wert der Langzeitzugfestigkeit
A_1 Beiwert zur Berücksichtigung des Zeitstandverhalten (Kriechdehnung, Zeitstandverhalten
A_2 Beiwert zur Berücksichtigung von Beschädigungen aus Transport, Einbau und Verdichtung
A_3 Beiwert zur Berücksichtigung der Einflüsse aus Fugen oder Überlappungen und Nähten, sowie aus Anschlüssen an andere Bauteile
A_4 Beiwert zur Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse (Wetterbeständigkeit, Alterung)
γ_B Allgemeiner Teilsicherheitsbeiwert für Abweichungen des Produktes vom Nennwert sowie für kleine geometrische Abweichungen der Konstruktion von der Bemessung, $\gamma_B = 1{,}75$

Zur Berücksichtigung der Brandbeschädigung bei KBE – Konstruktionen erscheint es als sinnvoll, zur Ermittlung der Restfestigkeit nach der Brandeinwirkung, einen weiteren Abminderungsbeiwert – genannt $\mathbf{A_5}$ – einzuführen. Dieser Beiwert wird, gestaffelt nach der prozentualen Beschädigung der Konstruktion, wie folgt vorgeschlagen (Gleichung (5)).

$$F_{Rest} = A_5 \cdot F_d \qquad (5)$$

F_{Rest} Restfestigkeit nach der Brandbeschädigung
A_5 Beiwert zur Berücksichtigung der Brandbeschädigung
F_d Bemessungsfestigkeit

Die prozentuale Beschädigung ist jeweils auf die Fläche der einzelnen Bewehrungslage zu ermitteln. Das heißt, es muss für jede einzelne Geogitterlage die Brandbeschädigung prozentual ermittelt und für diese die Restfestigkeit berechnet werden. In Abwägung des Geotechnischen Risikos und der gesamten Beschädigung (Sind einzelne Lagen extrem betroffen oder ist ein einheitlicher Schaden der gesamten Konstruktion zu erkennen?) sind diese Restzugfestigkeiten qualitativ zu beurteilen und mit den erforderlichen Zugfestigkeiten zu vergleichen. Aufgrund der daraus resultierenden Ergebnisse sind entsprechend geeignete Sanierungsmaßnehmen (Rückbau oder Teilsanierung) zu treffen.
Als Hilfsmittel zur Festlegung des Beiwertes A_5 soll folgendes Diagramm 1 helfen.

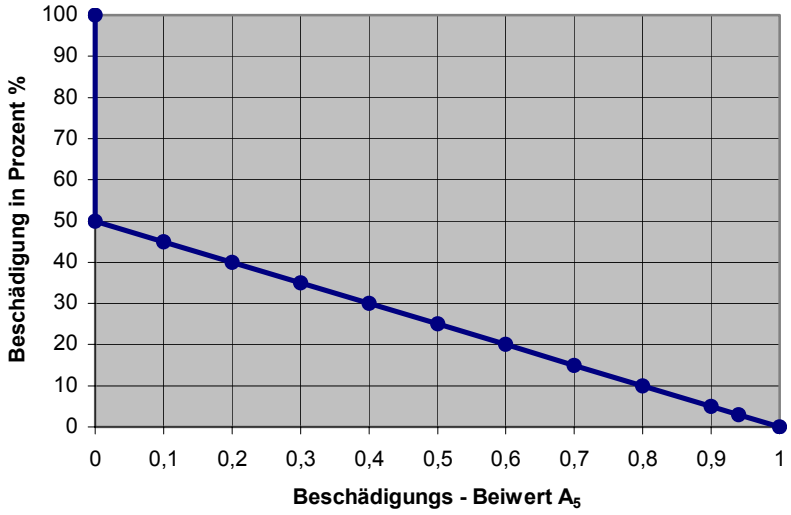


Diagramm 1 Interpolationsdiagramm zur Festlegung von Brandbeschädigungsbeiwert A_5 in Abhängigkeit von der Brandbeschädigung in Prozent je Bewehrungslage

Bei Vergleich des Diagramms 1 mit der oben aufgeführten Formel (5) lässt sich feststellen, dass sich die Restzugfestigkeit adäquat der abfallenden Linie in Diagramm 1 verhält. Das heißt die Restzugfestigkeit nimmt steigender Beschädigung linear ab und geht gegen Null (Diagramm2).

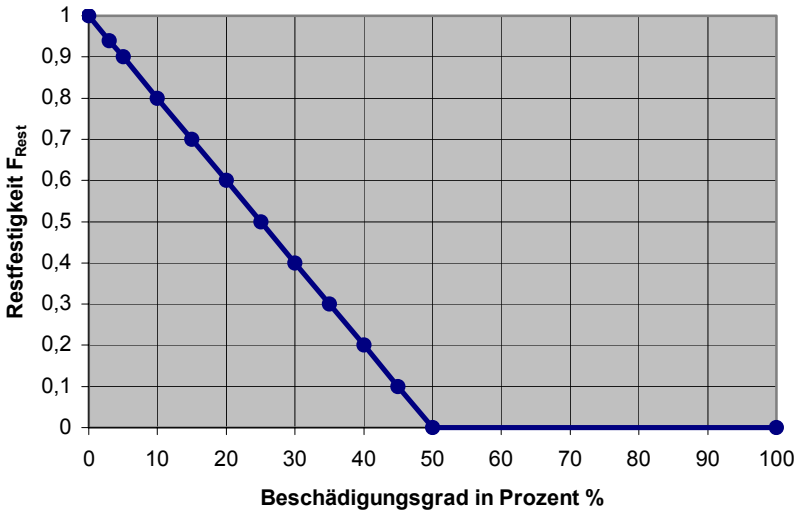


Diagramm 2 Zusammenhang zwischen prozentualer Beschädigung und Restzugfestigkeit

Zur Beurteilung dieser Restfestigkeit und ihre Bedeutung für eine Sanierung wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

1.Ermittlung von Bemessungsfestigkeit $\mathbf{F_d}$

— nach Gleichung (4) $F_d = \frac{F_k}{(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) \cdot \gamma_B}$

2.Ermittlung der prozentualen Beschädigung $\mathbf{A_{Brand}}$

3.Ermittlung von $\mathbf{A_5}$

— nach Diagramm 1

4.Ermittlung von $\mathbf{F_{Rest}}$

— nach Gleichung (5) $F_{Rest} = A_5 \cdot F_d$

5.Beurteilung von $\mathbf{F_{Rest}}$ und Vorschlag für die Sanierung nach Kapitel 6

- F_{Rest} = (0-0,2) $\cdot F_d \Rightarrow$ vollständiger Rückbau (GK1, GK2, GK3) oder Teilsanierung (evtl. GK1)
- F_{Rest} = (0,2-0,5) $\cdot F_d \Rightarrow$ teilweiser Rückbau (GK2, GK3) oder Teilsanierung (GK1, evtl. GK2)
- F_{Rest} = (0,5-0,8) $\cdot F_d \Rightarrow$ Teilsanierung (GK1, GK2, GK3) oder nur Sanierung der Vegetation (evtl. GK1)
- F_{Rest} = (<1,0) $\cdot F_d \Rightarrow$ Teilsanierung (GK2, GK3) oder nur Sanierung der Vegetation (GK1, evtl. GK2)
- $F_{Rest} \geq$ 1,0 $\cdot F_d \Rightarrow$ **keine weiteren Sanierungsmaßnahmen außer Vegetationssanierung notwendig!**

4.5 Zusammenfassung

Bei noch nicht untersuchten Problemen, die sich dem Ingenieur in mancherlei Hinsicht bieten, wo keine Vorschriften, Regelwerke oder Empfehlungen existieren, ist es von Vorteil und absichernden Charakters, eigene Versuche zu derartigen Untersuchungslücken durchzuführen. Mit den hier vorgestellten Untersuchungen zum Brandverhalten von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen soll eine Vorgabe zu weiteren Versuchen und Forschungsvorhaben in derartiger Problematik gegeben werden.
Die hier gesammelten Erkenntnisse – wie die günstige Eigenschaft der Verwendung der Geogitter- und Glasfaserprodukte der Firma B – sind ein kleiner Fortschritt in der großen Vielfalt der auf dem Markt angebotenen Produkte. So könnte dies eine Anregung zum Entwurf ähnlicher oder in ihren Eigenschaften noch besserer Produkte sein.
Ein allgemeines Fazit lässt sich aus den Versuchen jedoch mit nahezu vollständiger Sicherheit ableiten. Mit den Versuchen in uneingebautem Zustand verbunden mit denen mit noch vollständig intakter Begrünung, kann man zu dem eindeutigen Ergebnis gelangen, dass KBE-Konstruktionen bei Verwendung von Geogitter-Glasfaser-Kombinationen der Firma B bei noch vollständiger Begrünung als nicht brennbar zu beurteilen sind. Ausgenommen von diesem Resultat sind natürlich das Einwirken von Vandalismus und höherer Gewalt. Somit kann dem Ingenieur schon mit diesen wenigen Versuchen ein weitestgehend „sicheres Werkzeug“ in die Hand gegeben werden, was diesen aber nicht von eigenen Untersuchungen abhalten soll!

5 Empfehlungen zur Vermeidung und Eindämmung von Bränden

5.1 Allgemeines

Im Allgemeinen ist zu sagen, dass die Brandstatistik betreffend der untersuchten Stützkonstruktionen in den vergangenen Jahren relativ gering ausgefallen ist. Brände, die durch intensive Sonneneinstrahlung in langen Trockenperioden entstehen können, sind nach Angaben der Deutschen Bahn AG sehr selten vorgekommen. Doch sind diese nun mal nicht auszuschließen, genauso wenig wie die Fahrlässigkeit oder sogar vorsätzlicher Vandalismus, mit dem manche Menschen eine Gefahrenquelle erzeugen können.
Deshalb ist das Brandschutzproblem auch bei begrünten Stützkonstruktionen von großer Bedeutung. Vor allen Dingen, wenn eine Brandsicherheit von dem Bauherrn bzw. Auftraggeber verlangt wird, so dass Haftungsfragen bei einer eventuellen Brandentstehung eine große Rolle spielen.
Die folgenden Empfehlungen basieren auf Erfahrungswerten und auf den Auswertungen, die in dem behandelten Brandversuchen gemacht werden konnten. Jedoch sind diese, wie schon erwähnt, nur empfehlenden Charakters und keineswegs Regeln oder gar Vorschriften zur brandsicheren Gestaltung von KBE-Konstruktionen. So ist darauf hinzuweisen, dass im speziellen Fall, das heißt sobald Zweifel an der Übertragbarkeit der in dieser Arbeit getätigten Ergebnisse zur realen Konstruktion entstehen, eigene analoge Untersuchungen durchzuführen sind.

5.2 Grundsätzliche Aspekte zur Brandvermeidung

5.2.1 Allgemeine Vermeidungskriterien

Es gibt sicherlich und wie auch schon teilweise erwähnt, viele Möglichkeiten, einen Brand erst gar nicht entstehen zu lassen. Dabei sind sowohl Kriterien vor der Planung als auch mit dem Fortentwickeln selbiger zu beachten.
Eine grundsätzliche Überlegung sollte es sein, ob es überhaupt sinnvoll und verlangend ist, eine brandgefährdete Konstruktion einzusetzen. In dem hier speziell behandelten Fall einer KBE-Konstruktion hieße das, Überlegungen hinsichtlich einer Alternativ-Konstruktion anzustreben. Nach Möglichkeit sind demnach z. B. südhang-exponierte Konstruktionen mit anderen Lösungen zur Außenhautgestaltung zu versehen. Einige Beispiele sind :

- Vorgesetzte Betonblocksteine, Gabionen oder winkelförmige Wandelemente
- Beton – Fertigteilplatten
- Trockenmauern [17]

Natürlich soll dabei der landschaftsplanerische Aspekt nicht in den Hintergrund geraten und falls gefordert, dem Anliegen einer begrünten Konstruktion nach-gegeben werden.
Grundsätzlich ist zu sagen, dass an Orten, an denen die Gefahr von Vandalismus bzw. Fahrlässigkeit (z.B. achtloses Wegwerfen von Zigarettenkippen) besteht, derartige Konstruktionen nach Möglichkeit zu vermeiden sind. Es können jedoch auch Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, die eine Brandansteckung möglichst unwahrscheinlich machen. Dies könnten z. B. bei geokunststoffbewehrten

Böschungen an Bahnanlagen ein ausreichender Abstand der Stützkonstruktion zu den Gleisen oder ein vor der Böschung errichteter engmaschiger Zaun sein, der ein Auftreffen von den häufig unachtsam aus dem fahrenden Zug herausgeworfenen Zigarettenkippen verhindern könnte.

Natürlich sind dies alles Empfehlungen, die mit dem Planer in Einklang gebracht werden wollen. Gibt es keine Möglichkeiten zur Durchführung derartiger Maßnahmen, sei auf das folgende Kapitel verwiesen.

5.2.2 Konstruktive Aspekte zur Brandvermeidung bzw. –eindämmung

Um konstruktive Empfehlungen für eine Brandvermeidung geben zu können, muss zunächst einmal hervorgehoben werden, welche Parameter einen Einfluss auf eine eventuelle Brandeinwirkung haben könnten. Im folgenden werden die wichtigsten ausschlaggebenden und die sich daraus ergebenden Einflussfaktoren aufgelistet:

- Exponierung der Konstruktion (kritisch: Südhanglage)
- Steilheit der Böschung (kritisch: ab 50°)
- Außenhautgestaltung
  → Saatgutmischung, Bepflanzung (standorttypische wählen)
  → Planung von Mutterbodenqualität und Mutterbodenmenge
  → Wahl der Bewässerung
- Wahl der Begrünungsmatte
- Art des Füllbodens

Das Zusammenwirken all dieser Komponenten kann in einem richtig gewählten Verhältnis entscheidend zur Brandvermeidung beitragen. Auf alle möglichen Kombinationen kann in dieser Arbeit nicht detailliert eingegangen werden. Dies würde mit Sicherheit den Umfang der Arbeit sprengen, gerade was die Gewährleistung einer möglichst einwandfreien Begrünung betrifft. Vielmehr sollen einige nahezu brandsichere Systeme vorgestellt werden.

5.2.2.1 Exponierung und Neigung der Konstruktion

Da in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die kritische Situation steiler südhangexponierter KBE-Konstruktionen behandelt wurde, sollen auch nur Empfehlungen für derart ausgerichtete Systeme gegeben werden.

5.2.2.2 Wahl der Geogitter

Mit denen in dieser Arbeit durchgeführten Versuche ist man zu dem Ergebnis gelangt, dass sich brandschutztechnisch die Geogitter der Firma B am vorteilhaftesten verhalten. Diese bestehen aus den Materialien PVA und PA. Die Geogitter der Firma A waren nur in Verbindung mit dem Glasgittergewebe der Firma B als bei Brandschutzproblemen einsetzbar zu bewerten, da sie ohne eine Kombination mit dieser nahezu vollständig abbranden. Deshalb sind diese Geogitter ohne Einsatz derartiger Begrünungsmatte oder andere Maßnahmen, allein nicht zur Verwendung zu empfehlen.

5.2.2.3 Außenhautgestaltung

Die Wahl des Außenhautsystems gemeinsam mit deren Begrünung ist wohl der wichtigste Einflussfaktor bei der Gestaltung einer brandsicheren Stützkonstruktion. Gerade eine einwandfreie Begrünung bzw. Bepflanzung kann schon ein großer Garant für eine relativ brandresistente Konstruktion sein.
Basierend auf den Untersuchungen von ARTMANN (1999) können in Tabelle 19 folgende Faktoren, die maßgebenden Einfluss auf eine funktionstüchtige Begrünung einer KBE-Konstruktion haben und konstruktive Empfehlungen für die Ausführung von Böschungen mit 70-90° Neigung, aufgeführt werden:

Tabelle 20 Empfehlungen für die Ausbildung steiler KBE-Konstruktionen [2]

Einflüsse auf den Begrünungserfolg	Konstruktive Empfehlungen
• Exposition der Böschungsfront	• Begrünung nur mit Eignungsuntersuchung und nach Begrünungsversuch vornehmen
• Wasserhaushalt der Böschung	• Ausbildung mit innenliegendem Kulturboden-zwickel und ausschließlich Geogittern als Bewehrungselement
• Neigung der Böschung	• Gesonderte Pflegemöglichkeiten zwingend erforderlich
• Umgebungsbedingungen (Klimazone)	• Anordnung von Versprüngen (Abbildung 18)
• Bodenverhältnisse und Nährstoff-versorgung	• Einrichtung temporärer oder falls erforderlich dauerhafter Bewässerungssysteme
• Verdichtung von Füllboden und Kulturboden	• Auflösung der Böschungsflächen empfohlen
• Saatgutzusammensetzung und Pflanzenauswahl	• Primär- und Sekundärbegrünung vorsehen
• Böschungspflege nach Fertigstellung der Konstruktion	• Pflege nach DIN 18 919 mit sehr hohem Pflegeaufwand
• Zeitpunkt der Baumaßnahme und deren Dauer	• Begrünungsversuche in situ im Vorfeld erforderlich
• Form der Böschungsoberfläche	

Wie zu erkennen, finden sich auch hier die meisten Faktoren wieder, die bereits unter Punkt 5.2.2 erwähnt wurden. Es ist demnach unschwer zu erschließen, dass die einzelnen Faktoren untereinander so ineinander greifen, dass bereits ein ungünstiger Parameter eine Folge von negativen Einflüssen nach sich ziehen kann.

