



Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

Richtlinie für die Zulassung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff (Geogitter) für Deponieoberflächenabdichtungen

herausgegeben vom
Fachbereich 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“

8. Auflage, April 2024

Veröffentlicht: Mai2024

Diese Zulassungsrichtlinie und die Liste zugelassener Bewehrungsgitter aus Kunststoff (Geogitter) sowie weitere auf der Grundlage der Deponieverordnung erstellte Zulassungsrichtlinien für Geokunststoffe und Dichtungskontrollsysteme und Listen derartiger zugelassener Produkte können als pdf-Datei unter der Internetadresse:

<http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm> heruntergeladen werden.

Vorwort

Am 16. Juli 2009 trat die neue Deponieverordnung (DepV) in Kraft. Gemäß der aktuellen Fassung dürfen nach Anhang 1 Nr. 2.1 der DepV für das Abdichtungssystem Materialien, Komponenten oder Systeme nur eingesetzt werden, wenn sie dem Stand der Technik nach Anhang 1 Nr. 2.1.1 entsprechen und wenn dies der zuständigen Behörde nachgewiesen worden ist. Als Nachweis ist für Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme die Zulassung dieser Materialien, Komponenten oder Systeme durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) nach Anhang 1 Nr. 2.4 erforderlich.

Abweichend davon können in Deponieabdichtungssystemen Materialien, Komponenten oder Systeme eingesetzt werden, die auf der Grundlage harmonisierter europäischer technischer Spezifikationen nach der EU-Bauproduktenverordnung deklariert worden sind, wenn die durch die harmonisierten technischen Spezifikationen festgelegten Material-, Komponenten- und Systemeigenschaften im Wesentlichen denen gleichwertig sind, die sich aus den Anforderungen der DepV an den Stand der Technik ergeben. Derzeit gibt es keine harmonisierten europäischen technischen Spezifikationen, die den Anforderungen der DepV an den Stand der Technik gleichwertig sind.

Ferner können in Deponieabdichtungssystemen Materialien, Komponenten oder Systeme eingesetzt werden, die in einem anderen Mitgliedstaat der EU oder der Türkei gemäß den dort geltenden Regelungen oder Anforderungen rechtmäßig hergestellt oder in Verkehr gebracht wurden oder die in einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum gemäß den dort geltenden Regelungen oder Anforderungen rechtmäßig hergestellt und in Verkehr gebracht wurden, wenn die mit den Prüfungen und Überwachungen im Herstellerstaat nachgewiesenen Material-, Komponenten- und Systemeigenschaften das nach der DepV geforderte Schutzniveau gleichermaßen dauerhaft gewährleisten. Bei der Prüfung entsprechender Nachweise können die zuständigen Behörden die fachliche Unterstützung der BAM in Anspruch nehmen.

In der Nummer 2.4 des Anhangs 1 der DepV wird die Verfahrensweise bei der Zulassung geregelt. Zu den Aufgaben der BAM gehört nach Nummer 2.4.1 die Definition von Prüfkriterien, die Aufnahme von Nebenbestimmungen in die Zulassung und insbesondere auch die Festlegung von Anforderungen an den fachgerechten Einbau und das Qualitätsmanagement. Nach Nummer 2.4.4 wirkt ein Fachbeirat beratend an der Erarbeitung entsprechender Zulassungsrichtlinien mit.

Nach dem Inkrafttreten der Deponieverordnung hatte sich am 16. Oktober 2009 der Fachbeirat konstituiert und eine Arbeitsgruppe eingerichtet, der zunächst nur eine vorläufige Richtlinie für die Zulassung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff für Deponieoberflächenabdichtungen erarbeitet und überarbeitet hat. Die Richtlinie wurde aus zwei Gründen als vorläufig bezeichnet: Zum einen werden Bewehrungsgitter aus Kunststoff aus den unterschiedlichsten Werkstoffen in sehr verschiedenen Konstruktionen produziert. Das Wissen über die Eigenschaften der einzelnen Bewehrungsgittertypen ist unterschiedlich groß. Die Zulassungsanforderungen haben bisher vor allem die gewebten/gewebten und gelegten Bewehrungsgitter aus Polyester (PET) oder Polypropylen und die extrudierten Bewehrungsgitter aus Polyethylen hoher Dichte im Blick. Zum anderen müssen im Zusammenhang mit dem Zulassungsverfahren noch Erfahrungen mit neuen Prüfungen, insbesondere zum Langzeitverhalten der Verbindungsstellen zwischen Längs- und Querelementen des Bewehrungsgitters, gesammelt werden, auf deren Grundlage erst eine vollständige und genaue Beurteilung möglich ist. Seit der letzten Auflage haben sich jedoch erhebliche Weiterentwicklungen des Verständnisses der Bedeutung der begrenzten Steifigkeit von Längselementen und der begrenzten Belastbarkeit von Verbindungsstellen für das Verhalten von

Bewehrungsgittern aus Kunststoff ergeben. Diese Entwicklungen wurden eingearbeitet und in zwei Anhängen kurz erläutert.

Die Maßgaben und Betrachtungen dieser Zulassungsrichtlinie erstrecken sich zunächst auf die Anwendung der Bewehrungsgitter aus Kunststoff, die in Einbindegräben verankert werden und Böschungen vor hangparallelem Gleiten schützen. Bei Stützbauwerken ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, wie sich eine begrenzte Steifigkeit der Längselemente und Belastbarkeit der Verbindungsstellen auf die Bemessung auswirken. Hier sollten somit weitere Arbeiten folgen.

An den Beratungen haben mitgewirkt:

1. die Mitglieder des Fachbeirats:

Dr. St. Abel, *Landesamt für Umwelt Brandenburg*; A. Bachmann, *Umweltbundesamt*; H. Ehrenberg, *NAUE GmbH & Co. KG*; Dipl.-Ing. A. Elsing, *HUESKER Synthetic GmbH*; Dipl.-Ing. F. Fabian, *Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg*; Dipl.-Ing. M. Hering, *Solmax Geosynthetics GmbH*; Dipl.-Ing. R. Heichele, *Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)*; Dipl.-Ing. S. Krahberg; Dipl.-Ing. M. Müller, *Landesdirektion Sachsen, Referat 43 – Abfall, Altlasten, Bodenschutz*; Dipl.-Ing. R. Niehof, *Pleus Grundwasser- und Bodenschutz GmbH*; Dipl.-Ing. P. Riegl, *GEO-POLYMER Trading e.U.*; A. Riese, *Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz*; Dipl.-Min. W. Ruthmann, *Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik (GGU)*; Prof. Dr.-Ing. F. Saathoff, *Geotechnik und Küstenwasserbau, Universität Rostock*; Dipl.-Ing. T. Sasse, *Umtec | Prof. Biener | Sasse | Konertz*; Dr. -Ing. Jan Schröder *G quadrat GmbH*; Prof. Dr. F.-G. Simon, *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)*; Dr.-Ing. M. Tiedt, *Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen*; M. Sc. M. Winkler, *Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (ZUS AGG)*; A. Wöhlecke, M. Eng., *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)*; Dipl.-Ing. H. Zanzinger, *SKZ Süddeutsches Kunststoff-Zentrum*.

2. weitere Mitglieder der Arbeitsgruppe Geogitter.

Änderungen

Gegenüber der letzten Auflage wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Das Vorwort wurde aktualisiert.

In Kapitel 1 heißt es nun: *Die BAM ist [...] zuständig für die Prüfung und Zulassung von Geokunststoffen [...] auf der Basis eigener Untersuchungen und von Ergebnissen in der Regel akkreditierter Stellen.*

Kapitel 6 wurde überarbeitet. Regelungen für den Einbau der Produkte wurden hier geändert.

In Kapitel 6.1 wurde der Zeitraum bis zum Überbau der Produkte konkretisiert.

In Kapitel 9 (Anforderungstabellen) wurde die Prüfung *Geometrie (Breite von Längs- und Querelementen, Abmessungen der Gitteröffnung)* gestrichen.

In Kapitel 10 (Verzeichnis der Normen) wurden die Prüfverfahren auf den aktuellen Stand gebracht.

Inhaltsverzeichnis

1. Rechtliche Grundlagen, Geltungsbereich und Vorschriften	6
2. Zulassungsgegenstand	7
2.1. Allgemeines	7
2.2. Werkstoff und Eigenschaften der Vorprodukte des Bewehrungsgitters	9
2.3. Eigenschaften des Bewehrungsgitters	9
2.4. Kennzeichnung	10
2.5. Produktionsstätte und Produktionsverfahren	10
3. Kennwerte des Bewehrungsgitters für die Bemessung	11
4. Anforderungen an die Bewehrungsgitter	14
4.1. Allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften	14
4.2. Grundprüfungen zur Beständigkeit	14
4.3. Langzeitverhalten	15
4.3.1 Zugfestigkeit und Isochronenkurven	16
4.3.2 Oxidation und Auslaugung von Stabilisatoren	17
4.3.3 Hydrolyse	17
4.3.4 Alterung unter der Einwirkung von Zugkräften: Zeitstandzugversuche bei höheren Temperaturen und Medieneinfluss	18
4.3.5 Untersuchungen der Eigenschaften und des Langzeitverhaltens der Verbindungsstellen	18
4.3.6 Beurteilung der Eigenschaften von Erddruckgittern	20
4.4. Bestimmung des Herausziehwiderstands	21
4.5. Umweltverträglichkeit von Zusätzen und Verarbeitungshilfen	22
5. Eigen- und Fremdüberwachung bei der Produktion	22
5.1. Eingangskontrollen und -prüfungen	23
5.2. Eigenüberwachung der Produktion	23
5.3. Fremdüberwachung	23
5.4. Lieferpapiere	24
6. Anforderungen an den Einbau	25
6.1. Hinweise zum Einbauverfahren	25
6.2. Beanspruchungen durch Einbau und Baubetrieb	25
6.3. Qualitätsmanagement	26
7. Hinweise zur Bemessung	26
8. Änderungen, Mängelanzeige und Geltungsdauer	27
9. Anforderungstabellen	28
Tabelle 1: Charakteristische Eigenschaften der Vorprodukte (extrudierte Platten oder Flachstäbe, Filamente, Multifilamentgarne etc.) ¹	28
Tabelle 2a: Charakteristische Eigenschaften von Bewehrungsgittern	29
Tabelle 2b: Wechselwirkung Bewehrungsgitter-Boden	29
Tabelle 3: Grundprüfungen zur Beständigkeit von Bewehrungsgittern aus Kunststoff im Rahmen der CE-Kennzeichnung (nach DIN EN 13257, Randbedingung: 25 Jahre Funktionsdauer, Umgebungsmilieu pH 4– 9, Temperatur ≤ 25 °C)	30
Tabelle 4: Anforderungen an Beständigkeit und Langzeitverhalten der Bewehrungsgitter aus Kunststoff	31
Tabelle 5: Art und Umfang der Eigen- und Fremdüberwachung (EÜ und FÜ) bei der Produktion des Bewehrungsgitters sowie der Kontrollen bei Vorprodukten	33
Tabelle 6: Art und Umfang von Prüfungen am Bewehrungsgitter im Rahmen der Fremdprüfung auf der Baustelle ¹	34
10. Verzeichnis der Normen	35
11. Anlagen zum Zulassungsschein, Verzeichnis der Länderkennzahlen und Prüf- und Inspektionsstellen	37
Anhang 1: Durchführung von Baustellenversuchen	38
Anhang 2: Simulation des Verhalten von Bewehrungsgittern in Einbindegräben	40
Anhang 3: Eine Grenzzustandsgleichung für Verbindungsstellen	46

1. Rechtliche Grundlagen, Geltungsbereich und Vorschriften

Der Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen wird durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) vom 24. Februar 2012 geregelt. Noch auf der Grundlage des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) war am 16. Juli 2009 eine neue Deponieverordnung (DepV) in Kraft getreten. Diese wurde zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598) geändert. Nach Anhang 1 Nummer 2.1 der DepV dürfen für das Abdichtungssystem nur dem Stand der Technik nach Nummer 2.1.1 entsprechende und von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) nach Nummer 2.4 zugelassene oder eignungsfestgestellte Geokunststoffe (Kunststoffdichtungsbahnen, Schutzschichten, Kunststoff-Dränelemente, Bewehrungsgitter aus Kunststoff, etc.), Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme eingesetzt werden. Die BAM ist nach Nummer 2.4.1 zuständig für die Prüfung und Zulassung von Geokunststoffen, Polymeren und Dichtungskontrollsystemen für die Anwendung in Basis- und Oberflächenabdichtungen von Deponien auf der Basis eigener Untersuchungen und von Ergebnissen in der Regel akkreditierter Stellen. Sie hat in diesem Zusammenhang die folgenden Aufgaben:

- die Definition von Prüfkriterien,
- die Aufnahme von Nebenbestimmungen in die Zulassung, und
- die Festlegung von Anforderungen an den fachgerechten Einbau und das Qualitätsmanagement.

Auf dieser rechtlichen Grundlage und unter Berücksichtigung der in Nummer 2.1.1 des Anhangs 1 der DepV beschriebenen Anforderungen zum Stand der Technik werden in dieser Richtlinie die Anforderungen für die Zulassung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff in

Deponieoberflächenabdichtungen beschrieben. Die Richtlinie ist die technische Grundlage, auf der die BAM auf Antrag des jeweiligen Herstellers die Eignung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff prüft und die Eignung durch Erteilung einer Zulassung in Form eines Zulassungsscheins feststellt.

Deponieabdichtungen müssen nach dem Stand der Technik errichtet werden. In der vorliegenden Zulassungsrichtlinie wird daher auch beschrieben, welche Anforderungen beim Einbau der zugelassenen Bewehrungsgitter erfüllt werden müssen, damit ein dem Stand der Technik entsprechendes Abdichtungssystem entsteht. Auf diese Anforderungen wird auch im Zulassungsschein ausdrücklich hingewiesen. Die zuständigen Behörden der Länder müssen dafür Sorge tragen, dass diese Nebenbestimmungen Bestandteil der Genehmigung und somit rechtlich verbindlich werden. Nur unter dieser Voraussetzung kann die BAM-Zulassung zum Nachweis der Eignung nach dem Stand der Technik der mit den Bewehrungsgittern hergestellten Abdichtungen verwendet werden.