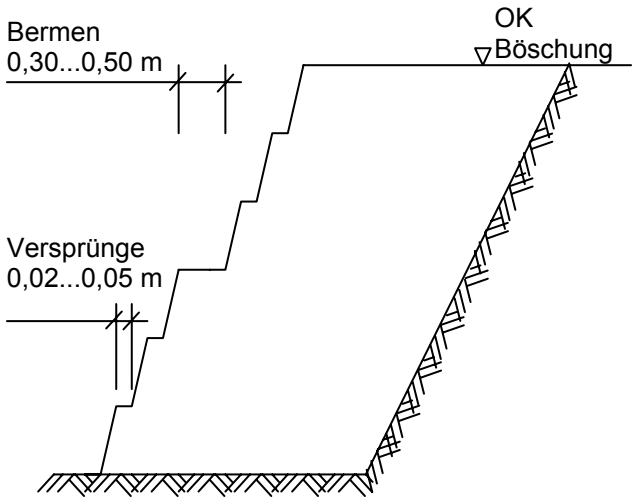


Abbildung 18 Konstruktive Elemente, Bermen und Versprünge

Aus den dargelegten Empfehlungen lassen sich die in der folgenden Tabelle 20 erläuterten Schlussfolgerungen ziehen.

Tabelle 21 Konstruktive Empfehlungen und ihre Auswirkungen auf die KBE-Konstruktion [2], [4], [42]

Konstruktive Empfehlungen	Positive Folgeerscheinung
- Anordnung von lagenweisen Versprüngen (Abbildung 18)	- verlängern Weg des niedergehenden Oberflächenwassers - Erleichtertes Einleiten von Niederschlags-wasser
- Einsatz sog. Mulchstoffe[8], z.B. Nasssaaten mit Hygromull[9]	- durch Einarbeitung der Flocken wird eine Erhöhung des Gehaltes an dem pflanzenverfügbaren Wasser in leichten und schweren Böden erreicht - Verbesserung des Lufthaushaltes in schweren Böden
- Einsatz von Zusatzstoffen wie z.B. Alginate	- Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit im Mutterbodenzwickel
- Verzicht auf Einbau reinen Mutterbodenzwickel zugunsten eines abgemagerten Mutterboden – Füllboden – Gemisches - möglichst gleichmäßige Abnahme von Nährstoffen und Porenraum (Anstieg der Dichte) im etwa 1,0 m dicken oberflächennahen Bereich	- Verhindern des Auftretens eines sogenannten „Blumentopfeffektes“, welcher nur eine Wurzelausbildung im Mutterbodenzwickel und keine ausreichende Durchwurzelung im Füllbodenbereich darstellt
- Einhaltung der Mindestdicke der Mutterbodenschicht von 15 cm	- mit steigender Schichtdicke eine größere Pufferwirkung gegen Witterungseinflüsse - Schutz der Pflanzen vor übermäßiger Verdunstung, Abkühlung und Überhitzung
- Abstimmung des pH – Wertes des Füllbodens auf den Standort und die gewählte Bepflanzung	- Garantie einer möglichst qualitativ guten Begrünung
- Anordnung von Pflegebermen mit einer Mindestbreite von 30 bis 50 cm in Höhensprüngen von etwa 2 bis 3 m	- ermöglicht sorgfältige Pflege und Sanierung der Begrünung
- Überprüfen des Einsatzes von Recyclingmaterial	- Pflanzenverträglichkeit soll garantiert werden

5.2.2.3.1 Empfehlungen für die Begrünung

Aufgrund der Vielfältigkeit der Einflussfaktoren ist für jeden Standort einer vorgesehenen begrünten kunststoffbewehrten Erdkonstruktion ein ingenieurbiologisches Standortprofil zu erstellen. Die Kenntnis der Standortparameter wie Niederschlagsmengen, Temperaturjahresgänge und Sonnenscheindauer ist Grundlage für die Planung der Begrünung. Anhand dieses Standortprofils ist für die Böschung die optimale Begrünungsvariante (Saatgutmischungen, Pflanzenauswahl und Pflege) festzulegen. Stark wachsende, langstielige Gräser dürfen nur in begrenztem Umfang eingesetzt werden. Planungsseitig sind Vorkehrungen zu treffen, um eine Pflege der Böschung nach deren Fertigstellung zu ermöglichen.

---

[8] Unter „Mulchen“ wird das Bedecken der Bodenoberfläche mit organischen oder anorganischen Stoffen zur Förderung des Pflanzenwachstums verstanden.

[9] Hygromull ist ein Bodenverbesserer, der aus einem offenporigen Harnstoffformaldehydharzschaum besteht, der ein bis drei Tage nach dem Aufschäumen ausgehärtet ist und dann in Flocken zerrissen wird.

Generell werden zwei Begrünungsarten empfohlen:

- Primärbegrünung (flächendeckender, kurzhalmiger Rasen)
- Sekundärbegrünung (lokale Gehölze, Strauchwerk, Rankenpflanzen).

Die Primärbegrünung muss kurzfristig nach dem Herstellen der Böschung auskeimen und einen möglichst dichten Bewuchs der Böschung sichern. Hierdurch lässt sich ein für das Wachstum der Pflanzen wichtiges Mikroklima auf der Böschungsoberfläche realisieren. Mit dem Bewuchs wird sowohl der Wärme- als auch der Wasserhaushalt der Böschung entscheidend beeinflusst. Zudem wird die Böschungsfront infolge der Durchwurzelung stabilisiert und der UV-Schutz für die Geokunststoffbewehrung verbessert. Die Erosionskräfte auf der Böschungsoberfläche vermindern sich. Als Grundlage für die Saatgutzusammenstellung der Primärbegrünung sollte die Regel-Saatgut-Mischung RSM 7.2.2 genutzt werden (FLL, 1999)[10]. Diese ist jedoch zwingend standort- und bauwerksbezogen zu modifizieren. ARTMANN (1999) gibt diesbezüglich weitere Empfehlungen. Regelaussaatmengen, Pflegeansprüche sind in FLL (1991) beschrieben. [2]
Mit der Sekundärbegrünung soll erreicht werden, dass die Gesamtbegrünung langfristig ein Gleichgewicht bildet. Eine über die Jahresscheibe konstante Begrünung ist anzustreben. Zusätzlich sollten daher Gehölze und Rankenpflanzen unter Beachtung des Konkurrenzverhaltens der Arten vorgesehen werden. Die Sekundärbegrünung ist lokal vorzunehmen. Tiefreichende Wurzeln verbessern die Stabilität der Böschungsfront und können weniger leicht austrocknen. Räumlich aufgelöste Strukturen können damit unterstützt werden (lokale aber keine flächendeckende Wind- und Sonnenabschattung). Ein Rezept für die Sekundärbegrünung lässt sich nicht erstellen. Es wird empfohlen, Art und Umfang der Sekundärbegrünung während der Planung mit einem Ingenieurbiologen festzulegen. [2]

5.2.2.3.2 Empfehlungen für die Bewässerung

In stark sonnenexponiertem Gelände wird oft auch trotz sorgfältiger Pflege und standortspezifisch qualitativ gut gewählter Bepflanzung keine einheitliche Begrünung erreicht. Dies liegt zumeist an der unzureichenden Wasserzufuhr und -speicherung im Boden.
Eine Bewässerung während der Bauzeit sollte immer angestrebt werden, um bereits den Keim- und Aufwuchsprozess der Bepflanzung möglichst optimal beeinflussen zu können.
Bezüglich des Brandschutzes ist auch der dauerhafte Einsatz von Bewässerungssystemen nach Herstellung der Böschung von Vorteil. Derartige Systeme sind entsprechend den Standortbedingungen zu bemessen und von Fachpersonal auszuführen. Dabei können Überlegungen zur Verwendung von eventuell nicht benötigten Wasserreserven bzw. anfallenden Sickerwasser zur Löschwasserspeicherung angestellt werden. Dies könnte mit sogenannten Regenwasserzisternen realisiert werden. Dabei wird das Regenwasser durch ein Verbundbecken gesammelt und gespeichert. Mit einer Regelschaltung kann dann je nach Bedarf die Böschung bewässert werden. Ein Regenüberlauf soll dabei zusätzlich ein Aufstauen des Wassers verhindern.
Zur Anbringung der Bewässerungseinrichtungen und Sprinkleranlagen sollen die Pflegebermen genutzt werden.

[10] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn, 22.Auflage

5.2.2.4 Wahl des Begrünungsmatte

In Auswertung der getätigten Versuche hat sich gezeigt, dass sich die Begrünungsmatten aus Glasfaser-Material der Firma B brandschutztechnisch am günstigsten auswirken, da Glasfasern gegenüber anderen Materialien wie z. B. Kokos einen wesentlich höheren Schmelzpunkt besitzen. Rein brandschutztechnisch sind also Begrünungssysteme dieser Art auszuwählen.
Die Begrünung zeigte sich jedoch am schnellsten bei der Kokos-Begrünungsmatte, wo bereits eine Samenmischung eingearbeitet war und diese sich aufgrund des aufgerauten Materials auch schnell festigen und entwickeln konnte Dahingegen musste sich die Begrünung bei den Glasfasermatten erst „Halt“ im Mutterboden suchen und die Begrünung trat dementsprechend später ein. Es wäre demzufolge zu überlegen, ob nicht Glasfasermatten entwickelt werden könnten, die eine gewisse Rauhigkeit aufweisen können, um der Begrünung Halt zu gewähren oder ob nicht die Möglichkeit bestünde eine Kombination von Kokos-Begrünungsmatten mit Glasfasermatten zu realisieren.
Auch der Einsatz der bei der Umschlagbauweise erforderlichen verlorenen Schalung in Form von Stahlgittern erweist sich brandschutztechnisch als günstig, da diese nicht brennbar sind und auch einen Schutz gegen Vandalismus bieten [43].

5.2.2.5 Art des Füllbodens

Beim Bau von KBE-Konstruktion werden meist Füllbodenarten der Körnung 0/32 bzw. 0/45 eingesetzt. Diese Bodenarten erweisen sich bei der Errichtung derartiger Stützkonstruktionen am günstigsten. Diese sollten mit 97-100% Proctordichte eingebaut werden. Zum einen handelt es sich hierbei um rollige Böden mit guter Durchlässigkeit und geringem Wasserspeichervermögen, zum anderen wird durch die erforderlichen Verdichtungsgrade den Pflanzen ein Durchwurzeln der Füllbodenbereiche erschwert. [2] Durch den nun im Mutterbodenzwickel wiederum geringeren Verdichtungsgrad und höheren Nährstoffanteil kommt es zum sogenannten „Blumentopfeffekt“. Um dies zu vermeiden, sollte der Mutterboden durch ein abgemagertes Kulturboden-Füllboden-Gemisch ersetzt werden. [2]

5.2.3 Untersuchungstechnische Empfehlungen

Eine weitere zu empfehlende Maßnahme – auch als Absicherung des planenden Ingenieurs – ist (neben den in dieser Arbeit ausführlich beschriebenen Brandversuchen) das Einbringen mehrerer Geokunststoff-Probestücke in die Konstruktion. Diese sollten dabei möglichst nah an der Böschungsoberfläche liegen, damit sie auch brauchbare Ergebnisse zur Alterungs- und Witterungsbeständigkeit gegen Hitzeeinwirkung liefern können. Die Proben müssen dabei derart eingelegt werden, dass sie später problemlos und ohne Beschädigung der KBE-Konstruktion entnommen und labortechnisch untersucht werden können.
Des weiteren sind die bei geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen häufig vorgesehenen dauerhaften Verschiebungs- und Setzungsmessungen empfehlenswert. Außerdem können sich zusätzliche Inklinometerbeobachtungen als günstig erweisen.

5.3 Maßnahmen im Brandfall

Die einzuleitenden Maßnahmen im Brandfall sind hier nur schwer zu erläutern, da mit dem Entstehen eines Brandes nicht auch gleichzeitig das Bemerken des Brandes einher läuft, wie dies beispielsweise durch Brandmeldeanlagen im Hochbau möglich ist. Deshalb sollte eventuell schon bei Herstellung der Konstruktion überdacht werden, ob sich nicht Hinweise zu Brandmelde- bzw. Telefonmeldeeinrichtungen an verschiedenen Stellen der Strecke als günstig erweisen würden, sodass im Brandfall möglichst schnell ein Löschen des selbigen realisiert werden kann.
Des weiteren sollten Anfahrmöglichkeiten für Feuerwehr und Löschtrupps sowie eine Anbindung an die Löschwasserversorgung vorhanden sein.
Die Löschmaßnahmen im speziellen fallen dann in den Aufgabenbereich der örtlichen Feuerwehr und sollen in dieser Arbeit nicht näher behandelt werden.

5.4 Zusammenfassung

Zur Vermeidung von Bränden bzw. Brandschäden bei KBE-Konstruktionen sind zusammenfassend demnach vor allen Dingen zwei Dinge von entscheidender Wichtigkeit:

- eine intakte und dauerhafte Begrünung und
- ein möglichst hitzebeständiges Geogitter bzw. eine Begrünungsmatte mit gleicher Eigenschaft.

Sind beide Faktoren bei der Konstruktion garantiert, können ein Brand dieser bzw. eine Brandausbreitung auf die Geokunststoffe in dem Stützkörper, nahezu ausgeschlossen werden (ausgenommen bei Auftreten von Vandalismus). Deshalb sollten gerade vorbeugend Maßnahmen dahingehend getroffen werden, dass eine intakte Begrünung auch in längeren Trockenperioden ihre schützende Wirkung hinsichtlich des Brandschutzes weitestgehend erfüllen kann und dementsprechende Maßnahmen zur Bewässerung und Pflege in dieser Zeit mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden sollten.
Der Einsatz hitzebeständigerer Begrünungsmatten hat dann den zusätzlichen günstigen Effekt, dass im Falle eines Brandes, dieser nahezu im Keim erstickt werden kann und die statisch wichtigen Geokunststoffe vor eventuellen Beschädigungen geschützt werden könnten.

6 Sanierung von brandgeschädigten KBE-Konstruktionen

6.1 Allgemeines

Die Behandlung von brandgeschädigten KBE-Konstruktionen lässt sich nicht mit allgemeinen Regeln und Verfahren beschreiben, da jede KBE-Konstruktion schon allein für sich verschiedensten Parametern unterliegt und nun noch durch die spezielle Brandbeschädigung einen Einzelfall darstellt.
Deshalb sollen hier nur Vorschläge zur Vorgehensweise bei einer notwendigen Sanierung gegeben werden. Dabei wird der Versuch gemacht, die Konstruktionen in Abhängigkeit von ihrem Beschädigungsgrad zu behandeln.

6.2 Sanierungen in Abhängigkeit vom Beschädigungsgrad

6.2.1 Festlegung des Beschädigungsgrades

Um eine Eingrenzung des Beschädigungsgrades der Konstruktionen vornehmen zu können, müssen verschiedene Stadien der Beschädigung und daraus eventuell resultierende Standfestigkeitsverluste der Stützkonstruktion festgelegt werden. In dieser Arbeit soll eine Einteilung nach den Tabellen 21 und 22 vorgenommen werden.
Um die Ursachen bzw. den Grad der Schädigung des Stützkörpers festzustellen reichen aber meist nicht nur die äußerlichen Betrachtungen – ausgenommen den Vorfall des Einsturzes. Vielmehr können hier eine Reihe von Faktoren zusammenwirken und die Wärme- bzw. Brandeinwirkung nur eine Ursache von vielen für den Zustand oder gar den Einsturz der Konstruktion sein. Um derartige andere Faktoren bestimmen bzw. ausschließen zu können, sollte – wo möglich – zur Bestimmung von Bodenkennwerten, Probenmaterial entnommen werden. Weitere Aufschlüsse dazu soll der folgende Abschnitt geben.

Tabelle 22 Festlegung der Größe des Beschädigungsgrades bei Geogittern

Maschenweite	Beschädigung je Quadratmeter in %[11]	Beschädigungsgrad nach Tabelle 14
20/20	<10	4
	>10	5
35/35	<15	4
	>15	5
50/50	<20	4
	>20	5

[11] gemessen wird die durch den Brand verursachte lichte Maschenweite, d.h. die beschädigten Maschen einschließlich der Luftzwischenräume

Tabelle 23 Festlegung des Beschädigungsgrades

Beschädigungsgrad	Äußerliches Erscheinungsbild	Folgerungen
1	- Lokale Brand- bzw. Trockenstellen	- einzelne Austrocknungserscheinungen bedingt durch Minderbewuchs oder Nährstoffarmut - keine statischen Auswirkungen
2	- großflächige Brand- bzw. Trockenstellen (> ∅ 2,0 m)	- Austrocknungserscheinungen durch längere Trockenzeiten und daraus resultierenden Minderbewuchs - evtl. durch Vandalismus - temporär keine statischen Auswirkungen
3	- ganzheitlicher Abbrand der Begrünung bzw. der Begrünungsmatten - Freiliegen der Stahlgitterbewehrung	- vollständige Austrocknung der Begrünung durch sehr lange Trockenzeiten - weder Primär- noch Sekundärbegünung vorhanden - Boden evtl. nährstoffausgelaugt - Abbau der Scherfestigkeiten in den oberflächennahen Bereichen - zusätzliche Gefahr des Festigkeitsverlustes in oberen Bodenschichten durch Wühlmäuse
4	- wie Beschädigungsgrad 3, jedoch zusätzlich Erkennen von leichten Verformungen an der Böschungsfront - Abbröseln von oberflächennahen Bodenmaterial - Beschädigungen (Lochbrandstellen an Geokunststoffen)[12]	- Austrocknung der Böschungsfront mit Folge des Abbrandes dieser aufgrund sehr langer Trockenzeiten oder Vandalismus - Boden ist ausgelaugt - Abbau der Scherfestigkeiten über oberflächennahen Bereich hinaus - Verlust der Standfestigkeiten im vorderen Böschungsbereich - Geokunststoffbewehrung liegt nicht mehr, wie statisch erforderlich, straff im Stützkörper
5	- wie Beschädigungsgrad 3, jedoch zusätzlich Erkennen von größeren Verformungen und Rutschungen in der Böschungsfront - große Beschädigungen (Lochbrandstellen an Geokunststoffen)[13] - Verlust großer Mengen Oberbodenmaterials und Füllboden	- Austrocknung der Böschungsfront mit Folge des Abbrandes dieser aufgrund sehr langer Trockenzeiten oder Vandalismus - nahezu vollständiger Verlust des Mutterbodenkeils - Abbau der Scherfestigkeiten über oberflächennahen Bereich hinaus bis in Füllbodenbereich hinein - Verlust der Standfestigkeiten bis mehrere Meter tief in die Böschung - Geokunststoffbewehrung liegt nicht mehr, wie statisch erforderlich, straff im Stützkörper
6	- Einsturz der Stützkonstruktion	- Austrocknung der Böschungsfront mit Folge des Abbrandes dieser aufgrund sehr langer Trockenzeiten oder Vandalismus - vollständiger Verlust des Mutterbodenkeils - vollständiger Verlust der Scherfestigkeiten im Stützkörper - Verlust der Standfestigkeit der gesamten Stützkonstruktion

6.2.2 Untersuchung und Sanierung der KBE-Konstruktion

Zusätzliche Untersuchungen am Bodenmaterial der Konstruktion erweisen sich sehr schwierig, da durch die Ausbildung eines KBE-Körpers die Böschungsfront mit der Ausbildung einer Umschlagbewehrung die Gewinnung von Bodenproben sich nahezu als unmöglich erweist. Gerade, wenn diese Böschungsfront noch durch eine

[12] detaillierte Erläuterungen in Tabelle 21
[13] detaillierte Erläuterungen in Tabelle 21

engmaschige Begrünungsmatte verkleidet ist, kann das Probenmaterial nicht auf konventionelle Weisen gewonnen werden.
Aufgrund der erwähnten Schwierigkeiten und der Relevanz der Gewinnung von Bodenproben, sollte derartiges Probenmaterial erst ab dem Beschädigungsgrad 3 entnommen werden, da erst ab hier mit Scherfestigkeitsverlusten zu rechnen ist. Die Beschädigungsgrade 1 und 2 beschränken sich nur auf Beschädigungen des optischen Erscheinungsbildes und lassen zumeist andere Ursachen, als die in Tabelle 22 erwähnten, ausschließen.
Somit hängen auch die Untersuchungen an der geschädigten Stützkonstruktion eng mit dem Grad der Beschädigung zusammen, da diese auch erst ab einem bestimmten Beschädigungsgrad möglich werden. Dementsprechend wird der bei der Sanierung häufig notwendige Rückbau der Konstruktion auch zwingend erforderlich für die Gewinnung verschiedenen Bodenmaterials. Des weiteren werden dadurch zusätzliche Untersuchungen, wie z. B. Aufschlüsse ermöglicht, und es können Aussagen über den grundsätzlichen Materialaufbau und die Tiefenlage von eventuellen Gleitfugen gegeben werden. Um die Rutschausdehnung (z. B. ab Beschädigungsgrad 5) sowie die tiefste Lage gleitender Bodenschichten eindeutig festzustellen, können Verschiebungsmessungen in Inklinometerrohren notwendig sein [44].
Um die Vorgehensweise bei der Sanierung von KBE-Konstruktionen festlegen zu können, sind demnach das Zusammenspiel des äußeren Erscheinungsbildes, Untersuchungen der vorhandenen Konstruktion und die daraus gewonnenen Ergebnisse von entscheidender Bedeutung. Zur übersichtlichen Darlegung dieser Faktoren soll Tabelle 23 dienen.
Besondere Beachtung bei der Teilsanierung eines KBE-Stützkörpers (ab Beschädigungsgrad 4) gilt dabei dem neuen Bodeneinbau. Es darf keinesfalls der alte, durch die Rutschungen und Verformungen mit dem Mutterboden vermischte Füllboden wieder als neuer Füllboden in die zu sanierende Konstruktion eingebaut werden. Lediglich der von der Beschädigung unbetroffene Füllboden im hinteren Bereich der Böschung darf in Absprache mit dem Bauleiter und nach ausreichenden Laboruntersuchungen bei Eignung auch als Füllboden wieder verwendet werden.
Als Alternative zu einem Rückbau der Konstruktion kann hier auch eine Sanierung in Form einer Kombination aus Bodenvernagelung und Geogittern vorgeschlagen werden. Dabei sollen die Erdnägel die Zugkräfte übernehmen, die durch die Geogitter aufgrund der Beschädigungen an der Böschungsfront nicht mehr aufgenommen werden können. Bei der Sanierung sollen kleinere Beschädigungsstellen wie in Beschädigungsgrad 4 mit neuen Geogittern ausgebessert und mit den unbeschädigten Geogittern verbunden werden. Bei größeren Schäden sind neue Geogitterlagen über mindestens 2 Lagenhöhen auf die beschädigten Geogitter hinwegzuführen und in der Mitte der Lagenhöhe mit zehn Zentimetern Überlappung mit den beschädigten bzw. einem weiteren neuen Geogitter durch Nähen zu verbinden. Alle zwei Lagen ist dann, wie in Abbildung 19 ersichtlich, das Geogitter zusammen mit der neu aufzubringenden Begrünungsmatte mit einem Erdnagel zu befestigen, der dann die Zugkräfte im Boden übernehmen soll.
Vor einer Teilsanierung der Konstruktion nach den ursprünglichen Planungsunterlagen bzw. nach den bei den Laboruntersuchungen gewonnenen Erkenntnissen, sind diese auch auf ihre Anwendbarkeit auf die beschädigte Konstruktion hin zu überprüfen. Das heißt, dass durch den ausführenden Ingenieur zu prüfen ist, ob die so vorhandene Konstruktion den gegebenen Einwirkungen auch wirklich widerstehen kann oder ob nicht bereits in der ursprünglichen Planung Fehler gemacht wurden, so dass ein Versagen der Konstruktion aufgrund planerischer Fehler ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 24 Zusammenhang zwischen Beschädigungsgrad, weiterer Untersuchungen und Sanierung

Beschädi-gungsgrad	weitere Untersuchungen	Sanierung
1	- evtl. Untersuchung des Mutterbodens auf Nährstoffgehalt	- Begrünungssanierung im Anspritzverfahren mit Beigabe von Dünger und mineralischen oder organischen Substrat zur Bodenbildung - Anlage von temporären, falls erforderlich permanenten Bewässerungssystemen
2	- Untersuchung des Mutterbodens auf Nährstoffgehalt - Bestand der Sekundärbegrünung	- wie Beschädigungsgrad 1 - wo erforderlich Nachpflanzung von Sekundärbegrünung
3	- Untersuchung des Mutterbodens auf Nährstoffgehalt und organische Beimengungen	- vollständiger Rückbau evtl. beschädigter Begrünungsmatten und „Vegetationsreste“ - Einbau neuer Begrünungsmatten, dabei auf Verbund mit Stahlgitterschalung achten - Begrünung im Anspritzverfahren mit Beigabe von Dünger und mineralischen oder organischen Substrat zur Bodenbildung - Sekundärbegrünung vollständig erneuern - Anlage von temporären, falls erforderlich permanenten Bewässerungssystemen
4	- Entnahme von Bodenproben, möglichst auch Füllboden - je nach Möglichkeit Untersuchungen zu Lagerungszustand, Scherfestigkeit und Wiederverwendbarkeit vorhandenen Füllbodenmaterials - Einsicht von Planungsunterlagen	- temporärer Schutz vorhandener Verkehrswege vor Abrieseln von Oberbodenmaterial - Rückbau der beschädigten Geokunststoffe einschließlich Schalung, Begrünungsmatte sowie Füll- und Mutterboden von Böschungskrone abwärts - Ersatz dieser durch neues geeignetes Material - Weiter Vorgehen wie bei Beschädigungsgrad 3 - Alternative zu Rückbau: Kombination mit Vernagelung (s.a. Abb.19)
5	- wie Beschädigungsgrad 3	- Sperrung vorhandener Verkehrswege - weiter analog Beschädigungsgrad 4 - Alternative zu Rückbau: Kombination mit Vernagelung (s.a. Abb.19)
6	- Untersuchungen der Untergrundverhältnisse - Proctorversuche für evtl. wieder verwendbare Materialien	- Sperrung vorhandener Verkehrswege - Räumung der Gefahrenstelle und Entsorgung nicht wiederverwendbaren Materials - vollständiger Neubau der Konstruktion - Überlegungen zu Konstruktionsalternativen falls erforderlich

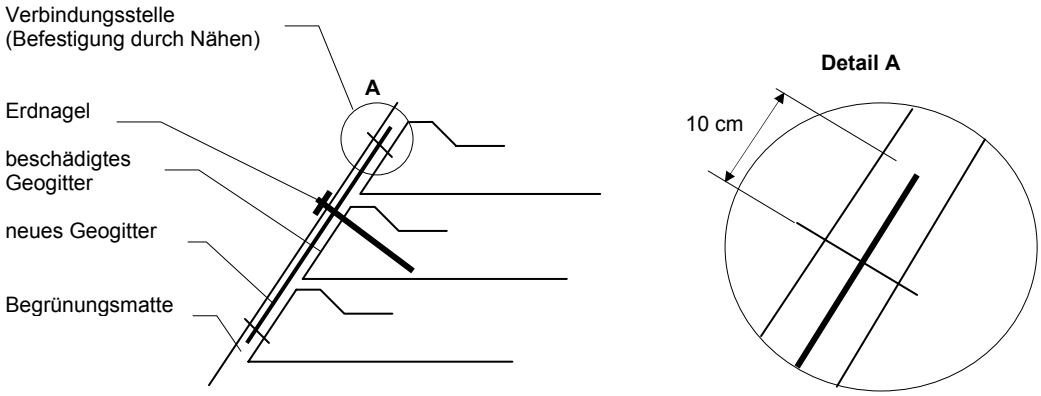


Abbildung 19 Sanierung mit Vernagelung

6.3 Zusammenfassung

Ein allgemeines Rezept für eine Sanierung einer mit Kunststoffen bewehrten Stützkonstruktion kann aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren, die eine Beschädigung dieser hervorrufen können, nicht gegeben werden. Wie in vorangestellten Tabellen deutlich gemacht, ist diesbezüglich die Kenntnis verschiedener Parameter erforderlich. Dabei kommt es vor allem auch auf die Fachkenntnis begutachtender Ingenieure an, welche Form der Sanierung sich als die günstigste erweist, ob nicht ein Neubau oder gar eine Alternativkonstruktion von Vorteil wäre.
Somit bleibt die Sanierung einer KBE-Konstruktion immer ein Einzelfall – sowohl standort- als auch einflussabhängig – und ist nicht in pauschaler Form auf andere Systeme übertragbar. Deshalb sollte gerade eine Sanierung besonders sorgfältig durchgeführt werden, um Wiederholungsfehler nach Möglichkeit für lange Zeiträume vermeiden zu können.

7 Literaturverzeichnis

[1] BAUER, ANDREAS
Der Einfluss der Verbundwirkung zwischen Boden und Geotextil auf das Verformungsverhalten von bewehrten Steilböschungen
Herausgegeben von Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Floss, Lehrstuhl und Prüfamt für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der TU München, Schriftenreihe Heft 26, 1997

[2] HEROLD, ANDREAS; HOY, GERHARD; ARTMANN, STEFANIE
Ansätze zur Begrünung kunststoffbewehrter Stützkonstruktionen
Geotechnik Jg.23 (2000) Nr. 2

[3] WILMERS, WILHELM
Zur Frage der Beständigkeit von Geokunststoffen
Geotechnik Jg.20 (1997) Nr. 2

[4] MÜLLER, STEFFEN
Beitrag zur Außenhaut von begrünbaren geokunststoffbewehrten Steilböschungen
Bauen mit Textilien Heft 3/2000

[5] KERSKEN - BRADLEY, MARITA; KORDINA, KARL
Der Ingenieurbau: Grundwissen
Bauphysik, Brandschutz (Bd. 7)
Herausgegeben von Gerhard Mehlhorn, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997

[6] DIN: DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
Grundlagendokumente zur Bauprodukten-Richtlinie: deutsch – englisch – französisch: Grundlagendokumente der Richtlinie des Rates 89/106/EWG
Beteiligt: Meyer, Hans – Gerd; Berlin 1994

[7] POLTHIER, KONRAD
Vorbeugender Brand- und Explosionsschutz, Methoden – Mittel – Maßnahmen
Herausgegeben von Erwin Lemke, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart – Berlin – Köln, 1998

[8] ROTHE, DIETER
Die Praxis der Brandlastermittlung
Schadensprisma Bd.22 (1993) Heft 3

[9] DIN 18230
Baulicher Brandschutz im Industriebau

[10] DIN 4102
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

[11] GUPTA, H.B.P.; JOHANNABER, F.; KOSLOWSKI, H.-J.; MÖHLER, H.; NAARMANN, H.; SCHWARZ, O.; WOEBCKEN, W.
Kunststoff – Lexikon
Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wilbrand Woebcken, Carl Hanser Verlag München Wien, 1998

[12] HELLERICH, W.; HARSCH, G.; HAENLE, S.
Werkstoff – Führer Kunststoffe: Eigenschaften, Prüfungen, Kennwerte
Carl Hanser Verlag München Wien, 2001

[13] HAMBERGER, WOLFGANG
Erweichen und Schmelzen von Thermoplasten
Brandschutz / Deutsche Feuerwehr – Zeitung (1994) Nr. 11

[14] DOMININGHAUS, HANS
Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften
Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1998

[15] OBERBACH, KARL
Kunststoff – Taschenbuch
Saechtling, Carl Hanser Verlag München Wien, 1998

[16] HEROLD, ANDREAS
Überblick über den derzeitigen Wissensstand zum Thema: Geokunststoffe unter dynamischen Lasteintrag
Literaturauswertung, Weimar 1995

[17] FLOSS, RUDOLF
ZTVE – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
Kirschbaum Verlag Bonn, 1997

[18] WESCHE, JÜRGEN
Europäische Prüfung und Klassifizierung von Bauteilen und geplante Übergangsregelungen
Kurzreferate Braunschweiger Brandschutztage 1997