Die Zulassung wird ausdrücklich unter Widerrufsvorbehalt erteilt. Ein Widerrufsgrund liegt vor, wenn der Hersteller von dem in den Prüfungsunterlagen und in den Anhängen des Zulassungsscheins beschriebenen Verfahren, von den für die Prüfungsmuster verwendeten Materialien oder von den anderen im Zulassungsschein genannten Anforderungen abweicht. In diesem Fall darf kein Bewehrungsgitter mehr unter Verwendung der BAM-Zulassungsnummer gefertigt werden.

Änderungen des Werkstoffs, des Produktionsverfahrens der Bewehrungsgitter aus Kunststoff und der Maßnahmen der Eigen- und Fremdüberwachung der Produktion bedürfen einer neuen Zulassung. Bewähren sich vom Hersteller eingesetzte Produktionsverfahren oder Einbauverfahren nicht und kann dies anhand von neuen technischen Erkenntnissen belegt werden, hat sich also die Sachlage, der Stand der Technik und die Rechtslage so verändert, dass keine Zulassung mehr erteilt werden kann, so liegt auch hierin ein

Widerrufsgrund.

Im Falle des Widerrufs ist der Hersteller verpflichtet, der Zulassungsbehörde umgehend den Zulassungsschein auszuhändigen.

Den Zulassungen liegen die folgenden Gesetze, Vorschriften und Richtlinien in der jeweils aktuell gültigen Fassung zugrunde:

- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), vom 24. Februar 2012, Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 10. S. 212-264, zuletzt durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert.
- Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV); Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts vom 27. April 2009 (BGBl. I Nr. 22 vom 29. April 2009 S. 900), zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598) geändert.
- Richtlinie für Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle beim Einbau von Kunststoffkomponenten und -bauteilen in Deponieabdichtungssystemen (Richtlinie-Fremdprüfer), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Richtlinie für die Anforderungen an Fachbetriebe für den Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen, weiteren Geokunststoffen und Kunststoffbauteilen in Deponieabdichtungssystemen (Richtlinie-Verlegefachbetriebe), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Richtlinie für die Zulassung von Dichtungskontrollsystemen für Konvektionssperren in Deponieoberflächenabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-Dichtungskontrollsysteme),

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

- Richtlinie für die Zulassung von Geotextilien zum Filtern und Trennen in Deponieabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-Geotextilien), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-KDB), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen in Deponieoberflächenabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-Kunststoff-Dränelemente), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Richtlinie für die Zulassung von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-Schutzschichten), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).
- Richtlinie für die Zulassung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff für Deponieoberflächenabdichtungen (Zulassungsrichtlinie-Geogitter), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

Die jeweils gültige Ausgabe der aufgeführten Normen wird im Abschnitt 10 angegeben.

2. Zulassungsgegenstand

2.1. Allgemeines

Gegenstand der Zulassung sind Bewehrungsgitter aus Kunststoff¹, die in Oberflächenabdichtungen von Deponien eingesetzt werden, um deren Standsicherheit zu gewährleisten². Unter einem Bewehrungsgitter aus Kunststoff versteht man dabei eine flächenhafte Struktur, die aus einem regelmäßigen, offenen Netzwerk

¹ Im Folgenden nur noch als Bewehrungsgitter bezeichnet. Im Englischen wird der Begriff geogrid (GGR) verwendet.

² S. dazu die GDA-Empfehlung E 2-7 „Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen“ sowie die

EBGEO, Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung

von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 2013.

Die GDA-Empfehlungen können über die Internetseite www.gdaonline.de eingesehen werden.

aus Längs- und Querelementen besteht. Hinsichtlich des Herstellungsverfahrens unterscheidet man gewebte, kettengewirkte (geraschelte), gestreckte und gelegte Bewehrungsgitter³. Die Längs- und Querelemente sind dabei durch Extrudieren, Schweißen, Verflechten oder andere Verfahren miteinander verbunden. Bei gestreckten Bewehrungsgittern wird ein Gitter aus einer extrudierten Platte ausgestanzt und danach zumeist uni- oder auch biaxial verstreckt. Die gelegten Bewehrungsgitter werden durch das Aufeinanderlegen der vorgefertigten Gitterelemente hergestellt, die dann an den Überlappungsstellen mit unterschiedlichen Verfahren verbunden werden. Bei gewebten oder kettengewirkten Bewehrungsgittern (im Folgenden vereinfachend als gewebte Geogitter bezeichnet) werden die Gitterelemente verflochten. Unter einer Verbindungsstelle versteht man den Bereich, wo sich Längs- und Querelement des Gitters kreuzen und miteinander verbunden sind.

In dieser Zulassungsrichtlinie für Bewehrungsgitter aus Kunststoff werden im Grunde zwei Bewehrungsgittertypen voneinander unterschieden, die Erddruck- und die Reibungsgitter.

Erddruckgitter: Als *Erddruckgitter* werden Bewehrungen bezeichnet, bei denen neben der Reibung auch der Erdwiderstand vor den Querelementen rechnerisch zum Herausziehwiderstand beiträgt.

Reibungsgitter: Als *Reibungsgitter* werden Bewehrungen bezeichnet, bei denen rechnerisch nur die Oberflächenreibung der Längselemente in der Kontaktfläche mit den Bodenpartikeln den Herausziehwiderstand bedingt.

Die Wechselwirkung von Bewehrungsgitter und Boden entsteht durch die Verzahnung von Bodenteilchen in den Öffnungen des Gitters und durch die Reibung zwischen den Bodenpartikeln und der Oberfläche der Gitterelemente, s. Abschnitt 4.4.

Hersteller bieten zumeist für eine bestimmte Art von Bewehrungsgitter eine ganze Produktfamilie an. Die Produkte der Familie sind ähnlich gestaltet und werden nach dem gleichen Produktionsverfahren, in derselben Produktionsstätte aus den gleichen Werkstoffen hergestellt. Sie unterscheiden sich jedoch in den Abmessungen des Querschnitts der Elemente, der Masse pro Flächeneinheit und den Festigkeitseigenschaften.

Voraussetzung für die Anwendung der zugelassenen Bewehrungsgitter ist, dass in der Umgebung des eingebauten Produkts bodenähnliche Temperaturverhältnisse herrschen (mittlere Temperatur $\leq 20\text{ °C}$). Die Bewehrungsgitter können daher in der Regel nur oberhalb der Abdichtungskomponenten oder außerhalb der eigentlichen Oberflächenabdichtung eingesetzt werden: Bei den in Deutschland herrschenden klimatischen Verhältnissen wird im unteren Bereich einer mindestens 1 m dicken Bodenschicht eine Dauertemperatur von 15 °C nur sehr selten überschritten. Im Übergangsbereich von der Dichtung zur mindestens 1 m dicken Rekultivierungsschicht wird die Temperaturanforderung daher in der Regel erfüllt sein, auch wenn in den Abdichtungskomponenten selbst Temperaturen bis zu 30 °C vorkommen können. Einschränkungen für die Anwendung können sich weiterhin durch die noch zulässigen pH-Werte der Umgebung des Bewehrungsgitters ergeben. Bewehrungsgitter aus Polyester (PET) dürfen z. B. in der Regel nur in Umgebungen mit einem pH-Wert im Bereich von 4 bis 9 eingesetzt werden.

Der Einsatz eines nach der DepV zugelassenen Produkts ist immer dann unabweisbar, wenn die Bewehrung dauerhaft zur Sicherung des Abdichtungssystems beiträgt. Die beiden dafür wichtigsten Beispiele sind die Sicherung des Oberflächenabdichtungssystems gegen hangparalleles Gleiten auf steilen Böschungen oder die Bewehrung eines Stützdamms am Fuß eines abgedichteten Deponiekörpers.

Ein auf der Grundlage dieser Richtlinie zugelassenes Bewehrungsgitter ist grundsätzlich auch

³ GDA-Empfehlung E 2-9 „Einsatz von Geotextilien im

Deponiebau“.

für die Sicherung von Altlasten und die Oberflächenabdichtung von jenen Deponien geeignet, die nicht der DepV unterliegen.

Der Zulassungsgegenstand Bewehrungsgitter muss mit definierten, reproduzierbaren Eigenschaften werkmäßig hergestellt werden.

Antragsteller und Zulassungsnehmer ist der Hersteller des Bewehrungsgitters.

Das Bewehrungsgitter muss durch den Antragsteller vollständig und eindeutig beschrieben werden. Dazu gehören eine Beschreibung des Bewehrungsgitters sowie der dabei eventuell verwendeten Vorprodukte, genaue Angaben über die Art und Spezifikation der Werkstoffe und Art und Menge von polymergebundenen Zuschlagstoffen (Masterbatch) oder anderen Zuschlagstoffen, die bei der Produktion von Vorprodukten und dem Produkt selbst verwendet werden, eine Beschreibung des Produktionsverfahrens sowie die Angaben zu den charakteristischen Eigenschaften des Produkts.

Der Zulassungsgegenstand wird im Zulassungsschein durch die Abmessungen und die Kurzzeit-Festigkeit sowie durch die im Folgenden erläuterten Angaben genau beschrieben. Das Bewehrungsgitter muss über ein CE-Kennzeichen mit Bezug auf die Funktion Bewehren nach DIN EN 13257 verfügen. Die Produktion muss im Rahmen eines nach DIN EN ISO 9001 zertifizierten Qualitätsmanagementsystems eigen- und fremdüberwacht werden.

Jede Änderung muss der Zulassungsstelle mitgeteilt und mit ihr abgestimmt werden. Erfolgt dies nicht, so verliert die Zulassung ihre Gültigkeit.

2.2. Werkstoff und Eigenschaften der Vorprodukte des Bewehrungsgitters

Bei der Zulassungsstelle müssen folgende Angaben vertraulich hinterlegt werden:

- Formmassenhersteller und Formmasse (Typenbezeichnung) des Vorprodukts (z. B. extrudierte Platten oder Flachstäbe, Filamente, Multifilamentgarne etc.), aus dem das Bewehrungsgitter gefertigt wird,

mit der Herstellerspezifikation für die Dichte und die Schmelze-Massefließrate sowie weitere Angaben zur Formmasse (Molekülmassenverteilung, Additive),

- Hersteller und Rezeptur der polymergebundenen Zuschlagstoffe (Masterbatch) und weiterer Verarbeitungshilfen,
- zusätzliche Angaben müssen gemacht werden, wenn diese für die eindeutige Festlegung des Werkstoffs erforderlich sind.

Der Antragssteller stellt Probenmaterial der Formmasse, des Masterbatches und der weiteren Verarbeitungshilfen zur Verfügung.

Es muss eine rechtsverbindliche Vereinbarung zwischen den Herstellern der Vorprodukte und dem Hersteller des Bewehrungsgitters über die Spezifikation aller verwendeten Werkstoffe bestehen. Im Anhang zur Zulassung gibt der Zulassungsnehmer eine rechtsverbindliche Erklärung über die verwendeten Werkstoffe ab. Die eindeutige Festlegung der Werkstoffe, die Überprüfbarkeit der Angaben durch die Zulassungsstelle und die Möglichkeit einer Kontrolle anhand der spezifizierten Werte ist grundsätzlich Voraussetzung, um eine Zulassung erteilen zu können.

Im Zulassungsschein werden wesentliche Eigenschaften der Vorprodukte und deren Spezifikation (Mittelwert und zulässige Toleranzen) angegeben, soweit sie nicht der Geheimhaltung unterliegen. Die wesentlichen Eigenschaften werden bei der Eigenüberwachung beim Vorprodukthersteller und bei der Eingangskontrolle und Fremdüberwachung beim Hersteller des Bewehrungsgitters überprüft (s. Tabelle 5).

In Tabelle 1 sind die charakteristischen Eigenschaften von Vorprodukten angegeben. Bei anderen Vorprodukten ergeben sich weitere bzw. andere wesentliche Eigenschaften, die im Einzelfall in Anlehnung an diese Tabelle festgelegt werden.

2.3. Eigenschaften des Bewehrungsgitters

Im Zulassungsschein werden die charakte-

ristischen Eigenschaften des Bewehrungsgitters in Anlehnung an DIN EN 13257 und im Hinblick auf die Erfordernisse der Bemessung angegeben (s. Tabelle 2 und Abschnitt 3). Diese Eigenschaften werden bei der Eigen- und Fremdüberwachung der Produktion des Bewehrungsgitters überprüft. Dazu werden die charakteristischen Werte für die Beurteilung im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung im Zulassungsschein festgelegt. Die charakteristischen Werte ergeben sich aus dem Mittelwert und der zulässigen Toleranz, die vom Hersteller auf der Grundlage einer statistischen Auswertung eigener Messergebnisse oder unter Berücksichtigung erfahrungsgestützter Sicherheitsfaktoren angegeben werden⁴.

Da die Produkte über eine CE-Kennzeichnung verfügen müssen, können die Kennwerte für die charakteristischen Eigenschaften aus der Leistungserklärung entnommen werden.

Im Abschnitt 3 werden die Zulassungsanforderungen an bestimmte charakteristische Eigenschaften angegeben.

Das Datenblatt des Bewehrungsgitters muss mindestens die Daten zu den für die Eigenüberwachung relevanten Eigenschaften dokumentieren.

2.4. Kennzeichnung

Das zugelassene Produkt muss mit einer fortlaufenden Kennzeichnung nach DIN EN ISO 10320 versehen und verpackt sein. Aus der Kennzeichnung auf dem Produkt muss die zugelassene Produkttype hervorgehen. Die Kennzeichnung muss so angebracht werden, dass sie zum Zeitpunkt des Einbaus gut lesbar ist. Jede Liefereinheit (Rolle) muss ein Etikett nach DIN EN ISO 10320 tragen, aus dem insbesondere der Hersteller, die Art des Produkts bzw. die Produktbezeichnung, die Typenbezeichnung, die Zulassungsnummer, die

Abmessungen, das Gewicht und ein firmeninterner Kode (Rollenummer) hervorgeht, aus dem direkt oder indirekt der Zeitpunkt der Produktion abgelesen werden kann und der in eindeutiger Weise den Unterlagen und Ergebnissen der Qualitätssicherungsmaßnahmen an der Liefereinheit zugeordnet ist. Im Einzelfall können weitere Angaben festgelegt werden. Ein Musteretikett wird der Zulassung als Anlage beigelegt.

2.5. Produktionsstätte und Produktionsverfahren

Die Produktionsstätte und das vom Hersteller detailliert zu beschreibende Produktionsverfahren werden als Bestandteil der Zulassung festgeschrieben. Alle speziellen Angaben zum Produktionsverfahren werden bei der Zulassungsstelle vertraulich hinterlegt. Vor Erteilung der Zulassung überzeugt sich die Zulassungsstelle durch einen Besuch der Produktionsstätte des Herstellers sowie der Produktionsstätte des Vorproduktherstellers von der Richtigkeit der zum Produktionsverfahren und zu den Geräten und Maschinen gemachten Angaben sowie davon, dass qualifiziertes Personal, Räume, Prüfeinrichtungen und sonstige Ausstattungen der Produktionsstätte und des Prüflabors eine einwandfreie Produktion und eine anforderungsgerechte Eigenüberwachung der Produktion gewährleisten.

Im Einzelfall muss der Hersteller nachweisen, wie aus dem gewählten Produktionsverfahren sich ergebende potenzielle Beeinträchtigungen einer einwandfreien Produktion durch Maßnahmen im Verfahrensablauf und im Qualitätsmanagement ausgeschlossen werden.

⁴ Das Verfahren zur Ermittlung der „zulässigen Toleranz“ einer Eigenschaft eines Produkts, die im Rahmen der CE-Kennzeichnung angegeben werden muss, ist nicht genau definiert. Sie ergibt sich aus den Verfahren und Anforderungen der werkseigenen Produktionskontrolle. Die Hersteller gehen dabei unterschiedlich vor. Oft wird ein Mittelwert über die Probenbreite und die zugehörige

Standardabweichung angegeben, deren Einhaltung durch die werkseigene Produktionskontrolle garantiert wird. Anwender fassen den Begriff nach der geltenden Anwendungsnorm jedoch meist so auf, dass bei einer großen Zahl von Einzelprüfungen dieser Eigenschaft 95 % der Prüfergebnisse innerhalb des tolerierten Bereichs liegen (95 %ige Vertrauensbereich).

3. Kennwerte des Bewehrungsgitters für die Bemessung

Das Bewehrungsgitter muss für mindestens 100 Jahre seine Funktion erfüllen. Eine Bemessung muss den Einwirkungen die nach 100 Jahren voraussichtlich noch vorhandenen Materialwiderstände gegenüberstellen und prüfen, ob diese Anforderung erfüllt ist. Aus der Standsicherheitsberechnung, die in Anlehnung an die Bemessungsregeln der EBGEO⁵ und in Erweiterung dieser Regeln, nach dem Stand von Wissenschaft und Technik, durchgeführt wird (s. Abschnitt 7 und Anhang 2 und 3), ergeben sich Anforderungen an bestimmte Bemessungswerte des Materialwiderstands der Bewehrung, die vom gewählten Bewehrungsgitter mindestens erfüllt werden müssen. Weiterhin müssen die unter den Einwirkungen langfristig auftretenden Verformungen und Verschiebungen ermittelt und es muss beurteilt werden, inwieweit diese „mit dem Zweck des Bauwerks verträglich“ sind. Das Bewehrungsgitter muss also so ausgewählt werden, dass es über die Funktionsdauer von mindestens 100 Jahren ausreichend tragfähig und zudem gebrauchstauglich bleibt.

Unter Verwendung vorgeschriebener lastfallabhängiger Sicherheitsfaktoren werden diese Bemessungswerte auf charakteristische Eigenschaftswerte des Bewehrungsgitters zurückgeführt, die in Prüfungen entweder bestimmt und oder aus Prüfwerten mit Abminderungsfaktoren errechnet werden können. Dies sind:

1. der charakteristische Wert der nach langer Zeit noch vorhandenen Zugfestigkeit $R_{B,k}$,
2. die Isochronenkurven,
3. der charakteristische Wert des Reibungsbeiwerts für die „Reibung“ zwischen Boden bzw. Geokunststoff und Bewehrungsgitter bzw. deren Oberfläche,

4. die Steifigkeit der Längselemente sowie die Festigkeit und verformungsabhängige Belastbarkeit der Verbindungsstellen.

Zu 1.: Die Langzeit-Zugfestigkeit $R_{B,k}$ ergibt sich aus der charakteristischen Kurzzeit-Zugfestigkeit $R_{B,k0}$, die aus dem in einer gewissen Anzahl von Zugversuchen nach DIN EN ISO 10319 ermittelten Mittelwert der Zugfestigkeit und der Streuung der Messwerte berechnet wird, unter Verwendung von Abminderungsfaktoren gemäß der Gleichung:

$$R_{B,k} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5}.$$

Dabei sollen die Abminderungsfaktoren A_1 bis A_5 experimentell so bestimmt werden, dass folgende Einflüsse auf der sicheren Seite abgeschätzt werden:

- A_1 Kriechen und duktilen Versagen,
- A_2 Beschädigungen bei Einbau, Transport und Verdichtung,
- A_3 Schwachstellen, die sich bei Fugen, Nähten, Verbindungen, Anbindungen an Bauteile ergeben,
- A_4 Umgebungseinflüsse, Witterung, innere und äußere Alterungsvorgänge oder sonstige nicht mechanische Beanspruchungen,
- A_5 dynamisch mechanische Beanspruchungen.

Eine Kraftübertragung über Fugen, Nähte, Verbindungen oder Anbindungen an Bauwerke sind bei Bewehrungsmaßnahmen im Bereich von Oberflächenabdichtungen grundsätzlich nicht erlaubt. Dynamische Beanspruchungen sind entsprechend der Maßgaben der EBGEO zu berücksichtigen. Die Abminderungsfaktoren A_3 und A_5 sind daher in der Berechnung mit 1,0 anzusetzen und werden für die Zulassung zum Deponiebau nicht näher betrachtet. Hinsichtlich der erforderlichen Nachweise für den

⁵EBGEO, Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen,

Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 2013.

Abminderungsfaktor A_2 wird auf den Abschnitt 6.2 dieser Zulassungsrichtlinie und den Abschnitt 2.2.4.6.1 der EBGeo verwiesen. Im Zulassungsschein werden $R_{B,k0}$ sowie die Abminderungsfaktoren A_1 und A_4 sowie typische Beispiele für A_2 angegeben.

Eine Zulassung kann grundsätzlich nur dann erteilt werden, wenn experimentelle Langzeituntersuchungen vorliegen, mit denen die Einflüsse des Kriechens und duktilen Versagens (Abminderungsfaktor A_1) und die Rückwirkung der Alterungsvorgänge und der Bewitterung auf die Festigkeit (Abminderungsfaktor A_4) quantitativ abgeschätzt werden können. Dabei muss gezeigt werden, dass sich aufgrund der Alterung keine wesentlichen nachteiligen Veränderungen im Kriechverhalten und der Tragfähigkeit für die Funktionsdauer von 100 Jahren ergeben (s. dazu den folgenden Abschnitt 4.3).

Zu 2.: Zur Erstellung eines Diagramms der Isochronenkurven wird in Kriechversuchen ermittelt, bei welchen Zugkräften sich nach welchen Zeiten welche Dehnungen ergeben. Die Isochronenkurve stellt dann für eine bestimmte Zeit den funktionalen Zusammenhang zwischen Auslastungsgrad (Zugkraft je Probenbreite/Kurzzeit-Zugfestigkeit) und Dehnung dar. Die Isochronenkurve für 100 Jahre wird aus den Kurven für kürzere Zeiten extrapoliert. Das Isochronendiagramm wird im Zulassungsschein dargestellt. Auch hier gilt: Eine Zulassung kann grundsätzlich nur dann erteilt werden, wenn experimentelle Langzeituntersuchungen vorliegen, mit denen die Rückwirkung der Alterungsvorgänge auf das Verformungsverhalten abgeschätzt werden kann. Aufgrund der Alterung dürfen sich keine wesentlichen nachteiligen Veränderungen im Verformungsverhalten ergeben.

Zu 3.: Typische Werte der charakteristischen Reibungsparameter für die Reibung zwischen der Oberfläche des Bewehrungsgitters und Geokunststoffen sowie zwischen Oberfläche des Bewehrungsgitters und Boden können in

Scherkastenversuchen und Herausziehversuchen z. B. nur an Längselementen ermittelt werden. In der Regel wird angenommen, dass sich die Reibungsparameter im Laufe der Zeit nicht verändern. Diese Annahme erscheint gerechtfertigt, wenn der Reibungswiderstand durch die Reibung zwischen den Bodenteilchen oder Geokunststoffoberflächen und den Oberflächen der Gitterelemente in deren Kontaktbereich bedingt ist: Alterungsvorgänge werden zunächst nur die Festigkeitseigenschaften nachteilig verändern. Erst in einem sehr fortgeschrittenen Stadium würden sich auch Oberflächeneigenschaften so verändern, dass sich Auswirkungen auf die Reibung ergäben.

Zu 4.: In der EBGeo wird davon ausgegangen, dass sich die Wechselwirkung zwischen Bewehrungsgitter und Boden beim Herausziehen als eine Art von Reibung auffassen lässt, auf die die Festigkeitseigenschaften des Bewehrungsgitters und alterungsbedingte Materialveränderungen keinen Einfluss haben. Die Reibung wird durch einen Verbundbeiwert charakterisiert, der im Herausziehversuch bestimmt wird. Für die Bemessung wird dann angenommen, dass bei gegebenem Verbundbeiwert der Herauszieh Widerstand proportional zur Auflast und zur Verankerungslänge anwächst, also die Zugkraft, mit der das Bewehrungsgitter belastet werden darf, auch immer verankert werden kann, wenn nur die Verankerungslänge oder die Auflast groß genug gewählt werden. Dieser Ansatz gilt jedoch nur für ein vollkommen starres Bewehrungsgitter, bei dem die mechanische Festigkeit der Verbindungsstellen und Querelemente viel größer ist als die höchstens bei der Beanspruchung durch den Erdwiderstand des Bodens zu übertragenden Zug- und Scherspannungen. Im Grenzzustand, wenn das Herausziehen beginnt, pflügt dann das starre und intakte Bewehrungsgitter durch den Boden und die dafür erforderliche Kraft würde in der Tat proportional zur vertikalen Spannung und der eingebetteten Länge anwachsen. Weiterhin gilt der Ansatz in dem speziellen Fall, wo tatsächlich nur die reine Oberflächen-

reibung in der Kontaktfläche zwischen Bodenpartikeln und Längselementen den Herauszieh Widerstand bedingt (Reibungsgitter). Diese Voraussetzungen sind jedoch im Allgemeinen bei Bewehrungsgitter aus Kunststoff nicht erfüllt⁶.

Aufgrund einer begrenzten Steifigkeit der Längselemente aus Kunststoff wird sich eine Herausziehungskraft immer nur über eine gewisse aktivierte Länge verteilen, völlig unabhängig davon, wie groß tatsächlich die eingebettete Länge ist. Die Verbindungsstellen, die den Erdwiderstand in Front der Querelemente und die Reibungskräfte, die die Querelemente erfahren, auf die Längselemente übertragen, werden dabei in unterschiedlicher Weise belastet. Die Verformung und die zu übertragende Zugkraft sind im vorderen Bereich groß, zum Ende der aktivierten Länge hin nehmen sie dann ab. Der Herauszieh Widerstand findet dabei seine obere Grenze in der Belastbarkeit der Verbindungsstellen und Querelemente. Die aus dem Erdwiderstand resultierende Zugkraft, die je Verbindungsstelle übertragen werden muss, ist zwar klein und in der Größenordnung von maximal einigen hundert Newton. Bei der spezifischen Beanspruchung im Boden sind die Festigkeiten der Verbindungsstelle aber nicht notwendigerweise immer viel größer. Wie groß sie sind, hängt eben von der Art und Beschaffenheit des jeweiligen Bewehrungsgitterprodukts ab. Bewehrungsgitter, bei denen nicht die Reibung, sondern der Erdwiderstand vor den Querelementen maßgeblich zum Herauszieh Widerstand beiträgt, werden hier als Erddruckgitter bezeichnet.

Die Festigkeit und Verformung der Verbindungsstellen (und der Querelemente) unter der spezifischen Beanspruchung im Boden bei einer bestimmten Auflast und deren Langzeitverhalten bestimmt den möglichen

Herauszieh Widerstand. Noch zulässiger Herauszieh Widerstand und mindestens erforderliche Verankerungslänge können streng genommen nicht anhand des experimentell im Herausziehversuch ermittelten Verbundbeiwerts berechnet werden. Dies wäre nur für ein Reibungsgitter möglich.

Derzeit wird im Arbeitskreis 5.2 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) eine Überarbeitung der EBGEO diskutiert, die die Auswirkungen der begrenzten Steifigkeit der Längselemente auf die Bemessung berücksichtigt. Die Grenzen der Belastbarkeit der Verbindungsstellen im Hinblick auf Kräfte und Verformungen und die Auswirkungen, die diese Grenzen auf die Bemessung haben, muss im Rahmen der Zulassung geklärt werden. Inzwischen stehen halbempirische rechnerische Methoden zur Verfügung, mit denen die Auswirkungen auf das Verhalten von Bewehrungsgittern in Einbindegräben berechnet werden können. Wie dabei vorgegangen wird, um die begrenzte Steifigkeit der Längselemente sowie die Festigkeit und verformungsabhängige Belastbarkeit der Verbindungsstellen zu ermitteln wird im Anhang 2 erläutert.

Wenn von Festigkeit der Verbindungsstellen gesprochen wird, so ist hier in der Regel die Festigkeit unter den spezifischen Beanspruchungen im Boden gemeint. Daneben können Festigkeitseigenschaften in Zug-Scherversuchen im Labor ermittelt werden. Die Prüfung dieser Eigenschaften im Labor ist für die Qualitätssicherung wichtig. Sie kann auch als Indexprüfung für Alterungsversuche verwendet werden. Aus den Werten der Festigkeitsprüfung an Verbindungsstellen im Labor kann unter Umständen auch schon auf die Eignung geschlossen werden, s. dazu den Anhang 3. Voraussetzung dafür ist, dass das

⁶ Ziegler, M., Timmers, V.: A New Approach to Design Geogrid Reinforcement. In: Proceedings of the Third European Geosynthetic Conference. Floss, R., Bräu, G., Nußbaumer, M. and Laackmann, K. (Hrsg.), DGGT and TUM-ZG, München, 2004.