[19] VORSCHRIFT
Bauregelliste A, Bauregelliste B und Bauregelliste C – Ausgabe
Mitteilungen des DIBt, Sonderheft 2001 Nr. 24, Jg. 32

[20] BÖCKENFÖRDE, DIETER; TEMME, HEINZ – GEORG; KREBS, WINNIFRIED
Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland
Werner Verlag GmbH & Co. KG, 1999

[21] DIN 1045
Beton und Stahlbeton

[22] DIN 1052
Holzbauwerke

[23] DIN 1053
Mauerwerk

[24] DIN 18 183
Montagewände aus Gipskartonplatten, Ausführung von Metallständerwänden

[25] PUBLIKATION
Geo- und Bautextilien IV: Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Geokunststoffe nimmt in Kürze Arbeit auf
t – Information 2001 Nr.2, Herausgegeben vom Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. Chemnitz

[26] OSWALD, EDUARD, Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
Bekanntmachung der Neufassung des Bauproduktengesetzes
Bundesgesetzblatt Jg.1998 Teil 1, Nr.25, ausgegeben zu Bonn am 8. Mai 1998

[27] DIN: DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
Bauprodukten – Richtlinie: Artikel 11, 13, 14, 15

[28] DIN EN 12225: 2000
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte: Prüfverfahren zur Bestimmung der mikrobiologischen Beständigkeit durch einen Erdeingrabungsversuch

[29] DIN EN 12226:2000
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte: Allgemeine Prüfverfahren zur Bewertung nach Beständigkeitsprüfungen

[30] DIN EN ISO 10320
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte: Identifikation auf der Baustelle

[31] DIN EN 13253: 2000
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte: Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erosionsschutzanlagen

[32] BECK – TEXTE im dtv
VOB / VOL, HOAI
Verlag C. H. Beck, München 1999

[33] DIN V ENV ISO 13438:1999
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte: Auswahlprüfverfahren zur Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit

[34] FIRMA A
Produktunterlagen
Deutschland, 2001

[35] FIRMA B
Produktunterlagen
Deutschland, 2001

[36] DIN EN 963 : 1995
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte: Probenahme und Vorbereitung der Messproben

[37] HENNE, JÜRGEN
Zur Bewehrung von Bodenschichten durch Einsatz zugfester Geokunststoffe
Institut für Geotechnik Stuttgart, Mitteilung 34, 1995

[38] DIN EN 1363-1
Feuerwiderstandsprüfungen: Teil 1: Allgemeine Anforderungen

[39] DIN EN 60584-1
Thermopaare – Teil 1: Grundwerte der Thermospannungen

[40] DIN EN ISO 6941: 1995
Kleinbrenner

[41] DIN EN ISO 10319
Zugversuch am breiten Streifen

[42] SCHLÜTER, UWE
Ingenieurbiologische Baumaßnahmen an Straßen unter besonderer Berücksichtigung von Ansaaten mit Begrünungshilfen
Straße und Tiefbau Jg.33 (1979) Nr.7

[43] HORSTMANN, JOHANN; JAS, HEIN
Natürliche Lärmschutzwälle und Hangsicherungsmaßnahmen
Straße und Tiefbau Jg.50 (1996) Nr.12

[44] HILMER, KLAUS
Schäden im Gründungsbereich
Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1991

[45] SCHNEIDER, KLAUS – JÜRGEN
Bautabellen für Ingenieure mit europäischen und nationalen Vorschriften
Werner Verlag, 12. Auflage, Düsseldorf 1996

Allgemein verwendete Literatur

DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO
Ernst & Sohn – Verlag, Berlin 1997

WILMERS, WILHELM
Checklisten für den Einsatz von Geotextilien und Geogittern im Erdbau für den Straßenbau
Straße + Autobahn Jg.50 (1999) Nr. 9

THAMM, BERND
Berechnung und Dimensionierung von Erdkörpern mit Bewehrungseinlagen aus Geokunststoffen
Geotechnik Jg.20 (1997) Nr.2

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau
Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus
überreicht durch den ivg – Industrieverband Geokunststoffe, Ausgabe 1994

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau
Checklisten für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus
überreicht durch den ivg – Interessenverband Geokunststoffe, Ausgabe 1999

WITT, K. J.; RÜTZ, D.; SCHMIDT, H. – G.; WENDT, R.
Wissensspeicher Geotechnik
Bauhaus – Universität Weimar, Studienunterlagen Geotechnik, 11.Auflage, Weimar, 1999

BECK – TEXTE im dtv
BGB
Verlag C. H. Beck, München 1999

8 Anlagen

8.1 Rechtsgrundlagenverzeichnis 119

8.1.1 Strafgesetzbuch – Allgemeiner Teil 119

8.1.2 Strafgesetzbuch – Besonderer Teil 119

8.2 Sieblinienbereiche 0/32 und 0/45 119

8.3 Datenblätter der Firmen A und B 120

8.4 Probenahmebericht 121

8.5 Auto-Cad-Konstruktionszeichnungen zu den Probekörpern 122

8.5.1 Halterungsvorrichtung für Proben im uneingebauten Zustand: Seiten- und Vorderansicht 123

8.5.2 Halterungsvorrichtung für Proben im uneingebauten Zustand: Draufsicht 124

8.5.3 Versuchsstufe 1: Schnitt durch den Probekörper 125

8.5.4 Versuchsstufe 1: Ansichten des Probekörpers 126

8.5.5 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Schnitt durch den Probekörper 127

8.5.6 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Ansichten des Probekörpers 128

8.5.7 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Thermoelemente Draufsicht 129

8.5.8 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Thermoelemente Schnitt 130

8.5.9 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Wegaufnehmer 131

8.6 Versuchsprotokolle 132

8.6.1 Versuch im uneingebauten Zustand 132

8.6.2 Versuchsreihe 1 135

8.6.3 Versuchsreihe 2 137

8.6.4 Versuchsprotokolle mit erfassten Daten 144

8.7 Darstellung Brenner nach DIN EN ISO 6941: 1995 162

9 Selbständigkeitserklärung 163

8.1 Rechtsgrundlagenverzeichnis

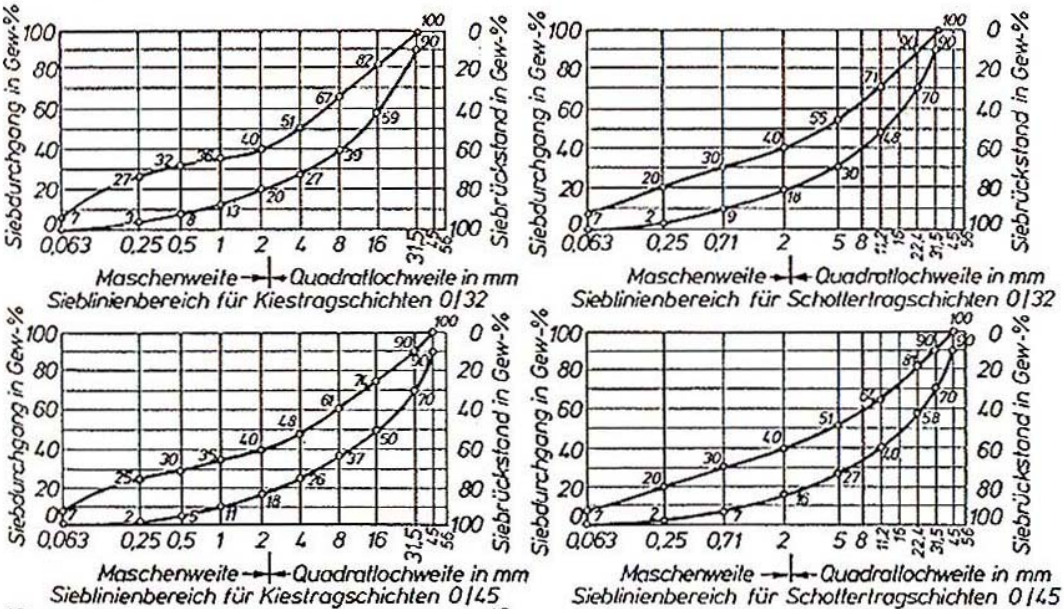
8.1.1 Strafgesetzbuch – Allgemeiner Teil

§ 13 StGB - Begehen durch Unterlassen
§ 14 StGB - Handeln für einen anderen
§ 15 StGB - Vorsätzliches und fahrlässiges Handeln
§ 16 StGB - Irrtum über Tatumstände
§ 17 StGB - Verbotsirrtum [7]

8.1.2 Strafgesetzbuch – Besonderer Teil

§ 145 StGB - Missbrauch von Notrufen und Beeinträchtigung von Unfallverhütungs- und Nothilfemitteln
§ 211 StGB - Mord
§ 222 StGB - Fahrlässige Tötung
§ 223 StGB - Körperverletzung
§ 230 StGB - Fahrlässige Körperverletzung
§ 265 StGB - Versicherungsbetrug
§ 303 StGB - Sachbeschädigung
§ 304 StGB - Gemeinschädliche Sachbeschädigung
§ 305 StGB - Zerstörung von Bauwerken
§ 305aStGB- Zerstörung wichtiger Arbeitsmittel
§ 306 StGB - Schwere Brandstiftung
§ 307 StGB - Besonders schwere Brandstiftung
§ 308 StGB - Brandstiftung
§ 309 StGB - Fahrlässige Brandstiftung
§ 310 StGB - Tätige Reue
§ 310aStGB- Herbeiführen einer Brandgefahr
§ 323 StGB - Baugefährdung [7]

8.2 Sieblinienbereiche 0/32 und 0/45



[45]

8.3 Datenblätter der Firmen A und B

Eigenschaften *[Prüfnormen]*		Einheit	20/20	35/35	55/55	80/80	55/30	80/30	110/30
Art des Produktes		-	Geogitter aus hochzugfesten Polyester-Garnen						
Material		-	Hochzugfeste PET Garne mit polymerer Schutzbeschichtung						
Höchstzugkraft (T_{ult})	längs	kN/m	20	35	55	80	55	80	110
[ISO 10319]	quer	kN/m	20	35	55	80	30	30	30
Dehnung	längs	%	15	15	15	15	15	15	15
[ISO 10319]	quer	%	15	15	15	15	15	15	15
Zugfestigkeit									
bei 2%		kN/m	3,3	7,1	9,1	15,7	9,1	15,7	16,6
bei 3%	längs	kN/m	4,4	8,5	11,5	19,6	11,5	19,6	23,1
bei 5%		kN/m	5,7	10,2	14,0	24,2	14,0	24,2	30,4
bei 10%		kN/m	12,4	21,0	26,1	38,8	26,1	38,8	44,0
[ISO 10319]									
Langzeitfestigkeit - 120 Jahre *)		kN/m	10,5	18,4	28,9	42,1	28,9	42,1	57,9
Bemessungs-Festigkeit (LTDS) 120 Jahre **)		kN/m	6,3	11,0	17,2	25,1	17,2	25,1	34,5
Maschenweite	längs	mm	35	35	25	25	25	25	25
(jeweils ± 5 mm)	quer	mm	35	35	25	25	25	25	25

Abbildung 20 Datenblatt der Firma A [34]

1 Rolle: 1,0 m x 10 lfm **Gittergewebe aus Glasfaser** mit schwer entflammbarer Ausrüstung, **Typ** Firma B

1 Rolle: 3,7 m x 10 lfm Firma B **-Geogitter aus PVA** in Längsrichtung, **Typ** "b"

Abbildung 21 Informationsschreiben der Firma B [35]

8.4 Probenahmebericht

Die Probenahme und die Vorbereitungen der Messproben wurde angelehnt an die DIN EN 963: 1995 durchgeführt und in folgenden Protokoll schriftlich festgehalten.

Schneiden:

- Die ersten zwei Lagen der Rolle werden abgerollt und nicht verwendet.
- Schneiden senkrecht zur Maschinenrichtung in erforderlicher Länge
- erster Schnitt erfolgt ab 100 mm Entfernung vom Rollenrand
- jede Probe ist während ihrer Aufbewahrung zur Identifikation deutlich zu kennzeichnen
- Messproben sind vor Staub und Schmutz geschützt aufzubewahren

Hersteller:	**Firma A**		**Firma B**		**Firma C**	**Firma D**		**n. b.**
Typen-bezeichnung:	Geogitter „a“	Glas-faser, besch.	Geogitter „b“	Glas-faser	Glas-faser 4 x 4	Glas-faser 3,5 x 3,5	Glas-faser 6 x 6	Kokos
Datum der Probenahme:	24.10.01	24.10.01	02.11.01	02.11.01	02.11.01			07.11.01
Größe der Probe:	50 x 115		50 x115	50 x 30	50 x 30			50 x 30
Anzahl:	5	2	5	2	2			2
Datum der Probenahme:								
Größe der Probe:	50 x125		50 x125					
Anzahl:	5		5					
Datum der Probenahme:	03.12. 01	03.12. 01	03.12. 01	03.12. 01	03.12. 01	05.12. 01	05.12. 01	03.12. 01
Größe der Probe:	DIN A4	DIN A4	DIN A4	DIN A4	DIN A4	DIN A4	DIN A4	DIN A4
Anzahl:	5	5	5	5	5	5	5	5
Datum der Probenahme:	05.12. 01		14.12.01					
Größe der Probe:	DIN A4		DIN A4, 21 x 48					
Anzahl:	2		jeweils 1					

8.5 Auto-Cad-Konstruktionszeichnungen zu den Probekörpern

8.5.1 Halterungsvorrichtung für Proben im uneingebauten Zustand: Seiten- und Vorderansicht

8.5.2 Halterungsvorrichtung für Proben im uneingebauten Zustand: Draufsicht

8.5.3 Versuchsstufe 1: Schnitt durch den Probekörper

8.5.4 Versuchsstufe 1: Ansichten des Probekörpers

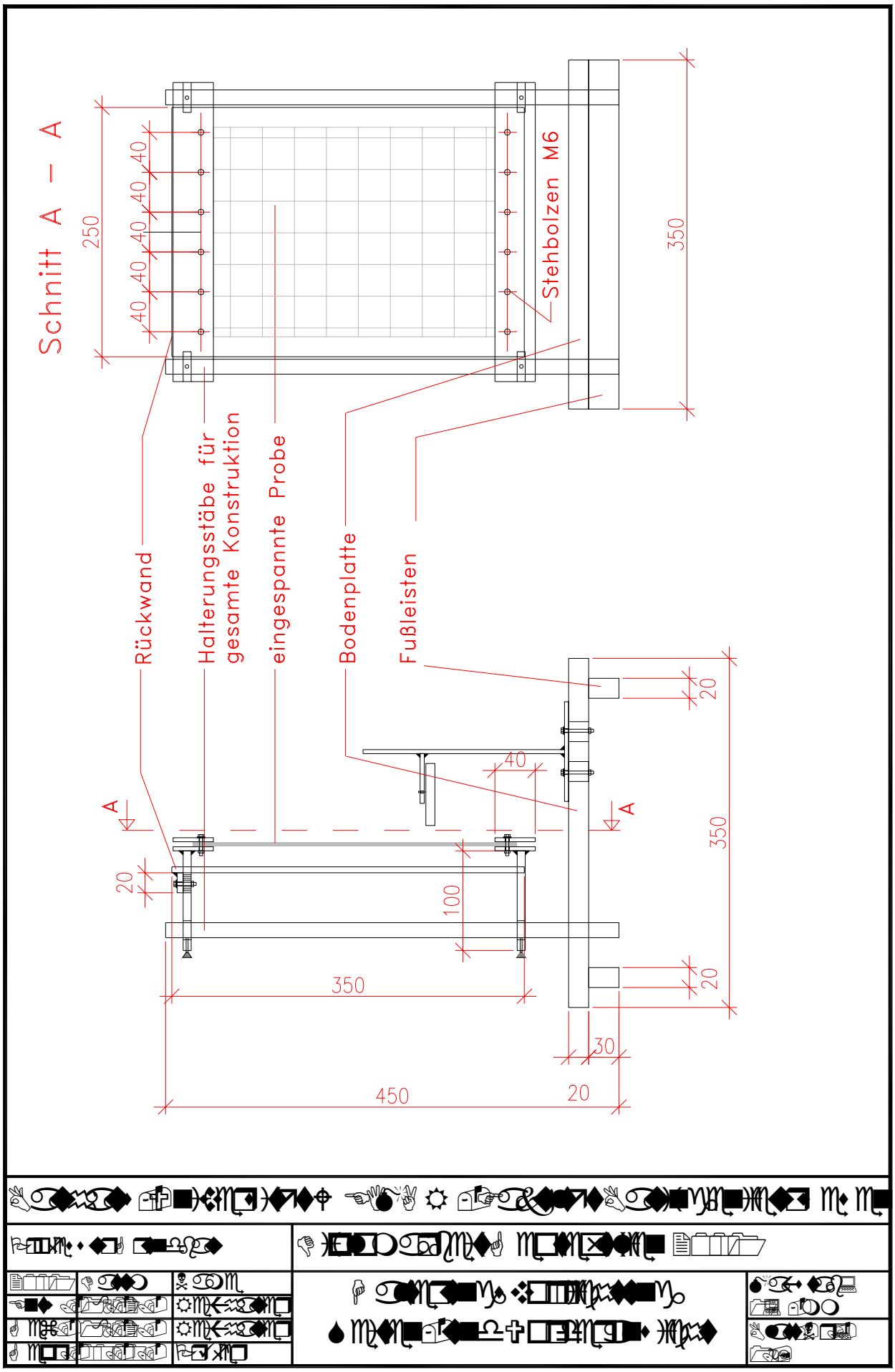
8.5.5 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Schnitt durch den Probekörper