Müller, W.: Zur Bemessung der Verankerung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff beim Schutz von Böschungen vor hangparallelem Gleiten. Bautechnik 88(2011), H. 6, S.

347-362.

Jacobs, F., Ziegler, M., Vollmert, L. und Ehrenberg, H.: Explicit design of geogrids with a nonlinear interface model. In: Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics. Ziegler, M., et al. (Hrsg.). Essen, Germany: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) 2014.

Doktorarbeit von Jacobs, F. siehe: <http://publications.rwth-aachen.de/record/680774/files/680774.pdf>.

Versagensverhalten im Laborversuch mit dem im Boden vergleichbar ist und dort nicht zusätzliche Verformungs- oder alterungsbedingte Versagensvorgänge auftreten (z. B. Aufschälen statt Abscheren oder Versagen durch Spannungsrisssbildung). Die Möglichkeiten die Eigenschaften von Verbindungsstellen und deren Langzeitverhalten zu untersuchen, werden im Abschnitt 4.3.4 näher beschrieben. Für Queerelemente gelten in der Regel die gleichen Anforderungen an das Langzeitverhalten wie für die Längselemente (Abschnitt 4.3). Auf die Bestimmung des Herauszieh Widerstandes wird im Abschnitt 4.4 eingegangen. Im Abschnitt 7 werden Hinweise gegeben, die, abhängig von den Eigenschaften eines Bewehrungsgitters, bei der Bemessung einer langfristig sicheren Verankerung berücksichtigt werden müssen.

4. Anforderungen an die Bewehrungsgitter

Im Folgenden werden die Zulassungsanforderungen an die Eigenschaften der Bewehrungsgitter beschrieben. Die Prüfungen werden von der BAM im Fachbereich 4.3, Themenfeld „Kunststoffe in der Geo- und Umwelttechnik“ und in von der BAM anerkannten Prüfstellen durchgeführt (Abschnitt 11 gibt eine Liste bereits anerkannter Prüfstellen). Es werden dabei Prüfungen zu den allgemeinen physikalischen Eigenschaften, zu den mechanischen Eigenschaften (Zugversuch), zum Kriechen unter Zugbeanspruchung, zur Beständigkeit, zur Wechselwirkung mit dem Boden, zum Alterungsverhalten sowie zu den Eigenschaften der Verbindungsstellen durchgeführt.

In begründeten Einzelfällen kann die Zulassungsstelle abweichend von den hier aufgeführten technischen Anforderungen und in Ergänzung dazu Sonderregelungen treffen. Diese besonderen technischen Anforderungen werden nach Rücksprache und Erörterung mit dem Fachbeirat für die Zulassung festgelegt.

4.1. Allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften

In der Tabelle 1 sind charakteristische Eigenschaften von Vorprodukten beschrieben. Die Auswahl der erforderlichen Prüfungen richtet sich nach den Werkstoffen und der Eigenart der Vorprodukte. Prüfanforderungen und Werkvorschriften sind in der Regel Werksgeheimnisse des Herstellers, die bei der Zulassungsstelle vertraulich hinterlegt werden.

In den Tabellen 2a und 2b sind die charakteristischen Eigenschaften eines Bewehrungsgitters aus Kunststoff zusammengestellt. Die Zugfestigkeit, die Qualität der Verbindungsstellen, die Isochronenkurven, das Zeitstandverhalten sowie das Reibungs- und Herausziehverhalten sind im Hinblick auf die Anwendung wesentliche Eigenschaften. Hinzu kommt die Robustheit gegen Beanspruchungen durch den Einbau. Wobei die zugehörige Prüfung zugleich auch als Nachweis der Eignung des Einbauverfahrens aufgefasst werden muss. Die anderen Eigenschaften dienen nur zur Typisierung, als Identifikationsmerkmale und als Vergleichsgrößen im Rahmen der Qualitätssicherung.

4.2. Grundprüfungen zur Beständigkeit

In einem von der internationalen Normungsorganisation herausgegebenen *Leitfaden zur Beständigkeit von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten* (ISO/TS 13434) werden „Grundprüfungen“ zur Beständigkeit (Hydrolyse, Oxidation, Angriff von Mikroorganismen und Bewitterung) zusammengestellt, mit denen eine Mindestfunktionsdauer von 25 Jahren gewährleistet wird (s. Tabelle 3). Die Prüfungen gehen dabei von einem Umgebungsmilieu mit pH 4–9 und einer Temperatur von höchstens 25 °C aus. Diese Prüfungen werden in z. T. modifizierter Form im Zusammenhang mit der CE-Kennzeichnung durchgeführt.

Ergänzend zu diesen Grundprüfungen wird bereits am Vorprodukt bzw. an der Formmasse die Spannungsrisssbeständigkeit geprüft, wenn

aufgrund der Art des Werkstoffs und der Ausbildung der Komponenten eines Bewehrungsgitters die Spannungsrisssbildung eine Rolle spielen kann (z. B. bei Bewehrungsgittern, die aus spannungsrissempfindlichen Formmassen extrudiert werden), s. Tabelle 1 Nr. 14.

Die Bewehrungsgitter müssen über eine hohe Witterungsbeständigkeit verfügen. Dennoch sollten sie möglichst wenig der UV-Strahlung ausgesetzt werden, da diese die Kunststoffe in der Regel stark beansprucht. Die UV-Strahlung wird die Stabilisierung verschlechtern und kann autokatalytische Reaktionen in Gang setzen, die auch nach der Abdeckung noch weiterlaufen. Abweichend von DIN EN 13257 gilt daher auch bei hoher Witterungsbeständigkeit des Geokunststoffs im Deponiebau die Grundregel, dass das eingebaute Gitter innerhalb von zwei Tagen überbaut werden soll und spätestens innerhalb einer Woche überbaut werden muss.

Für die Zulassung kommen von vornherein nur solche Bewehrungsgitter in Betracht, die mindestens diese Grundprüfungen bestehen.

4.3. Langzeitverhalten

Materialien und Verfahren, die bei der Produktion des Bewehrungsgitters eingesetzt werden, müssen so gewählt werden, dass die Funktionserfüllung des eingebauten Produkts unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen in der Oberflächenabdichtung über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren gewährleistet ist. Das Bewehrungsgitter wird dabei planmäßig und dauerhaft durch Zugkräfte beansprucht. Für den Nachweis dieser sehr langen Funktionsdauer sind spezielle Langzeituntersuchungen erforderlich. Zunächst wird das Verhalten des Bewehrungsgitters unter Zugkräften in Kriechversuchen untersucht, daraus die isochronen Spannungs-Dehnungs-Diagramme ermittelt und in Zeitstandversuchen die bei unterschiedlichen Zugkräften erreichbaren Standzeiten bestimmt (s. Abschnitt 4.3.1). Die Prüfergebnisse können für die Bemessung jedoch nur dann verwendet werden, wenn gezeigt werden kann, dass sich im Verlauf von

100 Jahren die Materialeigenschaften des Bewehrungsgitters, welche die Festigkeiten und das Verformungsverhalten bedingen, nicht wesentlich verändern werden. Dazu werden dann Alterungsversuche an unbelasteten Proben durchgeführt. Die Ausgestaltung dieser Versuche richtet sich nach den Alterungsvorgängen, die für das jeweilige Material des Bewehrungsgitters relevant sind (s. Abschnitt 4.3.2 und 4.3.3).

Diese Vorgehensweise ist jedoch nur dann gerechtfertigt, wenn gezeigt werden kann, dass durch die einwirkenden Kräfte die Alterungsvorgänge nicht beschleunigt werden und dass keine neuen alterungsähnlichen Versagensmechanismen in Gang gesetzt werden. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, so muss die Auswirkung der Kräfte auf das Langzeitverhalten in Zeitstandversuchen mit „kombinierter“ Einwirkung untersucht werden (s. Abschnitt 4.3.4).

Schließlich müssen die Bereiche der Verbindung von Längs- und Querelementen besonders geprüft werden, da sich hier ein von den Elementen des Bewehrungsgitters abweichendes Materialverhalten ergeben kann (s. Abschnitt 4.3.5).

Bei einem Untersuchungsprogramm muss weiterhin berücksichtigt werden, ob die Längs- und Querelemente aus unterschiedlichen Materialien gefertigt werden, ob die Elemente beschichtet sind oder aus einer Kombination mehrerer Materialien bestehen.

Das Langzeitverhalten eines Bewehrungsgitters hängt von dessen Material, seiner Art und konstruktiven Gestaltung ab. Es gibt daher keine „Standardprüfung“ für alle Bewehrungsgitter. Für jedes Produkt bzw. jede Produktfamilie muss vielmehr ein Prüfprogramm erarbeitet werden, das die Besonderheiten des Produkts berücksichtigt. Dies sei exemplarisch an zwei Fällen erläutert.

Bei einem gestreckten Bewehrungsgitter aus Polyethylen hoher Dichte ist die Oxidation der wesentliche, die Lebensdauer begrenzende Alterungsmechanismus. Ein durch äußere Kräfte hervorgerufener Spannungszustand wird die

Oxidation eher verlangsamen. Dieser Zusammenhang ist gut belegt. Es können also die unten beschriebenen Warmlagerungs- und Immersionsversuche durchgeführt werden (s. Abschnitt 4.3.1). Bei diesem Material können die einwirkenden Kräfte jedoch eine Spannungsrissbildung auslösen. Dieser Mechanismus könnte zum Versagen des Materials bei der Einwirkung von Kräften führen, die weit unterhalb des in den Versuchen zur Festigkeit ermittelten Niveaus liegen. Es müssen daher Zeitstandversuche mit „kombinierter“ Beanspruchung durchgeführt werden. Die Spannungsrissbildung wird voraussichtlich in den wenig verstreckten Verbindungsbereichen von Längs- und Querelementen auftreten, auf die sich die Untersuchung konzentrieren muss (s. Abschnitt 4.3.4).

Bei einem gelegten oder gewebten Bewehrungsgitter aus Polyester wird zunächst zu klären sein, ob das gewählte Polyestermaterial unter den Milieubedingungen auf der Deponieoberflächenabdichtung tatsächlich beständig gegen die Oxidation und gegen die äußere Hydrolyse ist. Der relevante Alterungsvorgang ist dann die innere Hydrolyse (s. Abschnitt 4.3.3). Dazu können Immersionsversuche an unbelasteten Proben durchgeführt werden, da auch hier ein Spannungszustand den hydrolytischen Abbau vermutlich nicht beschleunigen wird. Dieser Sachverhalt wurde in einzelnen bereits vorliegenden Untersuchungen festgestellt.

Im nächsten Schritt müssen die Verbindungsstellen untersucht werden (s. Abschnitt 4.3.5). Sind die Elemente verschweißt, so muss das Alterungsverhalten und die Festigkeit der Schweißnähte in Zeitstandversuchen unter „kombinierter Einwirkung“ ermittelt und dazu Verfahren angegeben werden, mit denen die Festigkeit der Schweißnähte charakterisiert werden kann. Bei anderen Verbindungskonstruktionen muss im Einzelfall überlegt werden, welche besonderen Versagensmechanismen sich ergeben könnten und wie diese prüftechnisch charakterisiert werden können.

Gegebenenfalls müssen ergänzend zu den

noch zulässigen Beanspruchungen des Bewehrungsgitters besondere Anforderungen an die noch zulässige Beanspruchung der Verbindungsbereiche festgelegt werden.

Bei anderen Werkstoffen und Produkten (z. B. gelegte Bewehrungsgitter aus Polypropylen, pultrodierte PE-PET-Bewehrungsgitter oder andere mehrschichtige Bewehrungsgitter, gewebte Bewehrungsgitter aus Polyvinylalkohol usw.) muss von einem umfassenden, alle Einwirkungen berücksichtigenden Prüfprogramm ausgegangen werden.

4.3.1 Zugfestigkeit und Isochronenkurven

Es müssen sowohl Kriechversuche als auch Zeitstandversuche nach DIN EN ISO 13431 durchgeführt werden (Tabelle 2 Nr. 2.9 und 2.10). Aus den Kriechversuchen werden die Isochronenkurven ermittelt. Die Zeitstandversuche dienen zur Bestimmung des Abminderungsfaktors A_1 .

Für die Erstellung einer Isochronenkurve eines Produkts oder eines für eine Produktfamilie repräsentativen Produkts müssen Prüfungen bei mindestens vier Auslastungsgraden zwischen 10 % und 60 % der Kurzzeitzugfestigkeit mit einer Prüfdauer von mindestens 10.000 h durchgeführt werden. Die Kurven für 100.000 h und 1.000.000 h werden aus den vorhandenen Isochronenkurven, von Zeiten bis zu 10.000 h, extrapoliert.

Bei der Zulassung einer Produktfamilie muss nachgewiesen werden, dass die Isochronenkurven der Produkte der Familie mit denen des repräsentativen Produkts übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, müssen die Isochronenkurven für jedes Produkt ermittelt werden. Für den Nachweis der Übereinstimmung gelten folgende Anforderungen: Aus der Produktfamilie werden je nach deren Umfang Produkte mit niedrigeren und höheren Kurzzeitfestigkeiten ausgewählt und in Kriechversuchen geprüft. Dabei wird eine Kriechkurve bei mindestens 2 Auslastungsgraden über eine Prüfdauer von mindestens 100 h gemessen. Die so ermittelten Daten zur Isochronenkurve dürfen keine

signifikante Abweichung von den Daten des repräsentativen Produkts ergeben.

Für die Erstellung einer Zeitstandkurve eines Produkts oder eines für eine Produktfamilie repräsentativen Produkts müssen Zeitstandzugversuche bei mindestens 12 verschiedenen, gleichmäßig abgestuften Zugkräften durchgeführt werden. Die kleinste Zugkraft muss dabei so gewählt werden, dass Standzeiten von mindestens 10.000 h erreicht werden. Für den Nachweis der Übereinstimmung gelten folgende Anforderungen: Aus der Produktfamilie werden je nach deren Umfang Produkte mit niedrigeren und höheren Kurzzeitfestigkeiten ausgewählt und in Zeitstandzugversuchen geprüft. Dabei werden Versuche bei mindestens 4 verschiedenen Zugkräften durchgeführt. Die kleinste Zugkraft muss dabei so gewählt werden, dass Standzeiten von mindestens 1.000 h erreicht werden. Die so ermittelten Daten zu den Standzeiten dürfen keine signifikante Abweichung von den Daten des repräsentativen Produkts ergeben.