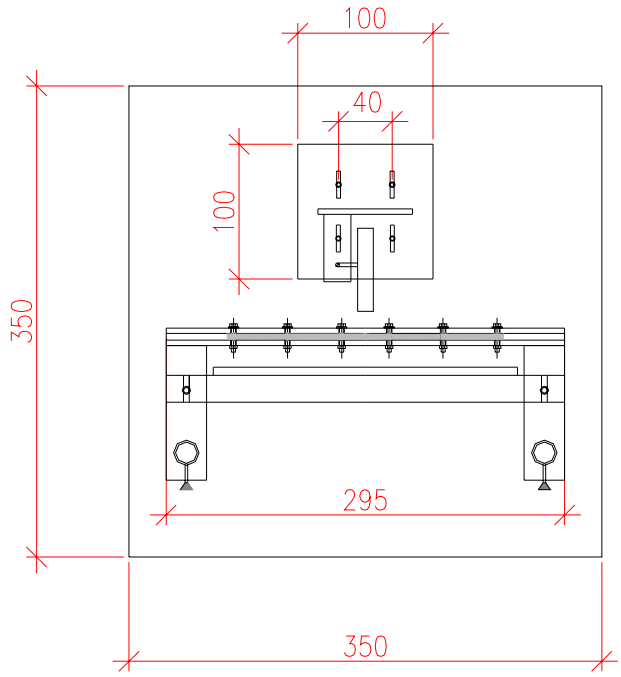
8.5.6 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Ansichten des Probekörpers

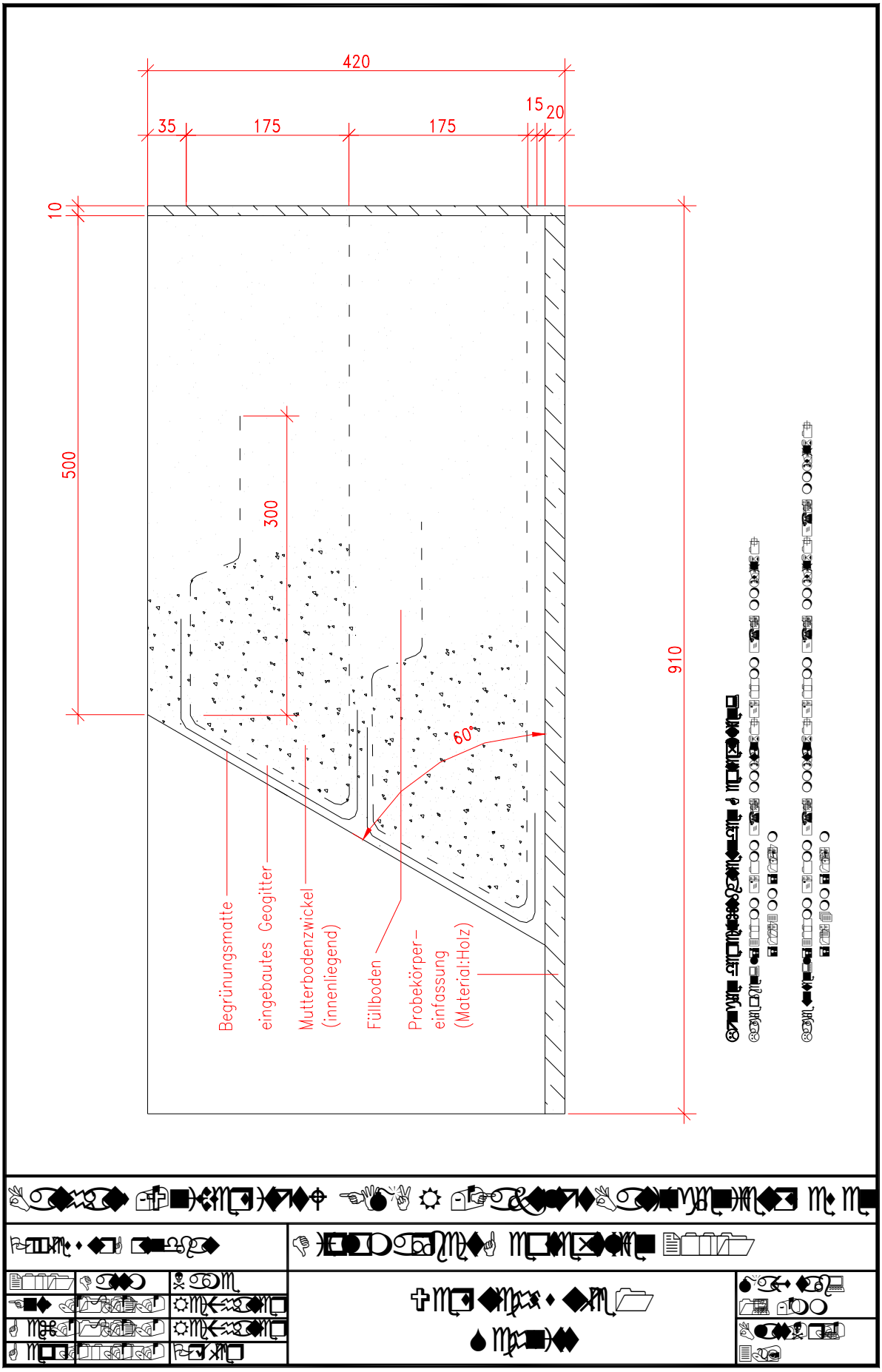
8.5.7 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Thermoelemente Draufsicht

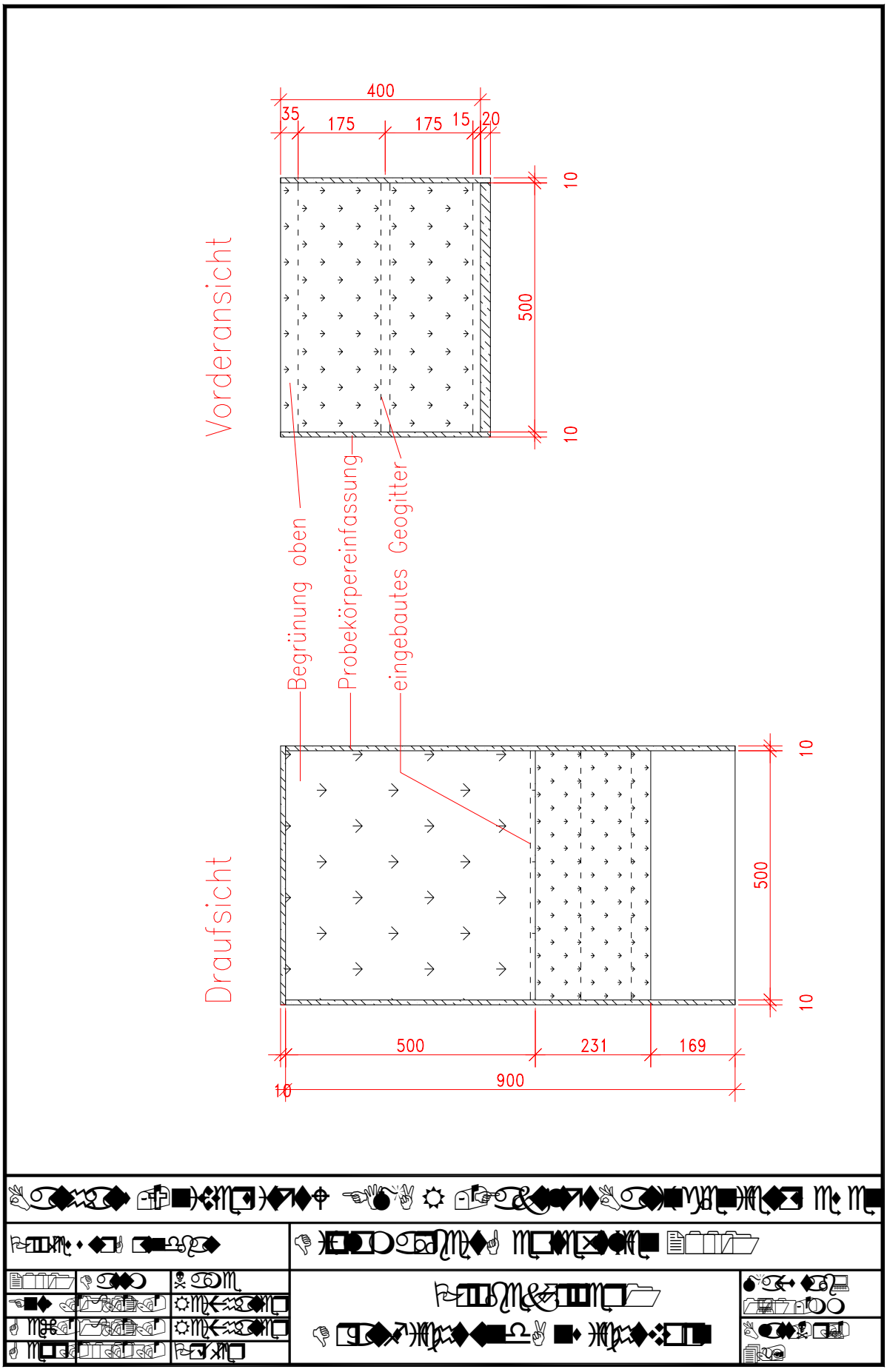
8.5.8 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Thermoelemente Schnitt

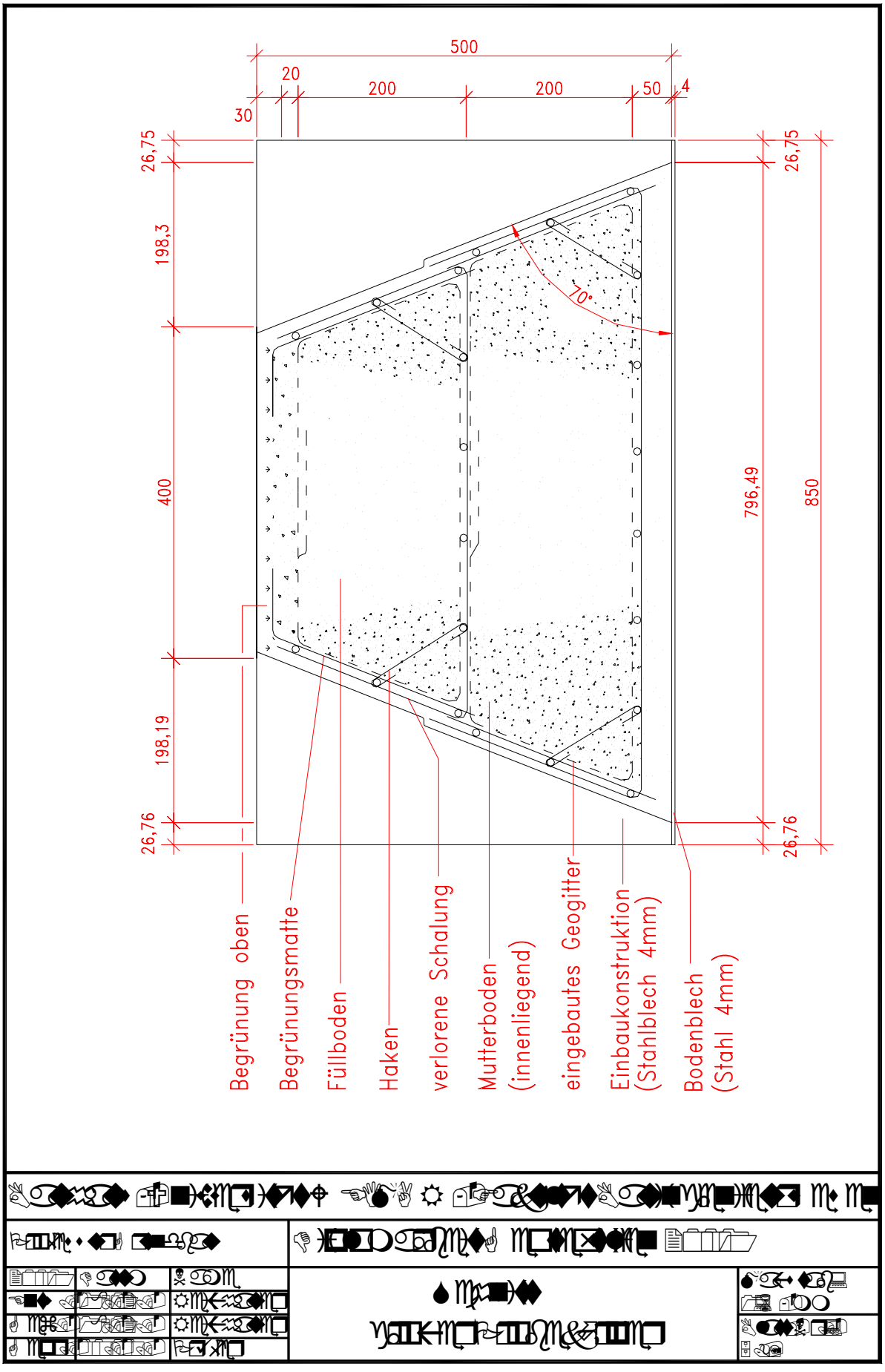
8.5.9 Vorschlag detaillierter Versuchsstufe 2: Wegaufnehmer

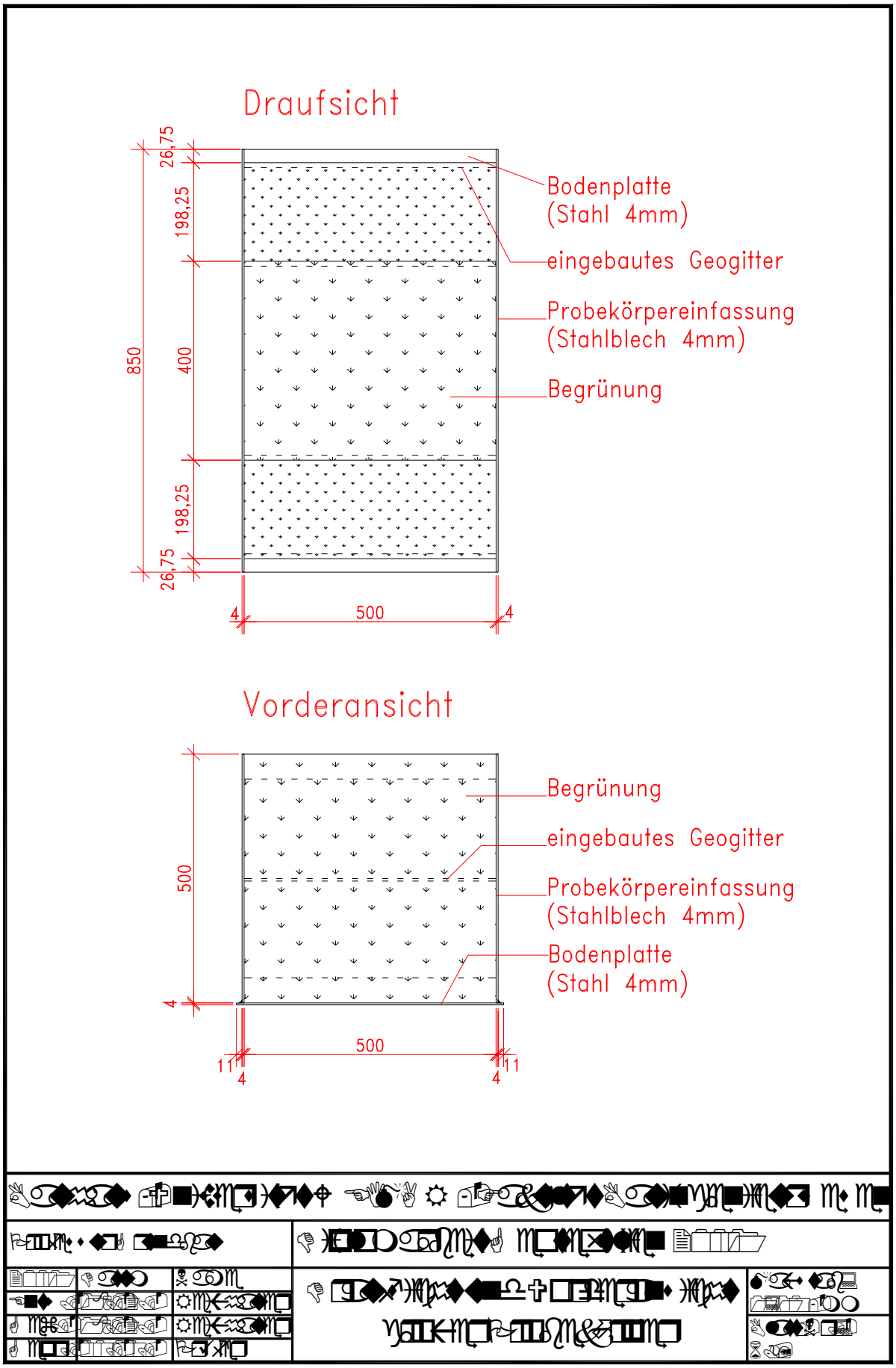

Schnitt A – A
250
40
40
40
40
40
Stehbolzen M6
350
Rückwand
Halterungsstäbe für gesamte Konstruktion
eingespannte Probe
Bodenplatte
Fußleisten
20
40
A
A
350
20
100
350
20
30
450
20