Alternativ kann für die Ermittlung der Zeitstandkurve auch die sogenannte Stepped Isothermal Method (SIM) nach ASTM D 6992 herangezogen werden (Tabelle 2 Nr. 2.11). Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse der SIM-Versuche muss aber immer durch einen Vergleich mit einem herkömmlichen Zeitstandversuch (eine Zugkraft, mindestens 10.000 h Prüfdauer) abgesichert werden.

4.3.2 Oxidation und Auslaugung von Stabilisatoren

Die Beständigkeit gegen den oxidativen Abbau bei Polyolefinen wird in Warmlagerungsversuchen im Umluftwärmeschrank in Anlehnung an DIN EN ISO 13438 und in Auslaugversuchen in Anlehnung an DIN EN 14415 bei einer Lagerungstemperatur von jeweils 80 °C untersucht (s. Tabelle 4 Nr. 4.1 und 4.2)⁷. Die Lagerungszeit muss mindestens ein Jahr betragen. Untersucht werden die Veränderungen der mechanischen Kennwerte (Höchstzugkraft und

Dehnung bei der Höchstzugkraft) sowie des Stabilisatorgehaltes und der Kristallinität. Der Stabilisatorgehalt wird nach einer Fest-flüssig-Extraktion durch UV-Spektroskopie, HPLC-Analyse und indirekt über OIT-Messungen am Produkt selbst bestimmt. Das gewählte Messverfahren richtet sich nach der Art der Stabilisierung. Die Kristallinität wird in einer DSC-Messung ermittelt. Die Anforderungen sind in Tabelle 4 angegeben.

Anforderungen an andere Rohstoffe/Arten von Produkten (z. B. Polyester, Polystyrol, PVC etc.) werden in sinngemäßer Übertragung der Anforderungen der Tabelle 4 festgelegt.

Wenn die oxidative Alterung zu einem allmählichen Festigkeitsverlust führt, so muss auch hier ein Abminderungsfaktor A_4 in Analogie zu dem im Folgenden für die Hydrolyse beschriebenen Verfahren ermittelt werden.

4.3.3 Hydrolyse

Die Beständigkeit gegen den Alterungsvorgang der inneren Hydrolyse wird durch Immersionsversuche in Anlehnung an DIN EN 12447 geprüft. Das Verfahren der Probenahme und der mechanischen Prüfungen lehnt sich an DIN EN 12226 an. Als Prüfmedium wird entionisiertes Wasser verwendet. Bei mindestens vier Immersionstemperaturen (z. B. 50, 60, 70 und 80) werden Proben für mindestens 10 Entnahmen mit jeweils mindestens 10 Probekörpern aus dem Längselement mit Verbindungsstellen und bei andersartigen Eigenschaften auch 10 Probekörper aus dem Querelement mit Verbindungsstellen eingelagert. Die Versuche müssen über mindestens 10.000 h geführt werden. Die Vorbereitung, Konditionierung, Einlagerung und Entnahme der Proben wird in einer eigenen Prüfvorschrift geregelt. Beschichtete Proben dürfen nur dann eingelagert werden, wenn für den Bereich der Prüftemperaturen in stichprobenartigen Untersuchungen gezeigt wird, dass die Beschichtung keinen Einfluss auf das Prüfergebnis hat. An den entnommenen Proben werden Zugversuche zur

⁷ Müller, W., Jakob, I., Li, C. S. und Tatzky-Gerth, R.: Durability of polyolefin geosynthetic drains. Geosynthetics

International, 16(2009), H. 1, S. 28-42.

Bestimmung der Höchstzugkraft und der Dehnung bei der Höchstzugkraft durchgeführt sowie der Gehalt an Carboxylendgruppen oder die Grenzviskositätszahl bestimmt, die beide als Maß für den Abbau des mittleren Molekulargewichts dienen sollen. Die Auswahl des Prüfverfahrens für die mechanischen Prüfungen richtet sich nach DIN EN 12226. Weiterhin wird die Glasübergangstemperatur ermittelt. Die Daten ergeben die Abbaukurven für die Zugfestigkeit bei den unterschiedlichen Lagerungstemperaturen. Für eine gegebene Abminderung der Zugfestigkeit werden aus den Abbaukurven die zugehörigen Lagerungszeiten ermittelt. Diese Zeiten werden in ein Arrhenius-Diagramm eingetragen und durch lineare Extrapolation die Funktionsdauer unter Anwendungsbedingungen abgeschätzt. Dies geschieht für verschiedene Abminderungen. Der Abminderungsfaktor A_4 für die Zugfestigkeit wird schließlich so gewählt, dass die extrapolierte Funktionsdauer bei 20 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % größer als 100 Jahre ist. Ebenso wird der zeitliche Verlauf des molekularen Abbaus bei den verschiedenen Temperaturen ausgewertet. Daraus kann auch der Zusammenhang zwischen der Abnahme des Molekulargewichts und der Zugfestigkeit bestimmt und insbesondere Abbaukurven bei niedrigen Temperaturen überprüft werden. In Tabelle 4 Nr. 4.5 wird ein Immersionsversuch zur Prüfung der Beständigkeit gegen den äußeren hydrolytischen Abbau bei Bewehrungsgittern aus Polyester (PET) angegeben⁸. Diese Prüfung muss herangezogen werden, wenn in Abstimmung mit der Zulassungsstelle ein Bewehrungsgitter unter speziellen Bedingungen bei pH > 9 eingesetzt werden soll.

4.3.4 Alterung unter der Einwirkung von Zugkräften: Zeitstandzugversuche bei höheren Temperaturen und Medieneinfluss

Zur Prüfung des Alterungsverhaltens unter der

Einwirkung von Zugkräften werden Zeitstandzugversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 13431 durchgeführt. Solche Versuche sind dann erforderlich, wenn mechanische Spannungen erhebliche Auswirkungen auf das Alterungsverhalten haben oder haben können. Wenn solche Effekte nur im Bereich der Verbindungsstellen auftreten, genügt es entsprechende Versuche an den Verbindungsstellen durchzuführen, s. dazu Abschnitt 4.3.5.

Geprüft wird an Probekörpern aus Längs- und falls erforderlich auch Querelementen jeweils mit Verbindungsstellen. Die Auslastungsgrade der Höchstzugkraft sind so zu wählen, dass sich von den insgesamt zwölf Einzelprüfungen jeweils mindestens 3 Standzeiten in den Bereichen zwischen 10 h und 100 h, 100 h und 1.000 h, 1.000 h und 10.000 h, sowie über 10.000 h ergeben.

Die so bestimmte Zeitstandkurve ist für mindestens 3 Temperaturen in einem für den Alterungsvorgang relevanten Medium zu ermitteln. Zur Bestimmung der Zeitstandkurve und zu deren Extrapolation auf die Temperatur der Anwendung ist die ISO/TR 20432 zu berücksichtigen.

Aus dem Vergleich mit der Zeitstandkurve, die aus Untersuchungen bei der Anwendungstemperatur nach DIN EN ISO 13431 extrapoliert wurde, ergibt sich der Abminderungsfaktor A_4 .

4.3.5 Untersuchungen der Eigenschaften und des Langzeitverhaltens der Verbindungsstellen

Die Verbindungsstellen der Bewehrungsgitter können in unterschiedlicher Weise ausgebildet sein. Über Art und Umfang der Alterungsversuche wird im Einzelfall entschieden. Alterungsversuche sind in der Regel erforderlich, wenn die Kraftübertragung im Bereich der Verbindungsstellen nicht nur über eine reine Reibung zwischen den sich kreuzenden Elementen erfolgt. Da bislang kaum Erfahrungen mit Alterungsversuchen an Verbindungsstellen

⁸ Schröder, H. F.: Ermittlung des Einflusses der alkalischen Hydrolyse auf die Langzeitbeständigkeit von hochfesten Polyester (PET)-Garnen für Geotextilien. Fraunhofer IRB

Verlag, 1999.

vorliegen, können hier nur vorläufige Festlegungen hinsichtlich der Versuchsdurchführung und Bewertung getroffen werden.

Bei Erddruckgittern kann die Festigkeit der Verbindungsstellen in Zugversuchen in Anlehnung an GRI GG2 bestimmt werden⁹. Dazu müssen unter Umständen speziell an die Eigenart der Verbindungsstellen angepasste Klemmen entwickelt werden. Das Kraft-Weg-Diagramm und das Versagensbild müssen für mindestens 20 Einzelproben dokumentiert werden (s. Tabelle 2 Nr. 2.8).

Bei der Zugprüfung im Labor werden die Querstäbe eingespannt, die eigentliche Verbindungsstelle liegt jedoch frei. Unter den Bedingungen der Anwendung sind die Verbindungsstellen einem lokal variierenden Druck ausgesetzt. Die Zugfestigkeitseigenschaften der im Boden eingebetteten Verbindungsstelle unter einer gleichzeitig einwirkenden Druckspannung werden sich von denen einer Verbindungsstelle im Zugversuch im Labor unterscheiden. Aus den Laborversuchen kann daher noch nicht auf die Festigkeitseigenschaften im Boden geschlossen werden. Sie bietet jedoch einen Anhaltspunkt für die Festigkeit, mit der höchstens gerechnet werden kann.

Die Untersuchung der Beständigkeit kann abgestuft erfolgen. Ziel ist es dabei, Abminderungsfaktoren für die Festigkeit zu ermitteln, mit denen nach Gl. (8) im Anhang 3 eine Langzeitfestigkeit angegeben werden kann.

Zunächst kann die Beständigkeit der Verbindungsstellen ohne mechanische Beanspruchung in Einlagerungsversuchen bestimmt werden. Die Auswahl des Prüfmediums und der Prüfbedingungen richtet sich nach dem Werkstoff und den relevanten Alterungsvorgängen. Die Proben müssen spannungsfrei in eine Halterung montiert werden, die einerseits die Form fixiert andererseits die Einwirkung der Prüfflüssigkeit nicht behindert. Die Prüfung der Höchstzugkraft in Anlehnung an GRI GG2 erfolgt je Entnahme an mindestens zehn

Einzelproben (s. Tabelle 2 Nr. 2.8). Bei Bewehrungsgittern aus PET werden die Proben in Anlehnung an DIN EN 12447 bei 60 °C über mindestens ein Jahr eingelagert. In regelmäßigen Abständen erfolgen vier Entnahmen. Der Abfall der relativen Höchstzugkraft sollte nicht mehr als 25 % betragen.

In einem zweiten Schritt kann das Alterungsverhalten der Verbindungsstellen unter Einwirkung einer Zugkraft in Anlehnung an die DIN EN ISO 13431 bei erhöhter Temperatur untersucht werden, s. dazu Abschnitt 4.3.4. Die Krafteinleitung auf die Verbindungsstellen erfolgt durch eine Vorrichtung, die in Anlehnung an GRI GG2 gestaltet wird. Die Auswahl der Prüfmedien richtet sich nach den relevanten Alterungsmechanismen. Produkte aus Polyester müssen im Wasser, solche aus Polyolefinen in Wasser und an Luft geprüft werden. Es sind Zeitstandkurven bei zunächst mindestens einer Prüftemperatur (z. B. 60 °C bei Produkten aus Polyester und 80 °C bei Polyolefinen) und verschiedenen Auslastungsgraden zu ermitteln. Zur Bestimmung der Zeitstandkurve und zu deren Extrapolation auf die Temperatur der Anwendung ist die ISO/TR 20432 zu berücksichtigen. Aus dem Kehrwert des Auslastungsgrads für die Höchstzugkraft der Verbindungsstelle für eine Zeitdauer von 100 Jahren bei einer Temperatur von beispielsweise 20 °C könnte aus solchen Versuchen im Prinzip ein Anhaltspunkt für die Abminderung der Festigkeit der Verbindungsstelle bestimmt werden. Je nach dem Ausmaß des Abweichens des Verhaltens der Verbindungsstellen von dem der Längs- und Querelemente kann eine dritte Stufe erforderlich sein. Die in eingebetteten Verbindungsstellen von den Quer- auf die Längselemente übertragbaren Kräfte werden voraussichtlich größer sein, als es die Kurzzeit-Zugfestigkeit der freien Verbindungsstelle erwarten lässt. In einem dritten Schritt könnten daher ergänzend zu den oben beschriebenen Prüfungen zur Beständigkeit und zum

⁹ Kupec, J., McGown, A. and Ruiken, A.: Junction Strength Testing for Geogrids. In: Proceedings of the Third European Geosynthetic Conference. Floss, R., Bräu, G., Nußbaumer,

M. and Laackmann, K. (Hrsg.), DGGT and TUM-ZG, München, 2004.

Zeitstandverhalten „freier“ Verbindungsstellen Zeitstand-Scherversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 25619-1 durchgeführt werden, um diesen Effekt zu untersuchen.

Dazu würde in einer speziellen noch zu entwickelnden Versuchseinrichtung auf die Verbindungsstelle eine Scherkraft im Bereich der Kurzzeit-Scherfestigkeit und gleichzeitig eine Druckkraft aufgebracht. Bei Bewehrungsgittern aus PET müssten die so beanspruchten Proben in Anlehnung an DIN EN 12447 bei 60 °C über mindestens ein Jahr eingelagert werden. Bei Bewehrungsgitter aus Polyolefinen müssten die so eingespannten Proben bei 80 °C über mindestens ein Jahr gut belüftet an Luft gelagert werden. Kommt es unter diesen Bedingungen zum Versagen, bliebe als letzter Schritt die Messung von Zeitstandkurven. Es wären dann Zeitstandkurven bei mindestens drei verschiedenen Prüftemperaturen (z. B. 80 °C, 70 °C und 60 °C) zu ermitteln. Zur Bestimmung der Zeitstandkurve und zu deren Extrapolation auf die Temperatur der Anwendung ist die ISO/TR 20432 zu berücksichtigen. Aus dem Kehrwert des Auslastungsgrads für die Festigkeit der Verbindungsstelle für eine Zeitdauer von 100 Jahren bei einer Temperatur von beispielsweise 20 °C ergibt sich damit der Abminderungsbeiwert der Festigkeit der Verbindungsstellen. Der Abminderungsbeiwert ist abhängig von der Nutzungsdauer und von der Temperatur.