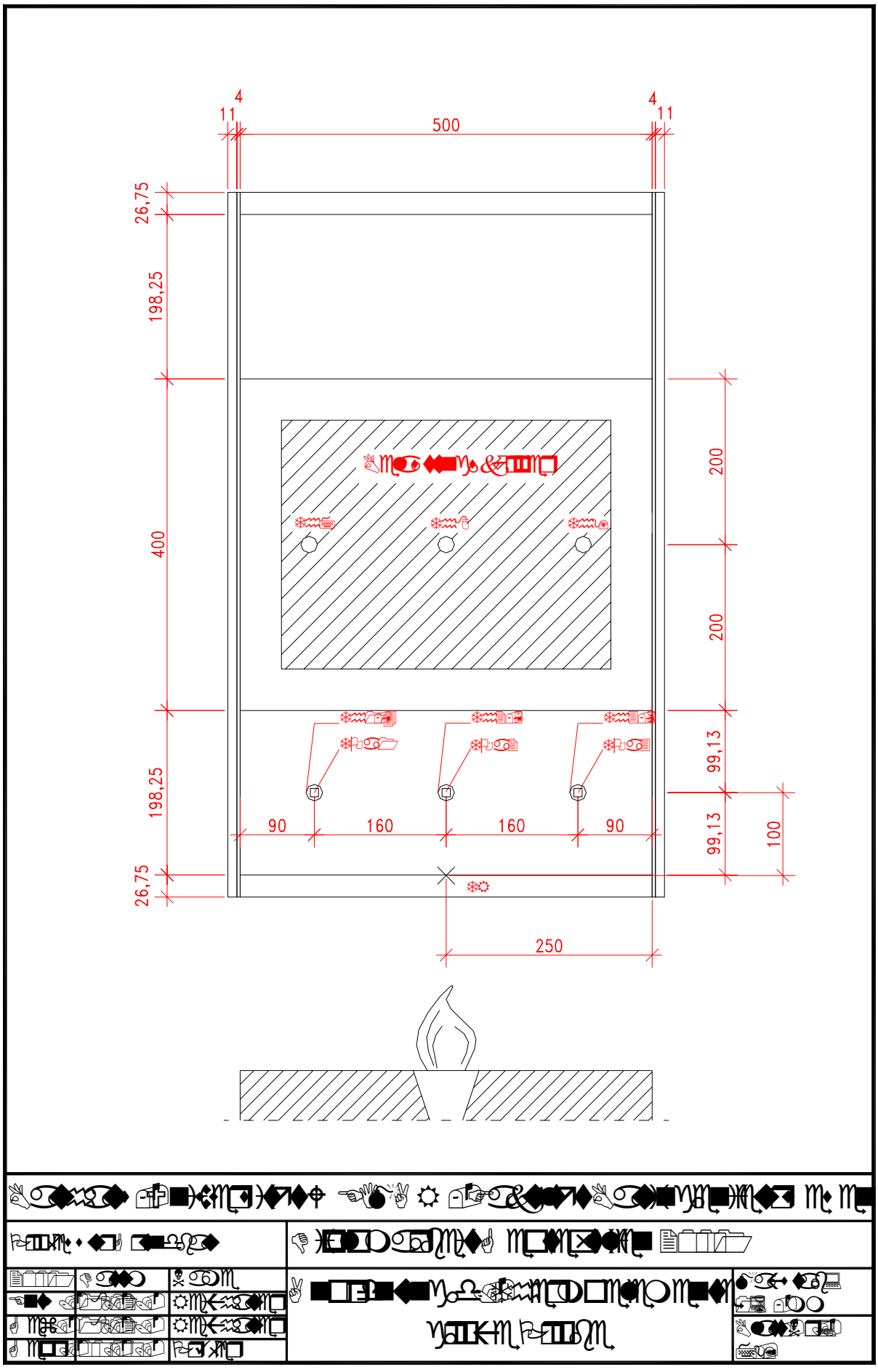

100
40
100
350
295
350

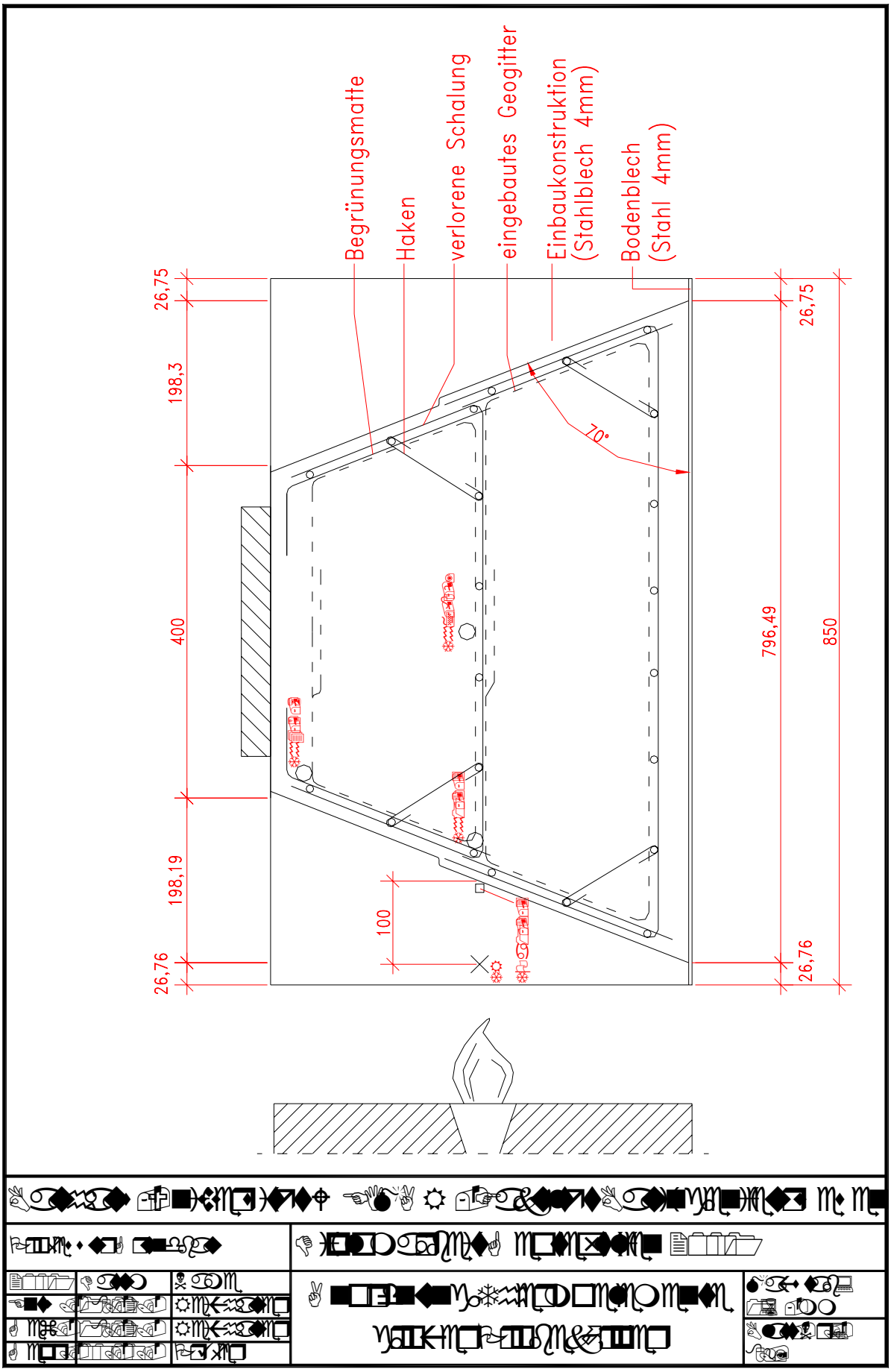

420
35
175
175
15
20
10
500
300
910
60°
Begrünungsmatte
eingebautes Geogitter
Mutterbodenzwickel
(innenliegend)
Füllboden
Probekörper-
einfassung
(Material:Holz)

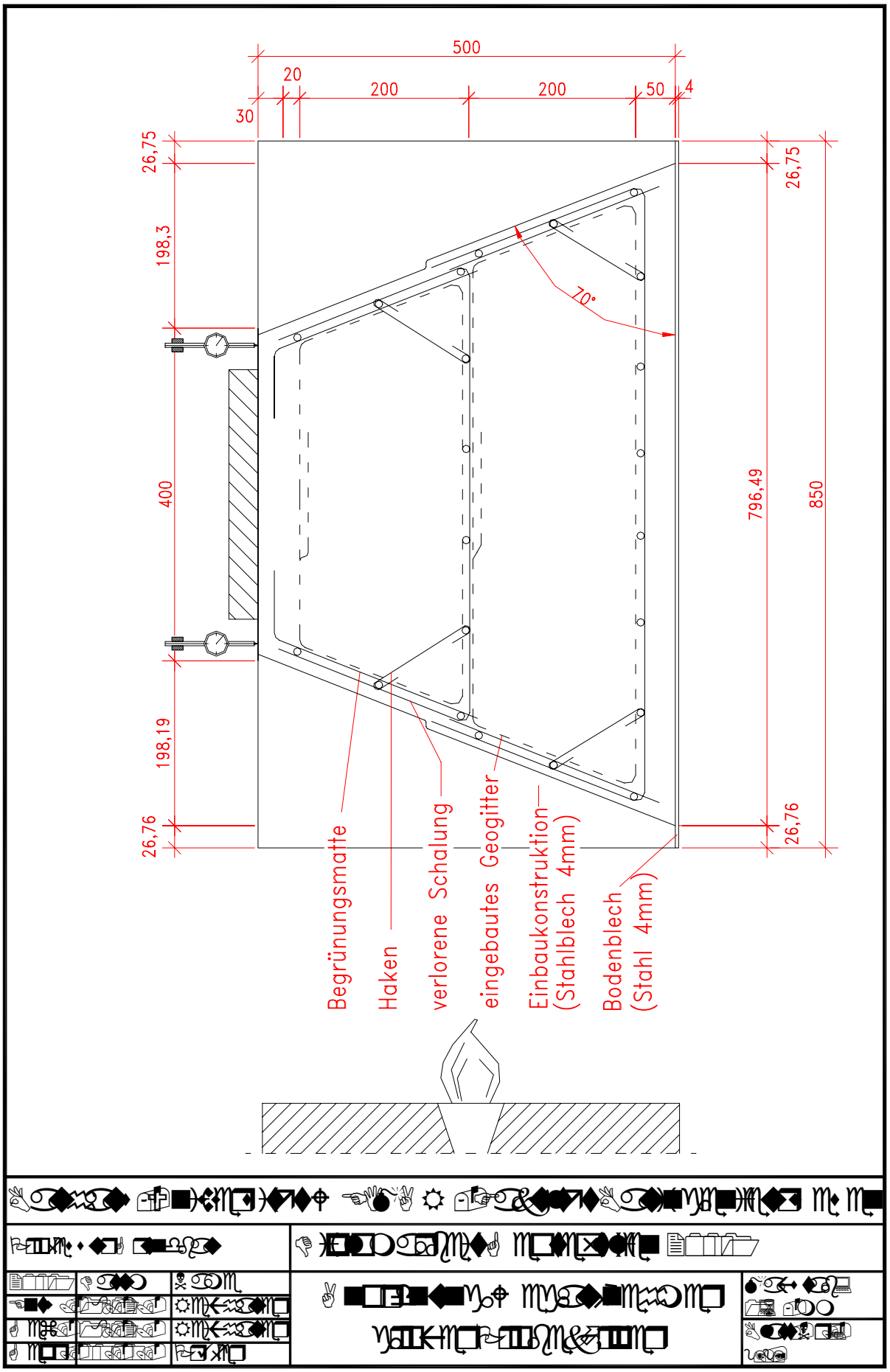

Vorderansicht
400
35
175
175
15
20
10
500
10
Begrünung oben
Probekörpereinfassung
eingebautes Geogitter
Draufsicht
10
500
10
500
231
169
10
900


500
20
200
200
50
4
30
26,75
198,3
400
198,19
26,76
796,49
850
10°
Begrünung oben
Begrünungsmatte
Füllboden
Haken
verlorene Schalung
Mutterboden
(innenliegend)
eingebautes Geogitter
Einbaukonstruktion
(Stahlblech 4mm)
Bodenblech
(Stahl 4mm)


Draufsicht
26,75
198,25
400
198,25
26,75
850
4
500
4
Bodenplatte
(Stahl 4mm)
eingebautes Geogitter
Probekörpereinfassung
(Stahlblech 4mm)
Begrünung
Vorderansicht
500
4
500
11
4
4
11
Begrünung
eingebautes Geogitter
Probekörpereinfassung
(Stahlblech 4mm)
Bodenplatte
(Stahl 4mm)


4
11
500
4
11
26,75
198,25
400
200
200
99,13
198,25
90
160
160
90
99,13
100
26,75
250


Begrünungsmatte
Haken
verlorene Schalung
eingebautes Geogitter
Einbaukonstruktion
(Stahlblech 4mm)
Bodenblech
(Stahl 4mm)
26,75
198,3
400
198,19
26,76
100
70°
796,49
850


500
20
200
200
50
4
30
26,75
198,3
400
198,19
26,76
26,75
796,49
850
26,76
70°
Begrünungsmatte
Haken
verlorene Schalung
eingebautes Geogitter
Einbaukonstruktion
(Stahlblech 4mm)
Bodenblech
(Stahl 4mm)

8.6 Versuchsprotokolle

8.6.1 Versuch im uneingebauten Zustand

Durchführung: nach DIN EN ISO 6941: 1995 [28]

- im Klima bei Temperaturen zwischen 10°C und 30°C und relativer Luftfeuchte zwischen 15% und 80%
- Brenner zünden und zwei Minuten vorwärmen
- Flammenhöhe auf a = (40 ± 2) mm einstellen
  (a = OK Brennerrohr bis Spitze gelben Teils der Flamme bei vertikaler Stellung des Brenners und abgedunkelten Licht)
- Messprobe zwischen Klemmleisten oben und unten so anbringen, dass diese fest einspannt ist
- Klemmleisten so justieren, dass der Abstand zwischen Messprobe und Rückwand 20 mm beträgt

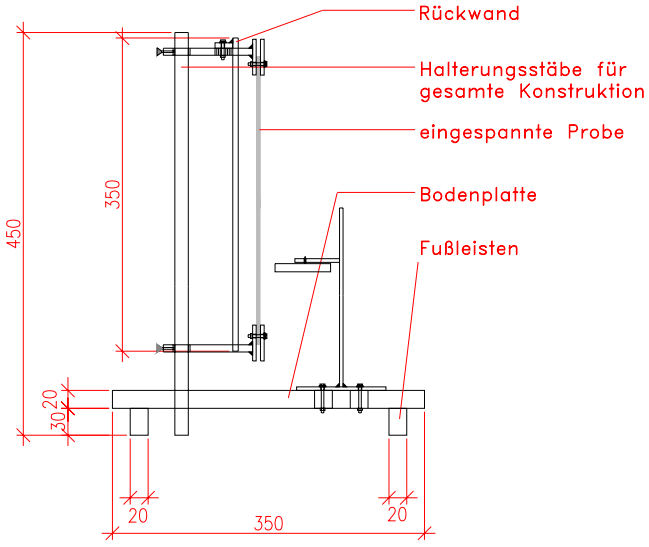


Bild a Anordnung vertikal

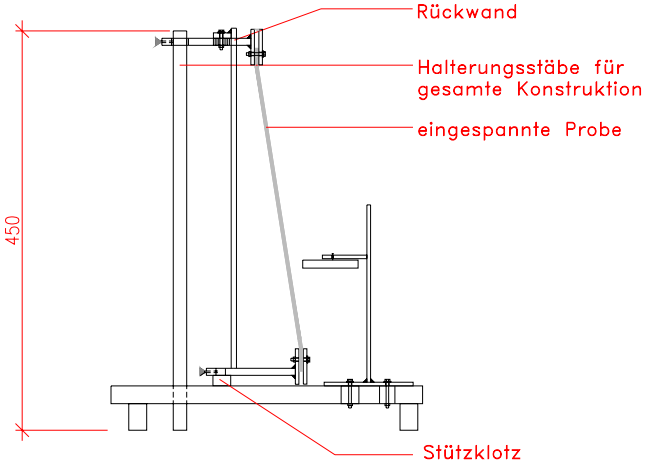


Bild a Anordnung mit Neigung

- Brenner vertikal zur Messprobenoberfläche aufstellen
- Achse des Brenners 20 mm oberhalb der OK untere Klemmleiste auf der vertikalen Mittellinie der Messprobenoberfläche feststellen
- Brennermündung auf 17mm Entfernung von Messprobenoberfläche ausjustieren
- Flamme 5 Sekunden an Messprobe halten
- Zündung hat stattgefunden, wenn Messprobe 5 Sekunden nach Entfernen der Brennerflamme weiterbrennt
- wenn keine Zündung erfolgt, Flamme 15 Sekunden an andere dem Klima angepasste Probe halten
- Folgende Zeiten sollten in Sekunden während der Messung oder nach Sichtung des Digitalfilmmaterials festgehalten werden:
    - gesamte Brenndauer der Probe bis zum Verlöschen der Flamme $\mathbf{d_{Br}}$
    - Nachglimmdauer $\mathbf{d_{Gl}}$
- Zusätzlich sollen folgende Eigenschaften vermerkt werden:
    - größte beschädigte oder verbrannte Breite und größte beschädigte oder verbrannte Länge und deren Position an der Probe (mittig, oben, etc.)
    - ob die Flamme eine vertikale Kante der Messprobe erreicht hat
    - ob ein Loch in die Messprobe geschmolzen oder gebrannt ist
    - ob ein brennendes Teil abgefallen und weitergebrannt ist

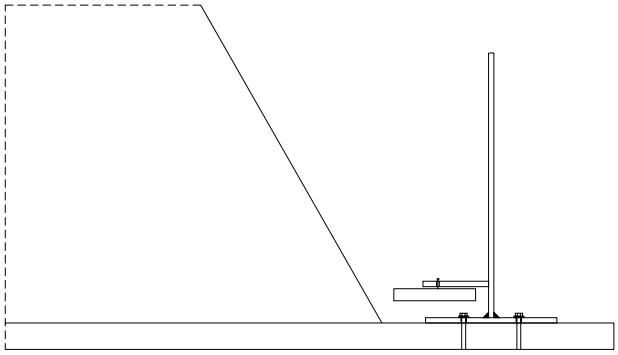
Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		
Bezeichnung der Messprobe:		
Hersteller des Materials:		
Typenbezeichnung:		
Konditionierungsklima:		
Temperatur im Prüfraum:		
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		
verwendetes Gas:		
Brennerorientierung:		
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}		
Brenndauer d_{BR}		
Nachglimmdauer d_{Gl}		
Raum für zusätzliche Bemerkungen		

8.6.2 Versuchsreihe 1

Durchführung: nach DIN EN ISO 6941: 1995 [28]

- im Klima bei Temperaturen zwischen 10°C und 30°C und relativer Luftfeuchte zwischen 15% und 80%
- Brenner zünden und zwei Minuten vorwärmen
- Flammenhöhe auf a = (40 $\pm$ 2) mm einstellen
  (a = OK Brennerrohr bis Spitze gelben Teils der Flamme bei vertikaler Stellung des Brenners und abgedunkelten Licht)



- Brenner mit Verstelleinrichtung von Bodenplatte der Halterungsvorrichtung entfernen
- Brenner vertikal zum Probekörper aufstellen
- Achse des Brenners 20 mm oberhalb der beginnenden Begrünungsmatte bzw. Geogitters auf der vertikalen Mittellinie des Probekörpers feststellen
- Brennermündung auf 17mm Entfernung von Probekörperoberfläche (Erdfläche) ausjustieren
- Flamme 5 Sekunden an Probekörper halten
- Zündung hat stattgefunden, wenn Probekörper 5 Sekunden nach Entfernen der Brennerflamme weiterbrennt
- wenn keine Zündung erfolgt, Flamme so lange an Probekörper halten, bis Zündung erfolgt
- folgende Zeiten sollten in Sekunden während der Messung oder nach Sichtung des Digitalfilmmaterials festgehalten werden:
  - gesamte Brenndauer der Probe bis zum Verlöschen der Flamme $\mathbf{d_{Br}}$
  - Nachglimmdauer $\mathbf{d_{Gl}}$
  - Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $\mathbf{d_{Br,\,V}}$
  - Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $\mathbf{d_{Br,\,Bm}}$
  - Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $\mathbf{d_{Br,\,Gg}}$
- Dabei sollten auch die Stellen, Zeiten des Erscheinens und die Größen der lokalen Abbrandstellen im Protokoll festgehalten werden.
- Zusätzlich sollen folgende Eigenschaften vermerkt werden:
  - größte beschädigte oder verbrannte Breite und größte beschädigte oder verbrannte Länge und deren Position an der Probe (mittig, oben, etc.)
  - ob die Flamme eine vertikale Kante der Messprobe erreicht hat
  - ob ein Loch in die Begrünungsmatten oder Geogitter geschmolzen oder gebrannt ist
  - ob ein brennendes Teil der Begrünungsmatten oder Geogitter abgefallen und weitergebrannt ist

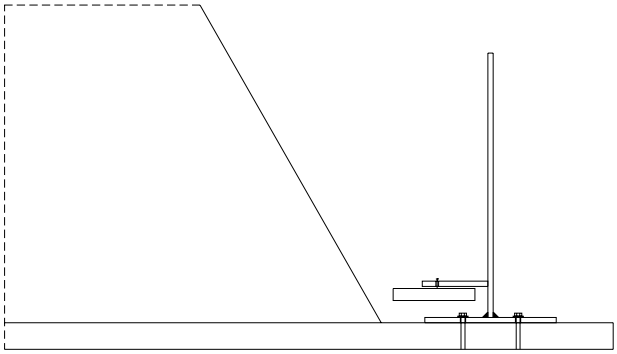
Prüfprotokoll Versuchsreihe 1 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:			
Bezeichnung des Probekörpers:			
Hersteller des Geogitters:			
Typenbezeichnung:			
Hersteller der Begrünungsmatte:			
Typenbezeichnung:			
Konditionierungsklima:			
Temperatur im Prüfraum:			
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:			
Luftdruck im Prüfraum:			
Einbauzustand der Messproben:			
verwendetes Gas:			
Brennerorientierung:			
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**	
zur Entzündung verwendete Zeit $\mathbf{d_{Entz}}$			
Brenndauer $\mathbf{d_{BR}}$			
Nachglimmdauer $\mathbf{d_{Gl}}$			
	Zeit in s	**Stelle**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $\mathbf{d_{Br, V}}$			
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $\mathbf{d_{Br, Bm}}$			
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $\mathbf{d_{Br, Gg}}$			
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

8.6.3 Versuchsreihe 2

Durchführung: nach DIN EN ISO 6941: 1995 [28]

- vor Beginn Überprüfen der Messgeräte:
    - bei evtl. schon aufgetretenen Verformungen, diese an Wegaufnehmern ablesen und protokollieren; Anzeichnen der Verformungen an Probekörperseitenwänden
    - Wegaufnehmer wieder auf Null justieren
    - Ablesen der Thermoelemente und Werte protokollieren
- im Klima bei Temperaturen zwischen 10°C und 30°C und relativer Luftfeuchte zwischen 15% und 80%
- Brenner zünden und zwei Minuten vorwärmen
- Flammenhöhe auf a = (40 $\pm$ 2) mm einstellen
  (a = OK Brennerrohr bis Spitze gelben Teils der Flamme bei vertikaler Stellung des Brenners und abgedunkelten Licht)



- Brenner mit Verstelleinrichtung von Bodenplatte der Halterungsvorrichtung entfernen
- Brenner vertikal zum Probekörper aufstellen
- Achse des Brenners 20 mm oberhalb der beginnenden Begrünungsmatte bzw. Geogitters auf der vertikalen Mittellinie des Probekörpers feststellen
- Brennermündung auf 17mm Entfernung von Probekörperoberfläche (Erdfläche) ausjustieren
- Flamme 5 Sekunden an Probekörper halten
- Zündung hat stattgefunden, wenn Probekörper 5 Sekunden nach Entfernen der Brennerflamme weiterbrennt
- wenn keine Zündung erfolgt, Flamme so lange an Probekörper halten, bis Zündung erfolgt
- Die Prüfung beginnt, wenn die Anzeige irgendeines Thermoelements 50°C übersteigt. Die Zeit ist von diesem Zeitpunkt an zu messen [9].
- folgende Zeiten sollten in Sekunden während der Messung oder nach Sichtung des Digitalfilmmaterials festgehalten werden:
    - Zeit bis zum Erreichen der 50°C – Grenze $\mathbf{d_{50°C}}$
    - gesamte Brenndauer der Probe bis zum Verlöschen der Flamme $\mathbf{d_{Br}}$
    - Nachglimmdauer $\mathbf{d_{Gl}}$
    - Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $\mathbf{d_{Br,\,V}}$
    - Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $\mathbf{d_{Br,\,Bm}}$
    - Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $\mathbf{d_{Br,\,Gg}}$
    - Auftreten von Verformungen $\mathbf{d_V}$ mit Messwertangabe von den Wegaufnehmern
- Dabei sollten auch die Stellen, Zeiten des Erscheinens, evtl. Temperaturvergleichswerte und die Größen der lokalen Abbrandstellen im Protokoll festgehalten werden.
- Weiterhin sind alle Messgeräte (Thermoelemente und Wegaufnehmer) im Abstand von eines Minute abzulesen, bei sehr kleinen Toleranzen in größeren Abständen bei größeren Toleranzen in kleineren Abständen
- Verformungen in der Böschungsfront sind nach Möglichkeit zusätzlich während des Versuches an den Probekörperseitenwänden mit Farbe festzuhalten
- Zusätzlich sollen folgende Eigenschaften vermerkt werden:

- größte beschädigte oder verbrannte Breite und größte beschädigte oder verbrannte Länge und deren Position an der Probe (mittig, oben, etc.)
- ob die Flamme eine vertikale Kante der Messprobe erreicht hat
- ob ein Loch in die Begrünungsmatten oder Geogitter geschmolzen oder gebrannt ist
- ob ein brennendes Teil der Begrünungsmatten oder Geogitter abgefallen und weitergebrannt ist

Prüfprotokoll 1 Versuchsreihe 2 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:				
Bezeichnung des Probekörpers:				
Hersteller des Geogitters:				
Typenbezeichnung:				
Hersteller der Begrünungsmatte:				
Typenbezeichnung:				
Konditionierungsklima:				
Temperatur im Prüfraum:				
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:				
Luftdruck im Prüfraum:				
Einbauzustand der Messproben:				
verwendetes Gas:				
Brennerorientierung:				
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**		
Zeit bis zum Erreichen der 50°C – Grenze $\mathbf{d_{50°C}}$				
zur Entzündung verwendete Zeit $\mathbf{d_{Entz}}$				
Brenndauer $\mathbf{d_{BR}}$				
Nachglimmdauer $\mathbf{d_{Gl}}$				
	Zeit in s	**Stelle**	**Temperatur in °C**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $\mathbf{d_{Br, V}}$				
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $\mathbf{d_{Br, Bm}}$				
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $\mathbf{d_{Br, Gg}}$				
	Zeit in s	**Stelle**	**Temperatur in °C**	**Verschiebung in mm**
Auftreten von Verformungen $\mathbf{d_V}$				

Prüfprotokoll 2 Versuchsreihe 2 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Thermoelemente	**Zeit in s**	**Temperatur in °C**	**Bemerkungen**
Umgebungswärme			
Innenthermoelement ...			
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

Prüfprotokoll 3 Versuchsreihe 2 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Thermoelemente	**Zeit in s**	**Temperatur in °C**	**Bemerkungen**
Oberflächenthermoelement ...			

Raum für zusätzliche Bemerkungen	

Prüfprotokoll 4 Versuchsreihe 2 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Thermoelemente	**Zeit in s**	**Temperatur in °C**	**Bemerkungen**
Umgebungswärme			

Raum für zusätzliche Bemerkungen	

Prüfprotokoll 5 Versuchsreihe 2 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Thermoelemente	**Zeit in s**	**Temperatur in °C**	**Bemerkungen**
Innenthermoelement ...			

Raum für zusätzliche Bemerkungen	

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		5.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:		MP 1
Hersteller des Materials:		Firma A
Typenbezeichnung:		Geogitter "a"
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		22,9 °C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70 - 75 %
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		senkrecht zur Materialprobe
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	[illegible]	DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	220 (3:40)	
Nachglimmdauer d_{Gl}	15	in Form von Funde, Qualm
Raum für zusätzliche Bemerkungen	10.14.05	
linke Seite nach 48 s		
rechte -"- nach 1.31		
tropft ab, brennt zuerst		
zur Seite hin weg,		
bis zur Mitte nach oben		
10.17.45		
10.18:00		
- sehr starke Rauch- u.		
Rußentwicklung		
- riecht beisend		

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		5.12.2001
Bezeichnung der Messprobe:		MP 2
Hersteller des Materials:		Firma B
Typenbezeichnung:		Geogitter "b"
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		22,9 °C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70 → 75 %
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		senkrecht zu Materialprobe
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	10.31.03	DIN EN ISO 6941:1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	13:16	
Nachglimmdauer d_{Gl}	10:26	→ Rauch, Qualm
Raum für zusätzliche Bemerkungen		
- kaum Brand		
- brennt schnell		
- geringe Rauchentwicklg.		
- nach oben hin		
- nur ein Kreuz betroffen		

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:	5.12.2001
Bezeichnung der Messprobe:	MP3
Hersteller des Materials:	Firma A
Typenbezeichnung:	besch. Glasfaser
Konditionierungsklima:	Raumklima
Temperatur im Prüfraum:	22,9°
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:	70-75 %
Luftdruck im Prüfraum:	
Befestigungstechnik der Messproben:	Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:	Propan
Brennerorientierung:	senkrecht zu Materialprobe

Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	— 10:39:05	DIN EN ISO 6941: 1995 → 5s
Brenndauer d_{BR}	35	→ brennt in großen Flammen
Nachglimmdauer d_{Gl}	—	

Raum für zusätzliche Bemerkungen	
10:39:05	- starke Rußentwicklg
linke Seite erreicht :26	- unangenehmer Geruch
rechte -"- :36	
Brennen :40	
- nach Lösen der Klemmleisten	
Zerfall → Glasfaser liegt frei	
- flächiger Brand nach	
oben	
verbr.	
Fläche	

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:	5.12.2001
Bezeichnung der Messprobe:	MP4
Hersteller des Materials:	Firma B
Typenbezeichnung:	Glasg. gem. aus Glasfaser
Konditionierungsklima:	Raumklima
Temperatur im Prüfraum:	22,9°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:	70-75%
Luftdruck im Prüfraum:	
Befestigungstechnik der Messproben:	Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:	Propan
Brennerorientierung:	entspricht der Materialprobe

Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	5	Entzündungszeit
Nachglimmdauer d_{GI}	–	

Raum für zusätzliche Bemerkungen
- bei Wegnahme d.
Flamme, Verlöschen
dieser
- kegelförmiger Brand