4.3.6 Beurteilung der Eigenschaften von Erddruckgittern

Die Festigkeit und Haltbarkeit von Verbindungsstellen ist im Falle der Erddruckgitter eine wesentliche, das Herausziehverhalten beeinflussende Eigenschaft. Bei Erddruckgittern ist eine Zulassung daher nur dann möglich, wenn neben der Charakterisierung der Eigenschaften der Längselemente auch ein Verfahren zur Beschreibung der Eigenschaften der Verbindungsstellen erarbeitet wird. Für jeden Bewehrungsgittertyp muss daher ein Probenhalter entwickelt werden, der an die Eigenart der Gestaltung des jeweiligen Typs

(geschweißt, extrudiert, gewebt, etc.) angepasst ist. Mit solch einer Probenhalterung kann nicht nur die Zugscherfestigkeit ermittelt werden. Sie bietet auch die Möglichkeit für weitergehende Untersuchungen z. B. zum Alterungsverhalten oder zur Zeitstand-Zugscherfestigkeit, wie sie im vorherigen Abschnitt 4.3.5 beschrieben wurden.

Es muss geklärt werden, ob die Alterung von Verbindungsstellen (Raschelfaden, Schweißnaht, wenig orientierte Übergangsbereiche) derjenigen von Längselementen entspricht. Ist mit zusätzlichen Alterungseffekten zu rechnen, müssen diese experimentell untersucht werden, siehe dazu den vorherigen Abschnitt. Man denke wieder an das Beispiel der Spannungsrissbildung bei extrudierten Bewehrungsgittern. Hier wäre die Frage zu beantworten, bei welchem Niveau der Zugscherkraft Spannungsrissbildung überhaupt auftritt. Auf der Grundlage solcher Prüfungen bietet die im Anhang 3 angegebene Bemessungsgleichung (Gl. (3)) zusammen mit den erforderlichen Abminderungen (Gl. (8)) die Möglichkeit einer ersten Einschätzung des Anwendungsbereichs des Bewehrungsgitters.

In Versuchen an reinen Längselementen und Längselementen mit einem, zwei und drei Querelementen müssen die charakteristischen Funktionen des Bewehrungsgitters bestimmt werden, s. dazu die Erläuterungen im Anhang 3. Erforderlich ist die Messung der Reibungskraft und des Erdwiderstands als Funktion der Verschiebung in verschiedenen Böden. Der relative Anteil von Reibung und Erdwiderstand an der Beanspruchung des einzelnen Querelements kann so ebenfalls ermittelt werden. In solchen Versuchen muss auch geklärt werden, ob ein zusätzliches, von der Verschiebung abhängiges Versagenskriterium für die Verbindungsstelle neben dem in Anlehnung an Anhang 3 ermittelten Festigkeitskriterium erforderlich ist.

Die Steifigkeit der Längselemente muss aus isochronen Spannungs-Dehnungs-Diagrammen ermittelt werden. Dabei wird unterstellt, dass über die Gebrauchsdauer des

Bewehrungsgitters die Alterung der Längselemente deren Spannungs-Dehnungs-Verhalten nicht wesentlich verändert. Der Abminderungsfaktor A_4 für die Längselemente findet in dieser Forderung eine obere Grenze. Ein Festigkeitsverlust durch Alterung darf nur in dem Umfang in Kauf genommen werden, wie sich dabei Verformungseigenschaften nicht ändern. Mit all diesen Informationen kann in die Modellierung des Verhaltens des Bewehrungsgitters in einem Einbindegraben nach dem Modell von F. Jacobs und M. Ziegler (oder einem äquivalenten Modell) eingestiegen werden, s. Anhang 2. Die Parametrisierung des Modells für ein bestimmtes Bewehrungsgitter wird im Rahmen des Zulassungsverfahrens an klein- und großmaßstäblichen Herausziehversuchen überprüft werden. Anhand von Parameterstudien ist dann zu klären, ob überhaupt – und wenn ja, für welche Steifigkeit von Verbindungsgräben – die herkömmliche Bemessung nach der EBGeo und gegebenenfalls mit welchen Modifikationen sichere Ergebnisse liefert. Gegebenenfalls wird für den Bereich, wo die herkömmliche Bemessung nicht anwendbar ist, ein Sicherheitsfaktor festgelegt. Für das Zulassungsverfahren müssen neben den Angaben zu den Eigenschaften der Längs- und Querelemente noch folgende Eigenschaften dokumentiert werden, die der Zulassungsstelle einen genauen Einblick in die Eigenart des Bewehrungsgitters ermöglichen:

- die Zugscherfestigkeit der Verbindungsstelle mit den zugehörigen Abminderungsfaktoren und die zulässige Verschiebung der Verbindungsstellen,
- die Steifigkeit der Längselemente,
- die charakteristische Funktion für den Erdwiderstand,
- die charakteristische Funktion für die Reibung,
- die charakteristische Funktion für das

Gleiten,

- der relative Anteil von Erdwiderstand und Reibung, jeweils für ein gewisses Spektrum von Bodeneigenschaften,
- Angabe von Bemessungsverfahren mit ggf. anzugebenden Anwendungsgrenzen (inklusive Verbundbeiwerte und Sicherheitsfaktoren).

In welchem Umfang diese Angaben im Zulassungsschein dokumentiert werden, wird im Einzelfall festgelegt.

4.4. Bestimmung des Herauszieh-widerstands

Für den Entwurf und die Berechnung von Verankerungen muss der Herauszieh-widerstand in Abhängigkeit vom Boden, der Auflast und der Verankerungslänge bekannt sein. Im Verbund zwischen Bewehrungsgitter und Boden wirken beim Herausziehen ein Mechanismus der Kontaktreibung zwischen Boden und Elementen des Bewehrungsgitters sowie ein weiterer Mechanismus, der durch die Verzahnung des Bodens in den Maschen des Bewehrungsgitters bedingt ist¹⁰. Wird das Bewehrungsgitter auf Zug beansprucht, so stützen sich die Querstäbe auf dem davorliegenden Bodenkörper ab, der der Verschiebung Widerstand entgegensetzt. Aus dem passiven Erddruck des Bodens, der bei einer Verschiebung der Querelemente mobilisiert wird, resultiert eine kombinierte mechanische Beanspruchung in den Querelementen. Diese durch den Erdwiderstand bedingte Kraft und die Reibungskraft in der Kontaktfläche zwischen den Querelementen und dem Boden werden über die Verbindungsstellen in die Längselemente übertragen. Der Herauszieh-widerstand eines Bewehrungsgitters wird bei gegebenem Boden und Auflast dann durch folgende Eigenschaften des Bewehrungsgitters bestimmt¹¹:

¹⁰ Jewell, R. A., Soil reinforcement with geotextiles, Thomas Telford, London, 1996.

¹¹ Ziegler, M., Timmers, V.: A New Approach to Design Geogrid Reinforcement. In: Proceedings of the Third European

Geosynthetic Conference. Floss, R., Bräu, G., Nußbaumer, M. and Laackmann, K. (Hrsg.), DGGT and TUM-ZG, München, 2004.

- das Verformungsverhalten und die Beanspruchungsgrenzen der Längs- und Querelemente bei der Beanspruchung durch Herausziehen aus dem Boden,
- die Oberflächenreibung in der Kontaktfläche von Gitterelementen und Boden,
- die an einer Verbindungsstelle wirkende mechanische Beanspruchung in Abhängigkeit vom Verschiebungsweg der Verbindungsstelle für verschiedene Böden und vertikalen Spannungen,
- die Versagensgrenze der Verbindungsstellen bei der mechanischen Beanspruchung durch Herausziehen aus dem Boden.

Um beurteilen zu können, welchen Herauszieh-widerstand ein Bewehrungsgitter unter den gegebenen Bedingungen tatsächlich langfristig entwickeln kann, müssen insbesondere die beiden letzten Punkte bearbeitet werden¹², s. dazu den Anhang 3.

Eine Ausnahme bilden Produkte, bei denen der über die Querelemente und Verbindungsstellen übertragene Erdwiderstand und auch die Reibung zwischen Querelementen und Boden nur geringfügig zum Herauszieh-widerstand beitragen, sogenannte Reibungsgitter. Bei solchen Bewehrungsgittern kann der Herauszieh-widerstand nach dem Verfahren der EB GEO über einen Verbundbeiwert charakterisiert werden. Es darf aber nur der Verbundbeiwert, der sich aus dem reinen Oberflächenreibungswiderstand der Längselemente ergibt, angesetzt werden. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass das Verhalten von Querelementen und Verbindungsstellen beim Herausziehen dabei keinen Einfluss auf die Langzeit-Festigkeit der Längselemente hat. Für die Bestimmung des Verbundbeiwerts müssen dann entsprechende Herausziehversuche nur an Längselementen

durchgeführt werden.

4.5. Umweltverträglichkeit von Zusätzen und Verarbeitungshilfen

Auslaugbare oder wasserlösliche Zusätze und Verarbeitungshilfen müssen umweltverträglich sein. Die Unbedenklichkeit muss nach dem im FGSV-Merkblatt 535, Abschnitt 6.28, angegebenen Verfahren nachgewiesen werden¹³.

5. Eigen¹⁴- und Fremdüberwachung bei der Produktion

Nach Anhang 1 Nummer 2.1 der Deponieverordnung muss eine regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachung eine gleichmäßige Qualität der Produktion der Vorprodukte und des Bewehrungsgitters sicherstellen. Die Durchführung dieser Maßnahmen muss in ein Qualitätsmanagementsystem eingebunden sein, das nach der DIN EN ISO 9001 zertifiziert ist.

Die Eigenüberwachung bzw. „das System der werkseigenen Produktionskontrolle“ bei der Produktion des Bewehrungsgitters hat grundsätzlich den Anforderungen der DIN EN 13257 Abschnitt 5.4 und Anhang A zu entsprechen.

Die gültige Zertifizierungsurkunde, das Organigramm, aus dem die Zuständigkeiten hervorgehen, und die die Eigenüberwachung betreffenden Arbeitsanweisungen und Prüfpläne müssen der Zulassungsstelle vorgelegt werden.

Art und Umfang der Identifikationsprüfungen und Kontrollen an gekauften oder selbst hergestellten Vorprodukten wird im Zulassungsschein im Einzelfall geregelt. Tabelle 5 beschreibt Art und Umfang der

¹² Müller, W.: Zur Bemessung der Verankerung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff beim Schutz von Böschungen vor hangparallelem Gleiten. Bautechnik 88(2011), H. 6, S. 347bis 352.

Jacobs, F., Ziegler, M., Vollmert, L. und Ehrenberg, H.: Explicit design of geogrids with a nonlinear interface model. In: Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics. Ziegler, M., et al. (Hrsg.). Essen, Germany: Deutsche Gesellschaft für Geo-technik (DGGT) 2014.

Doktorarbeit von Jacobs, F. siehe: <http://publications.rwth-aachen.de/record/680774/files/680774.pdf>.

¹³ Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues, FGSV-Verlag, Köln, 2016.

¹⁴ Die Eigenüberwachung wird im Bauwesen (Bauproduktenrichtlinie) inzwischen als werkseigene Produktionskontrolle (WPK) bezeichnet.

Eigenüberwachung und Fremdüberwachung bei der Produktion des Bewehrungsgitters sowie den Mindestumfang der Prüfungen. Art und Häufigkeit der Prüfung müssen mit der Zulassungsstelle abgestimmt und im Anhang zum Zulassungsschein beschrieben werden.

5.1. Eingangskontrollen und -prüfungen

Die Übereinstimmung der eingesetzten Formmassen und Zuschlagstoffe – z. B. der Basispolymere und des Additiv-Batches – für die Elemente des Bewehrungsgitters mit den Materialien, die bei der Produktion der Prüfmuster für das Zulassungsverfahren verwendet wurden, muss vom Hersteller kontrolliert werden. Art und Umfang der dabei erforderlichen Eingangsprüfungen des Herstellers des Bewehrungsgitters werden ausgehend von Tabelle 1 im Zulassungsschein aufgeführt.

Ist der Hersteller des Bewehrungsgitters zugleich Hersteller der Gitterelemente entfallen die Wareneingangsprüfungen für diese Vorprodukte. Es muss dann jedoch eine Qualitätssicherung der Produktion der Elemente mit einer entsprechenden Eigenüberwachung durchgeführt werden. Art und Umfang der dabei erforderlichen Prüfungen des Herstellers des Bewehrungsgitters werden ausgehend von Tabelle 1 in den Anlagen zum Zulassungsschein aufgeführt.

5.2. Eigenüberwachung der Produktion

Im Rahmen der Eigenüberwachung der Produktion des Bewehrungsgitters müssen bestimmte charakteristische Eigenschaften der Produkte überprüft werden. Tabelle 5 beschreibt Verfahren und gibt Häufigkeiten an, mit denen geprüft werden muss. Art und Umfang der Prüfungen des Herstellers des Bewehrungsgitters werden ausgehend von Tabelle 5 im Anhang zum Zulassungsschein festgelegt. Dabei müssen die im Zulassungsschein angegebenen produktbezogenen Anforderungen und Toleranzen erfüllt werden.

Die Daten aus der Überwachung müssen über zehn Jahre so archiviert werden, dass jederzeit eine Zuordnung der Prüfergebnisse zu einer Liefereinheit möglich ist. Auf Verlangen sind der Zulassungsstelle die Daten zugänglich zu machen.

Zu jeder Lieferung muss ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 in Anlehnung an DIN EN 10204 ausgestellt werden. Die Prüfwerte im Abnahmeprüfzeugnis müssen den Rollen, an denen sie gemessen wurden, zugeordnet werden können. Das Abnahmeprüfzeugnis muss eine Erklärung enthalten, dass die Produktion gemäß der bei der Zulassungsstelle vertraulich hinterlegten Unterlagen über die Materialien und Vorprodukte erfolgt ist.

5.3. Fremdüberwachung

Die laufende Produktion des Bewehrungsgitters wird durch eine mit der BAM vereinbarte, neutrale Stelle überwacht (s. Abschnitt 11). Die mit der Fremdüberwachung beauftragte Prüf- und Inspektionsstelle muss über ausreichend qualifiziertes Personal und die notwendigen Prüfeinrichtungen verfügen. Die Fremdüberwachungsberichte sollen von ihr spätestens zwei Monate nach dem Probeneingang fertiggestellt und verteilt worden sein. Das Prüflabor muss für die bei der Fremdüberwachung anzuwendenden genormten Prüfungen nach der DIN EN ISO/IEC 17025 und mit Bezug auf diese Zulassungsrichtlinie nach der DIN EN ISO/IEC 17020 akkreditiert sein. Es muss von der Zulassungsstelle als Fremdüberwacher anerkannt sein. Die Anerkennung setzt die Akkreditierung für die bei der Fremdüberwachung anzuwendenden genormten Prüfungen voraus. Prüfungen für die die Prüf- und Inspektionsstelle nicht akkreditiert ist, können durch ein dafür akkreditiertes Labor im Unterauftrag durchgeführt werden. Der zwischen Hersteller und Überwachungsstelle geschlossene gültige Überwachungsvertrag muss der BAM vorgelegt werden.

Die Überwachung umfasst eine Überprüfung der Wareneingangskontrollen, die Prüfung der Vorprodukte und die Überprüfung von deren

Produktion, die Prüfung der Eigenschaften des Bewehrungsgitters sowie die Überprüfungen von dessen Produktion und die Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrollen. Maßgebend für die Überwachung sind die DIN 18200 sowie der Überwachungsvertrag. Der Überwachungsvertrag muss folgende Anforderungen berücksichtigen:

- Zu Beginn der Produktion hat sich die fremdüberwachende Stelle davon zu überzeugen, dass die Voraussetzungen für eine sachgemäße Produktion und eine anforderungsgerechte werkseigene Produktionskontrolle gegeben sind.
- Bei der Fremdüberwachung der Produktion des Bewehrungsgitters sind die im Anhang zum Zulassungsschein aufgeführten Prüfungen zu den Eigenschaften der Vorprodukte und des Bewehrungsgitters durchzuführen (s. Tabelle 5). Beim Überwachungsbesuch sind durch Besichtigung von Labor und Produktion und durch Einblick in die Unterlagen Art und Umfang der Wareneingangskontrollen und der werkseigenen Produktionskontrolle zu kontrollieren.
- Die Fremdüberwachungsmaßnahmen müssen in jedem Halbjahr durchgeführt werden, in dem produziert wurde. Die zu untersuchenden Produkte müssen nach dem letzten Fremdüberwachungsbesuch produziert worden sein. Die Probenahme aus der Produktion muss durch die überwachende Institution erfolgen. Bei der Überwachung einer Produktfamilie muss bei jedem Fremdüberwachungsbesuch ein Produkt aus der Familie überprüft werden. Der Fremdüberwacher wählt nach Maßgabe der Produktionspläne das Produkt aus. Er sollte darauf achten, dass unterschiedliche Produkte in die Überwachung miteinbezogen werden.

Die Überwachungsbesuche sind in der Regel unangemeldet durchzuführen. Der Nachweis über die durchgeführte Fremdüberwachung wird durch den aktuellen Überwachungsbericht erbracht, in dem die fremdüberwachende

Stelle ihre Prüfergebnisse darstellt. Ergebnisse, die sich aus Prüfungen ergeben, die der Fremdüberwacher im Zusammenhang mit einer Fremdprüfung auf der Baustelle durchgeführt hat, s. Tabelle 6, müssen in den Überwachungsbericht einbezogen werden. Der Bericht wird dem überwachten Hersteller regelmäßig zugesandt.

Festgestellte Abweichungen müssen nach den Vorgaben der fremdüberwachenden Stelle bearbeitet und beseitigt werden. Produkte, die die Anforderungen der Zulassungen oder dieser Zulassungsrichtlinie nicht erfüllen, gelten als nicht zugelassen. Bei festgestellten Abweichungen ist die BAM umgehend durch den Fremdüberwacher zu informieren und ihr der Fremdüberwachungsbericht und ein Bericht zur Behebung der Abweichung zu übergeben. Fremdüberwachungsberichte müssen der Zulassungsstelle auf Verlangen vorgelegt werden.

5.4. Lieferpapiere

Aus den Anforderungen an die Eigen- und Fremdüberwachung leiten sich auch die Anforderungen an die Art und den Umfang der Papiere ab, die einer Lieferung des Geogitters zur Dokumentation der Qualität beigelegt werden müssen. Erforderlich ist ein Lieferschein, der die Angaben zum Hersteller, die Typenbezeichnung, eine Aufstellung der Rollenummern und Abmessungen enthält. Dazu gehört dann ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 in Anlehnung an DIN EN 10204 für das Bewehrungsgitter. Auf der Baustelle müssen weiterhin das Zeugnis der Fremdüberwachung und der vollständige Zulassungsschein vorliegen, der in seinem Anhang die Anforderungen an die Eigen- und Fremdprüfung und die Transport-, Lager- und Verlegeanweisungen enthält.

6. Anforderungen an den Einbau

Der Stand der Technik muss nicht nur von dem zugelassenen Geokunststoff-Produkt eingehalten werden. Nach Anhang 1 Nr. 2.1.1 der DepV muss auch der Einbau der Komponenten in das Abdichtungssystem nach dem Stand der Technik erfolgen. Die Einhaltung der nachfolgenden Anforderungen an den Einbau ist Voraussetzung für die Verwendbarkeit der Zulassung als Nachweis der Eignung eines Bewehrungsgitters aus Kunststoff. Dieser Abschnitt ist daher auch maßgebend für die endgültige Stilllegung gemäß § 11 DepV.

Bewehrungsgitter müssen durch einen Verlegefachbetrieb installiert werden, der die Anforderungen der Richtlinie-Verlegefachbetriebe der BAM erfüllt. Die Nachweise der erforderlichen Qualifikation, Ausstattung und Erfahrung können z. B. durch die Anerkennung als Fachbetrieb durch eine Güteüberwachungsgemeinschaft eines Fachverbandes geführt werden, der in vollem Umfang die Anforderungen der Richtlinie berücksichtigt und die Überwachung durch eine unabhängige, nach Fachkunde und Erfahrung allgemein anerkannte Prüfstelle durchführen lässt¹⁵.

6.1. Hinweise zum Einbauverfahren

Die Hinweise der Hersteller zum Transport, zur Lagerung und zum Einbau müssen beachtet werden. Weitere Hinweise zum Einbauverfahren finden sich im Abschnitt 8.2 der EBGeo. Konstruktionen bei denen die Zugkräfte zwischen Bewehrungsgittern durch Nähte oder Verbindungen oder durch die Anbindung des Bewehrungsgitters an ein Bauwerk übertragen werden sind nicht zulässig.

An Stellen, wo sich die Böschungsneigung verändert, übt das Bewehrungsgitter auf sein

Auflager eine Normalkraft aus, die zum Zusammendrücken z. B. eines unter dem Bewehrungsgitter liegenden Dränelements führen kann. Solche Stellen treten z. B. im Übergang zu Bermen oder an der Böschungskrone auf. Das Wasserableitvermögen der geosynthetischen Dränschicht muss dann durch konstruktive Maßnahmen, z. B. durch die Überbrückung mit einem oberhalb des Bewehrungsgitters liegenden Kunststoff-Dränelement-Abschnitt mit ausreichender Überlappung, sichergestellt werden.

Das eingebaute Geogitter soll innerhalb von zwei Tagen und muss spätestens innerhalb von fünf Tagen überbaut werden.

6.2. Beanspruchungen durch Einbau und Baubetrieb

Durch den Einbau und die Verdichtung der Böden und Flächenentwässerungsschicht sowie des Füllbodens in der Verankerung ergeben sich besondere Belastungen des Bewehrungsgitters. Bei manchen Werkstoffen haben Beschädigungen des Bewehrungsgitters nur geringe Auswirkungen auf dessen Langzeitverhalten. Bei Werkstoffen, die empfindlich gegen Spannungsrisssbildung sind (z. B. PEHD), können auch geringfügige Beschädigungen im Bewehrungsgitter, wie Kerben oder Riefen, dessen Langzeitzugfestigkeit drastisch verändern. Dies gilt auch für beschichtete Bewehrungsgitter, wenn die Beschichtung maßgeblich zur Beständigkeit beiträgt.

Grundsätzlich sollte das Einbauverfahren so optimiert werden, dass die Beschädigungen des Bewehrungsgitters geringgehalten werden. Das Bewehrungsgitter darf insbesondere nicht direkt befahren werden. Die erste Schüttlage ist auf dem Bewehrungsgitter vor Kopf – ohne zu schieben – aufzuschütten und zu verteilen, dann erst zu verdichten.

Zusätzliche Baustellenversuche sind im

¹⁵ Vom Arbeitskreis Grundwasserschutz e. V. (AK GWS e. V.) und der Arbeitsgemeinschaft Abdichtungssysteme e. V. (AGAS e. V.), den Fachverbänden der Dichtungsbahnenhersteller und Verlegefachbetriebe, wurden solche Güteüberwachungssysteme auf der Grundlage der BAM-

Richtlinie aufgebaut. Die BAM auditiert und überwacht die Verlegefachbetriebe im Rahmen dieser Güteüberwachung. Die vom AK GWS e. V. bzw. AGAS e. V. güteüberwachten Firmen erfüllen die Anforderungen dieser Richtlinie.

Einzelfall immer dann erforderlich, wenn die Baustellenbedingungen von den Bedingungen in den bereits durchgeführten Versuchen (Schüttmaterial, Methode und Grad der Verdichtung, Auflager etc.) abweichen. Da die Beanspruchungen im Deponiebau in der Regel geringer sind, als die Beanspruchungen, die in der EBGEO (Einbauversuch für ebene Geokunststofflagen) beschrieben werden, können die Versuchsbedingungen entsprechend modifiziert werden. Im Anhang (Abschnitt 12) werden ergänzende Hinweise zur Durchführung der Baustellenversuche gegeben.

6.3. Qualitätsmanagement

Die Bewehrungsgitter sind Bestandteil des Deponieabdichtungssystems. Ihr Einbau unterliegt daher den Qualitätsmanagementmaßnahmen, die in der DepV gefordert werden. Die DepV sieht ein dreigliedriges Qualitätsmanagementsystem vor, bei dem die Eigenprüfung des für die Qualität seines Gewerks verantwortlichen Herstellers, die Fremdprüfung durch einen unabhängigen Dritten und die Überwachung durch die zuständige Behörde sicherstellen, dass das Deponieabdichtungssystem mit den vorgesehenen Qualitätsmerkmalen hergestellt wird, s. dazu auch die GDA-Empfehlung E 5-5 „Qualitäts-Überwachung für Geotextilien“. Grundlage der Qualitätsmanagementmaßnahmen ist der Qualitätsmanagementplan, in den der Einbau der Bewehrungsgitter miteinbezogen sein muss. Zum Qualitätsmanagementplan gehören Teilpläne, in denen die Überwachungsprüfungen an den einzelnen Komponenten der Abdichtung beschrieben werden.

Bei der Aufstellung des Qualitätsmanagementplanes für die Bewehrungsgitter und bei der Durchführung des Einbaus sowie bei den begleitenden Kontrollprüfungen sind die Bestimmungen und Auflagen des Zulassungsscheins, die in der Anlage zum Zulassungsschein angegebenen Transport-, Lager- und Verlegeanweisungen für die Bewehrungsgitter zu beachten.

Auf der Internetseite der BAM finden sich Standards zur Qualitätsüberwachung. Die auf dieser Grundlage erstellten Teilpläne müssen in den QMP¹⁶ einfließen.

Bestandteil der Qualitätsmanagementmaßnahmen ist unter anderem die Erstellung eines Verlegeplans. Im Verlegeplan müssen eindeutige Angaben über die Lage und die Art der eingebauten Bewehrungsgitter enthalten sein.

Die Fremdprüfung muss von einer fachkundigen, erfahrenen und ausreichend mit Personal und Geräten ausgestatteten Stelle durchgeführt werden. Die dabei einzuhaltenden Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle sind in der Richtlinie-Fremdprüfer der BAM beschrieben. Die fremdprüfende Stelle und der Leistungsumfang der Fremdprüfung sind mit der zuständigen Behörde abzustimmen. Die Kosten der Fremdprüfung trägt der Deponiebetreiber. Die fremdprüfende Stelle arbeitet eng mit der zuständigen Behörde zusammen. Art und Umfang von Prüfungen an Bewehrungsgitter im Rahmen der Fremdprüfung sind in der Tabelle 6 aufgeführt. Damit der fach- und werkstoffgerechte Umgang mit Geokunststoffen nach dem Stand der Technik bereits bei der Planung sowie bei der Erstellung des Leistungsverzeichnisses und des Qualitätsmanagementplans berücksichtigt wird, sollte die fremdprüfende Stelle schon im Planungsstadium hinzugezogen werden.

7. Hinweise zur Bemessung

Der Nachweis der Standsicherheit erfolgt nach den Regeln der GDA-Empfehlung E 2-7 und nach der EBGEO. Für den hauptsächlichen Anwendungszweck der Bewehrungsgitter werden die Bemessungsregeln und Bemessungsgleichungen im Abschnitt 8, „Deponiebau – Bewehrung oberflächenparalleler geschichteter Systeme“ der EBGEO beschrieben. Folgende Korrekturen von Druckfehlern müssen dabei

¹⁶ <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.

beachtet werden. Gleichung 8.1 in der EBGEO muss wie folgt geschrieben und der Text entsprechend gelesen werden:

$$R_{B,k} = R_{B,d} \cdot \gamma_M \cdot \eta_M$$

$R_{B,d}$ ist dabei der Bemessungswiderstand der Bewehrung, der aus der „Umstellung der Grenzzustandsgleichung“ ermittelt wird, γ_M der lastfallabhängige Teilsicherheitsbeiwert Materialwiderstand und η_M ein ebenfalls lastabhängiger Korrekturfaktor. Der Zusammenhang zwischen dem Bemessungswiderstand der Bewehrung $R_{B,d}$ und der Kurzzeitfestigkeit des Bewehrungsgitters $R_{B,k0}$ ist dann durch folgende Gleichung gegeben:

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M * \eta_M}$$

Die für die Berechnung der Bemessungsgrößen erforderlichen charakteristischen Werte der relevanten Eigenschaften des Bewehrungsgitters und die Abminderungsfaktoren können dem Zulassungsschein entnommen werden. Ergänzend zu den Regeln der EBGEO müssen die Auswirkungen der Steifigkeit der Längselemente und des Versagensverhaltens der Verbindungsstellen berücksichtigt werden und die dazu im Zulassungsschein gemachten Angaben berücksichtigt werden. Derzeit werden die Bemessungsregeln in dieser Hinsicht im Arbeitskreis 5.2 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik überarbeitet. Im Zulassungsschein wird für Reibungsgitter (siehe Abschnitt 3) der Verbundbeiwert festgelegt, mit dem der Herauszieh Widerstand berechnet werden kann. Bei allen anderen Bewehrungsgittern müssen nach derzeitigem Stand der Diskussion die im Anhang 2 und 3 dargestellten Überlegungen und Rechenverfahren, abgestimmt auf den Einzelfall, angewendet werden. Die Bemessung von Verankerungen oder Stützkonstruktionen wird in der EBGEO beschrieben. Auch

hierbei sind die im Zulassungsschein festgelegten Beanspruchungsgrenzen zu beachten. Dazu muss bei der Bemessung nach den herkömmlichen Verfahren zusätzlich ausdrücklich nachgewiesen werden, dass für jede mögliche Gleitfläche und für jede betroffene Bewehrungslage der sich aus der erdstatischen Berechnung ergebende charakteristische Wert des erforderlichen Herauszieh Widerstands den noch zulässigen Wert des Herauszieh Widerstands nicht übersteigt und die erforderliche Verankerungslänge überschritten wird. Der jeweils kleinere Wert von Bemessungswiderstand oder verankerbarer Zugkraft bestimmt dann praktisch den zulässigen Auslastungsgrad.