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		5.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:		MP5
Hersteller des Materials:		Firma C
Typenbezeichnung:		Glasgitter
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		22,8°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75 %
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		senkrecht zu Materialprobe
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	10:56:19 –	DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	52	
Nachglimmdauer d_{Gl}	–	
Raum für zusätzliche Bemerkungen		
linke Seite 28 s	:47	– sonst instabil
rechte Seite 42 s	:01	
Brennen	:11	
– großfläch. Brand		
– Abbrennen olivgrüner		
Beschichtung		
– starke Rußbildung		
auf Material		
– Freisetzen v. Rußpartikeln		
– relativ gute Stabilität		
bei auf einer Linie		
durchgeführten Zug		

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:	5.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:	MP 6
Hersteller des Materials:	Firma D
Typenbezeichnung:	Glasgittergewebe 6 x 6
Konditionierungsklima:	Raumklima
Temperatur im Prüfraum:	22,8°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:	70-75 %
Luftdruck im Prüfraum:	
Befestigungstechnik der Messproben:	Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:	Propan
Brennerorientierung:	senkrecht zu Materialprobe

Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	11:09:29 —	DIN EN ISO 6941 : 1985 → 6 s
Brenndauer d_{BR}	68 s	
Nachglimmdauer d_{Gl}	—	

Raum für zusätzliche Bemerkungen	
kalte Seite : 23 s	:42
linke Seite : 29 s	:48
kurzer größerer Aufflammen 615	:10
Brenndauer 68 s	:27
- große Prüfflamme	
kegelförmig bis an	
oberen Rand, dann	
zur Seite hin brennend	
- kleine Flammen bis	
zum Ende	

- großflächiges Brennen
- wenig Rußabsatz, aber leicht sch
- keine Rußpartikel in Luft
- leicht verformbar nach Brand

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		5. 12. 2001
Bezeichnung der Messprobe:		MP 7
Hersteller des Materials:		Firma D
Typenbezeichnung:		Glasgittergewebe 3,5 x 3,5
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		22,9 °C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75 %
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		Haltrung nach Anlage
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		senkrecht zu Matrialprobe
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	20:33 –	DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	49	
Nachglimmdauer d_{Gl}	1	
Raum für zusätzliche Bemerkungen		
rechte Seite 20 s	:53	
linke 25 s	:58	
	:22	
- große Flammenbildung		
am Anfang bis zum		
weiteren Randbrand		
- weiter am Rand nach unten		
- wenige Rußpartikel		
- starke Rußablagerung		
- mittl. Stabilität		
in einer Zuglinie		

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:	6.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:	MPB (Kombi)
Hersteller des Materials:	Firma B
Typenbezeichnung:	Geogitter "b" + Gittergewebe aus Glasfaser
Konditionierungsklima:	Raumklima
Temperatur im Prüfraum:	22,9°
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:	90-75 %
Luftdruck im Prüfraum:	
Befestigungstechnik der Messproben:	Halterung nach Anlage
verwendetes Gas:	Propan
Brennerorientierung:	senkrecht zu Materialprobe

Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	DIN EN ISO 6941:1996 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	55	≙ Entzündezeit
Nachglimmdauer d_{Gl}	–	

Raum für zusätzliche Bemerkungen
- brennt nur solange Zünd-
quelle
- kleiner Kegel, Ruß
- keine Rußpartikel
- Materialien kleben
leicht an Brandstelle
zusammen
- Streben von Geogitter
weniger beschädigt
als bei reiner Kombi
(MP2)

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		5. 12. 2007
Bezeichnung der Messprobe:		MP 9 (Komb.)
Hersteller des Materials:		Firma A
Typenbezeichnung:		Geogitter "a" + kunststoffbesch. Glasfaser
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		22,8°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75%
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		Halterung nach Auflage
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		senkrecht zu Materialprobe
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	—	DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	3:37	
Nachglimmdauer d_{Gl}	28 s	
Raum für zusätzliche Bemerkungen		
11:44:13		
linker Rand 225 :35		- sehr starke Randentwicklung
rechter Rand 305 :43		- vollständiges Abbrennen
- vollständiger Brand nach kurzer Zeit 40s		- Abfallen v. Geogitter-materials
- stark Rußbildung		- lösen von Glasfaserfäden
- sehr starke Rußpartikelbildg		vor Ausbau
- Brand dann wieder nach unten		
- Brenndauer 11:47:50		
Glimmen 48:78		
- große Flammenbildung		

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:	5.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:	MP10 (Kombi)
Hersteller des Materials:	Firma A (Geogitter) ,Firma B (Glasfaser)
Typenbezeichnung:	Geogitter "a" + Gittergewebe aus Glasfaser
Konditionierungsklima:	Raumklima
Temperatur im Prüfraum:	22,9°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:	70-75%
Luftdruck im Prüfraum:	
Befestigungstechnik der Messproben:	Haltung nach Auflage
verwendetes Gas:	Propan
Brennerorientierung:	senkrecht zur Materialprobe

Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	✗ IN EN ISO 6941:1995 → 5s
Brenndauer d_{BR}	22	ab 5s mit Geogitter
Nachglimmdauer d_{GI}	1	am Geogitter

Raum für zusätzliche Bemerkungen
12:03:27
Brenndauer :49
- kleine Flamme am Geogitter bis Ende
- Glasfaser brennt nur solange Zündquelle
- an Brandstelle leicht zusammengeklebt
- sehr geringe Beschädigg. d. Geogitters

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		5.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:		MP 11
Hersteller des Materials:		
Typenbezeichnung:		Kokos-Begrünungsmatte
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		27,9°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75%
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		Haltung nach Anlage
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		senkrecht zu Materialprobe
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	DIN EN ISO 6941: 1995 → 53
Brenndauer d_{BR}	59	
Nachglimmdauer d_{Gl}	3:37	Glühglimmen
Raum für zusätzliche Bemerkungen		
vollflächiges entflammen		
Anfang 15:43:53		
~~Flammen~~ Brennen 15:44:52		
- weißer starker Qualm		
- starke Rußpartikelbildung		
- erneutes Entflammen 15:46:21 } 7s		
Ende :30		
- vollständiger Abbrand		
- starkes Abfallen von Material		
Glimmende :48:29		

Prüfprotokoll nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		14.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:		MP 12 (schräg 90°)
Hersteller des Materials:		Firma B
Typenbezeichnung:		Geogitter "b"
Konditionierungsklima:		Raumklima
Temperatur im Prüfraum:		23,1°C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70 - 75 %
Luftdruck im Prüfraum:		
Befestigungstechnik der Messproben:		in Halterungsvorrichtung (nach Durchführungsprotokoll)
verwendetes Gas:		Propan
Brennerorientierung:		parallel zu FB-Ebene
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	nach DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s
Brenndauer d_{BR}	28 s	
Nachglimmdauer d_{GI}	2	
Raum für zusätzliche Bemerkungen		
9:10:11		
Ende 9:10:33		
→ kein Rauch		
→ kurze kleine Flamme		
→ nur etwas Abbrennen		
d. Bodendichtg.		

Prüfprotokoll nach **DIN EN ISO 6941: 1995**

Datum der Versuchsdurchführung:	14.12.2007
Bezeichnung der Messprobe:	MP 13 (schräg 50°)
Hersteller des Materials:	Firma B
Typenbezeichnung:	Geogitter "b"
Konditionierungsklima:	Raumklima
Temperatur im Prüfraum:	23,1 °C
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:	20-25 %
Luftdruck im Prüfraum:	
Befestigungstechnik der Messproben:	Halterg. (nach Durchführungs-prüfung)
verwendetes Gas:	Propan
Brennerorientierung:	⊥ zu FB-Ebene

Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	-	DIN EN ISO 6941:1995 → 5s
Brenndauer d_{BR}	5s	= Entzündgszeit
Nachglimmdauer d_{Gl}	-	

Raum für zusätzliche Bemerkungen
- kein Ruß + Rauch
- mit Abschmoren
Beschädig.

Prüfprotokoll Versuchsreihe 1 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		6. 12. 2001	
Bezeichnung des Probekörpers:		PK1V1 (Versuch 1)	
Hersteller des Geogitters:		Firma A	
Typenbezeichnung:		Geogitter "a"	
Hersteller der Begrünungsmatte:		keine	
Typenbezeichnung:		—	
Konditionierungsklima:		Raumklima	
Temperatur im Prüfraum:		23°C	
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70 - 75%	
Luftdruck im Prüfraum:			
Einbauzustand der Messproben:		nach Anlage in Probekörpereinfassg.	
verwendetes Gas:		Propangas	
Brennerorientierung:		parallel zu FB-Ebene	
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**	
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	—		
Brenndauer d_{BR}	55	solange Zündungsdauer	
Nachglimmdauer d_{GI}	—		
	Zeit in s	**Stelle**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $d_{Br, V}$	—		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $d_{Br, Bm}$	—		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $d_{Br, Gg}$	—		
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

Prüfprotokoll Versuchsreihe 1 nach **DIN EN ISO 6941: 1995**

Datum der Versuchsdurchführung:		6.12.2007	
Bezeichnung des Probekörpers:		PK2V1 (Versuch 2)	
Hersteller des Geogitters:		Firma A	
Typenbezeichnung:		Geogitter "a"	
Hersteller der Begrünungsmatte:		Firma A	
Typenbezeichnung:		kunststoffbesch. Glasfaser	
Konditionierungsklima:		Raumklima	
Temperatur im Prüfraum:		23°C	
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70 - 75%	
Luftdruck im Prüfraum:			
Einbauzustand der Messproben:		Probekörpereinfassg nach Anlage	
verwendetes Gas:		Propangas	
Brennerorientierung:		parallel zu FB-Ebene	
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**	
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	—	(nur 5 s laut DIN EN ISO 6941: 1995	
Brenndauer d_{BR}	5	Entzündg.	
Nachglimmdauer d_{Gl}	—		
	Zeit in s	**Stelle**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $d_{Br, V}$	—		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $d_{Br, Bm}$	—		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $d_{Br, Gg}$	—		
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

Prüfprotokoll Versuchsreihe 1 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		6.12.2007	
Bezeichnung des Probekörpers:		PK3 V1	
Hersteller des Geogitters:		Firma A	
Typenbezeichnung:		Geogitter "a"	
Hersteller der Begrünungsmatte:		Firma C	
Typenbezeichnung:		Glasgittergewebe 4 x 4	
Konditionierungsklima:		Raumklima	
Temperatur im Prüfraum:		23°C	
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75%	
Luftdruck im Prüfraum:			
Einbauzustand der Messproben:		Probekörpereinspannung nach Anlage	
verwendetes Gas:		Propangas	
Brennerorientierung:		parallel zu FB-Ebene	
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**	
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	(nach DIN EN ISO 6941: 1995 → 5s)	
Brenndauer d_{BR}	5s	→ Entzündungszeit	
Nachglimmdauer d_{Gl}	–		
	Zeit in s	**Stelle**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $d_{Br, V}$	–		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $d_{Br, Bm}$	–		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $d_{Br, Gg}$	–		
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

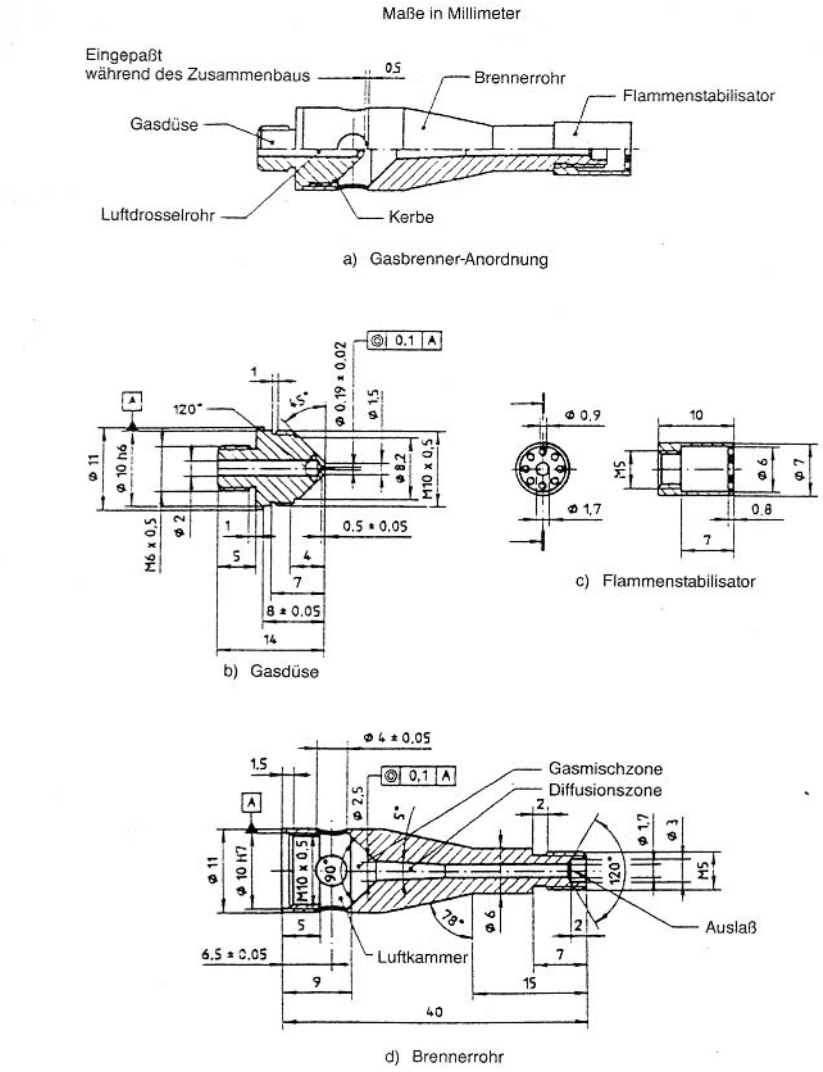
Prüfprotokoll Versuchsreihe 1 nach **DIN EN ISO 6941: 1995**

Datum der Versuchsdurchführung:		6.12.2007	
Bezeichnung des Probekörpers:		PE4 V1 (Versuch 4)	
Hersteller des Geogitters:		Firma B	
Typenbezeichnung:		Geogitter "b"	
Hersteller der Begrünungsmatte:		Firma B	
Typenbezeichnung:		Gittergewebe aus Glasfaser	
Konditionierungsklima:		Raumklima	
Temperatur im Prüfraum:		23°C	
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75°C	
Luftdruck im Prüfraum:			
Einbauzustand der Messproben:		Probekörpereinfassg nach Anlage	
verwendetes Gas:		Propangas	
Brennerorientierung:		parallel zu FB-Ebene	
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**	
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	(laut DIN EN ISO 6941:1995) 5s	
Brenndauer d_{BR}	56	(Entzündpostet)	
Nachglimmdauer d_{Gl}	–		
	Zeit in s	**Stelle**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $d_{Br, V}$	–		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $d_{Br, Bm}$	–		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $d_{Br, Gg}$	–		
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

Prüfprotokoll Versuchsreihe 1 nach DIN EN ISO 6941: 1995

Datum der Versuchsdurchführung:		6. 12. 2001	
Bezeichnung des Probekörpers:		PK 5 V 1 (Versuch 5)	
Hersteller des Geogitters:		Firma A	
Typenbezeichnung:		Geogitter "a"	
Hersteller der Begrünungsmatte:			
Typenbezeichnung:		Kokosmatte	
Konditionierungsklima:		Raumklima	
Temperatur im Prüfraum:		23°C	
Relative Luftfeuchte im Prüfraum:		70-75%	
Luftdruck im Prüfraum:			
Einbauzustand der Messproben:		Probekörpereinfassung nach Anlage	
verwendetes Gas:		Propangas	
Brennerorientierung:		parallel zu FB-Ebene	
Kriterium	**Zeit in s**	**Bemerkungen**	
zur Entzündung verwendete Zeit d_{Entz}	–	(DIN EN ISO 6941: 1995 → 5 s)	
Brenndauer d_{BR}	55	Entzündgszeit	
Nachglimmdauer d_{GI}	1	(Glühglimmen)	
	Zeit in s	**Stelle**	**Größe**
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Vegetation $d_{Br, V}$	–		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Begrünungsmatte $d_{Br, Bm}$	–		
Brenndauer bis zum lokalen Abbrand der Geogitter $d_{Br, Gg}$	–		
Raum für zusätzliche Bemerkungen			

8.7 Darstellung Brenner nach DIN EN ISO 6941: 1995



[40]

9 Selbständigkeitserklärung

ERKLÄRUNG

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

Weimar, 18.12.2001

_____

Patricia Reißhauer