8. Änderungen, Mängelanzeige und Geltungsdauer

Änderungen des Zulassungsgegenstands, d. h. der Werkstoffe, der Vorprodukte, der Bewehrungsgitter selbst, der Abmessungen, des Produktionsverfahrens, der Einbauverfahren, der Produktionsstätte oder des Verwendungszwecks erfordern eine neue Zulassung oder einen Nachtrag zur Zulassung. Wird bei der Produktion, beim Transport oder beim Einbau gegen die Anforderungen, Bestimmungen oder Auflagen der Zulassung verstoßen, so gilt das so hergestellte oder eingebaute Bewehrungsgitter als nicht geeignet und nicht zugelassen. Wiederholte und wesentliche Mängel bei der Produktion oder beim Einbau der Bewehrungsgitter sowie Schadensfälle an Deponieabdichtungen, die im Zusammenhang mit dem Zulassungsgegenstand stehen, müssen der Zulassungsstelle durch die die Produktion fremdüberwachende bzw. den Einbau fremdprüfende Stelle oder durch die zuständige Behörde angezeigt werden.

9. Anforderungstabellen

Tabelle 1: Charakteristische Eigenschaften der Vorprodukte (extrudierte Platten oder Flachstäbe, Filamente, Multifilamentgarne etc.)¹

Nr.	Eigenschaft	Anforderung	Prüfverfahren
1.1	Art des Vorprodukts	Genaue Beschreibung der Art des Vorprodukts, der Werkstoffe, der Beschichtung, Abmessungen, Produktionsverfahren, Verstreckungsgrad, Ausrüstung, Nachbehandlung, usw.	-
1.2	Schmelze-Massefließrate	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 1133
1.3	Dichte	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 1183-1
1.4	Schmelzenthalpie und Schmelzpunkt Glasübergangstemperatur	Herstellerspezifikation	ISO 11357-3
1.5	Höchstzugkraft	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 5079 oder Werksvorschrift
1.6	Dehnung bei Höchstzugkraft	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 5079 oder Werksvorschrift
1.7	E-Modul	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 5079 oder Werksvorschrift
1.8	OIT	Herstellerspezifikation	ISO 11357-6
1.9	Stabilisatorgehalt	Herstellerspezifikation	Fest-flüssig-Extraktion - UV-Spektroskopie oder HPLC-Analyse am Extrakt ² .
1.10	Rußgehalt	Herstellerspezifikation	Thermogravimetrische Analyse in Anlehnung an DIN EN ISO 11358 oder Bestimmung nach ASTM D 1603-06.
1.11	Gehalt an Carboxylendgruppen	Herstellerspezifikation	In Anlehnung an GRI GG7 und ASTM D 7409 oder Werksvorschrift ²
1.12	Gehalt an Polyethylenglykol	Herstellerspezifikation	Werksvorschrift
1.13	Grenzviskositätszahl	Herstellerspezifikation	GRI GG8
1.14	Spannungsrisssbeständigkeit	Pressplatten oder extrudierte Platten aus dem Material des Bewehrungsgitters, 2 mm dick, Standzeit ≥ 400 h	ASTM D 5397; 10 %ige Netzmittellösung (Arkopal N 150)

¹⁾ Die Auswahl der erforderlichen Prüfungen richtet sich nach den Werkstoffen und der Eigenart der Vorprodukte. Prüfanforderungen und Werksvorschriften sind in der Regel Werksgeheimnisse des Herstellers, die bei der Zulassungsstelle vertraulich hinterlegt werden.

²⁾ Weitere Hinweise und Erläuterungen zu den Prüfungen finden sich auf der Internetseite <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.

Tabelle 2a: Charakteristische Eigenschaften von Bewehrungsgittern

Nr.	Eigenschaft	Anforderung	Prüfverfahren
2.1	Art des Bewehrungsgitters	Genaue Beschreibung z. B. Art des Geogitters, Geometrie und zugehörige Abmessungen, Art der Verbindungsstellen und deren Produktion, Verarbeitungshilfen, Rolllänge und Gewicht usw.	-
2.2	Masse je Flächeneinheit	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 9864
2.3	Geometrie	Herstellerspezifikation	Werksvorschrift
2.4	Zugfestigkeit (MD und CMD) ¹	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 10319
2.5	Höchstzugkraftdehnung (MD und CMD)	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 10319
2.6	Zugkraft je Breitereinheit bei 2 % Dehnung (MD)	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 10319
2.7	Zugkraft je Breitereinheit bei 5 % Dehnung (MD)	Herstellerspezifikation	DIN EN ISO 10319
2.8	Qualität der Verbindungsstellen (MD)	Herstellerspezifikation	In Anlehnung an GRI GG2; Probenvorbereitung DIN EN ISO 9862; mindestens 20 Einzelproben; Prüfungsschwindigkeit 50 mm/min; Dokumentation der Kraft-Weg-Diagramme und des genauen Schadensbildes.
2.9	Zugkriechverhalten (Isochronenkurven)	Erforderlich für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit.	DIN EN ISO 13431
2.10	Zeitstandverhalten (Standzeiten für duktilen Versagen)	Erforderlich für die Bestimmung von A_1 .	DIN EN ISO 13431
2.11	Zugkriech- und Zeitstandverhalten, Stepped Isothermal Method (SIM)	Erforderlich für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und die Bestimmung von A_1 .	ASTM D 6992

MD: Maschinen- bzw. Produktionsrichtung; CMD: Quer zur Produktionsrichtung

- ¹⁾ Nach DIN EN 13257, Anhang ZA, Anmerkung 1 gilt: „Für einige Produkte kann eine Prüfung in nur einer Richtung zutreffend sein; in diesem Fall sollte dies klar in den die CE-Kennzeichnung begleitenden Informationen angegeben sein.“

Tabelle 2b: Wechselwirkung Bewehrungsgitter-Boden

2.12	Reibungsparameter	Herstellerangabe	DIN EN ISO 12957-1
2.13	Verbundbeiwert	Herstellerangabe	DIN EN 13738 DIN 60009
2.14	Einbaubeschädigung im Feldversuch	Festlegung des Abminderungsfaktors A_2 .	EBGEO, Abschnitt 2.2.4.6.3 und Hinweise zu den Prüfungen ¹

- ¹⁾ Weitere Hinweise und Erläuterungen zu den Prüfungen finden sich auf der Internetseite der BAM unter <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.

Tabelle 3: Grundprüfungen zur Beständigkeit von Bewehrungsgittern aus Kunststoff im Rahmen der CE-Kennzeichnung (nach DIN EN 13257, Randbedingung: 25 Jahre Funktionsdauer, Umgebungsmilieu pH 4–9, Temperatur ≤ 25 °C)

Nr.	Beständigkeit	Prüfnorm	Bemerkungen
3.1	Oxidation (Polyolefine)	DIN EN ISO 13438	Anforderungen werden je nach Rohstoff in der DIN EN 13257 festgelegt.
3.2	Hydrolyse (PET und PA)	DIN EN 12447	
3.3	Witterungsbeständigkeit	DIN EN 12224	Anforderung = hohe Witterungsbeständigkeit (abweichend von DIN EN 13257 ist hier nur eine maximale Expositionsdauer von < 7 Tagen zulässig)

Prüfungen und Anforderungen an Produkte aus anderen Werkstoffen (z. B. PVA etc.) werden in Anlehnung an die in der Tabelle genannte Vorgehensweise festgelegt. Im Einzelfall wird entschieden, ob die Prüfungen an einem repräsentativen Produkt stellvertretend für eine Produktfamilie herangezogen werden können.

Tabelle 4: Anforderungen an Beständigkeit und Langzeitverhalten der Bewehrungsgitter aus Kunststoff^{1,2}

Nr.	Eigenschaft	Prüfgröße	Anforderung	Prüfung und Prüfbedingungen
4.1	Oxidativer Abbau in Luft, z. B. bei Polyolefinen	Änderung der äußeren Beschaffenheit	keine wesentliche Veränderung	Warmlagerung im Umluftwärmeschrank in Anl. an DIN EN 13438; Lagerungstemperatur 80 °C; Lagerungszeit 1 Jahr; Einlagerung von Proben, aus denen jeweils mindestens 5 Messproben für die Zugversuche ausgestanzt werden können; Probenahme und Zugversuche in Anlehnung an DIN EN 12226; Analytische Verfahren zur Messung der Veränderung der Stabilisierung; DSC zur Messung der Kristallinität
		Relative Änderung der Kristallinität n	$\delta n \leq 10 \%$	
		Relative Änderung der Mittelwerte von Festigkeit T_{max} und Dehnung bei der Höchstzugkraft ϵ_{max}	$\delta T_{max} \leq 20 \%$ $\delta \epsilon_{max} \leq 20 \%$, gegebenenfalls Bestimmung des Abminderungsfaktors A_4	
		Relative Änderung des Masseanteils an Antioxidantien c_S	$\delta c_S \leq 50 \%$	
4.2	Auslaugung und oxidative Alterung, z. B. bei Polyolefinen	Änderung der äußeren Beschaffenheit	keine wesentlichen Veränderungen	Warmlagerung im Wasser in Anl. an DIN EN 14415; Wassertemperatur 80 °C; Lagerungszeit 1 Jahr; Einlagerung von Elementen mit Verbindungsstelle für die Zugversuche; Probenahme und Zugversuche in Anlehnung an DIN EN 12226; Analytische Verfahren zur Messung der Veränderung der Stabilisierung. DSC zur Messung der Kristallinität
		Relative Änderung der Kristallinität n	$\delta n \leq 10 \%$	
		Relative Änderung der Mittelwerte von Festigkeit T_{max} und Dehnung bei der Höchstzugkraft ϵ_{max}	$\delta T_{max} \leq 20 \%$ $\delta \epsilon_{max} \leq 20 \%$, gegebenenfalls Bestimmung des Abminderungsfaktors A_4	
		Relative Änderung ² des Masseanteils an Antioxidantien c_S	$\delta c_S \leq 50 \%$	
4.3	Hydrolyse im Wasser (innere Hydrolyse), z. B. bei Polyester	Änderung der äußeren Beschaffenheit	keine wesentliche Veränderung	Warmlagerung im Wasser in Anl. an DIN EN 12447; Mindestens vier Temperaturen (z. B. 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C); Lagerungszeit: mindestens ein Jahr; Einlagerung von Elementen mit Verbindungsstellen für die Zugversuche; Probenahme und Zugversuche in Anlehnung an DIN EN 12226; Analytische Verfahren zur Bestimmung des Gehalts an Carboxylendgruppen oder der Lösungsviskosität; DSC zur Messung der Kristallinität und der Glasübergangstemperatur
		Relative Änderung der Kristallinität n und der Glasübergangstemperatur	$\delta n \leq 10 \%$	
		Relative Änderung der Mittelwerte von Festigkeit T_{max} und Dehnung bei der Höchstzugkraft ϵ_{max}	Lebensdauer-Extrapolation, Bestimmung des Abminderungsfaktors A_4	
		Relative Änderung der mittleren Molekülmasse δN und der Glasübergangstemperatur	Extrapolation im Arrhenius-Diagramm: $\delta N \leq 50 \%$	

- ¹⁾ Prüfungen und Anforderungen an Produkte aus anderen Werkstoffen werden in Anlehnung an die in der Tabelle genannte Vorgehensweise festgelegt. Im Einzelfall wird entschieden, ob die Prüfungen an einem Produkt stellvertretend für eine Produktfamilie herangezogen werden können.
- ²⁾ Weitere Hinweise und Erläuterungen zu den Prüfungen finden sich auf der Internetseite der BAM unter <http://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/index.htm>.
- ³⁾ Schröder, H. F., Munz, M. und Böhning, M.: A New Method for Testing and Evaluating the Long-Time Resistance to Oxidation of Polyolefinic Products. Polymers & Polymer Composites, 16(2008), H. 1, S. 71-80.

Tabelle 4: Fortsetzung: Anforderungen an Beständigkeit und Langzeitverhalten der Bewehrungsgitter aus Kunststoff

Nr.	Eigenschaft	Prüfgröße	Anforderung	Prüfung und Prüfbedingungen
4.4	Hydrolyse im alkalischen Milieu (äußere Hydrolyse), z. B. bei Polyester	Änderung der äußeren Beschaffenheit	keine wesentliche Veränderung	Warmlagerung im alkalischen Milieu in Anl. an DIN EN 12447; Gips suspension, Hydroxylionen-konzentration: 5×10^{-4} mol/l (entspricht pH 11 bei 20 °C); Lagerungstemperatur: 60 °C; Lagerungszeit: mindestens ein Jahr und mindestens 4 Entnahmen; Einlagerung von Proben, aus denen jeweils mindestens 5 Messproben für die Zugversuche ausgestanzt werden können; Zugversuch und Probenahme gemäß DIN EN 12226; Analytische Verfahren zur Bestimmung des Gehalts an Carboxylendgruppen oder der Lösungsviskosität; DSC zur Messung der Kristallinität und der Glasübergangstemperatur
		Relative Änderung der Kristallinität n und der Glasübergangstemperatur	$\delta n \leq 10 \%$	
		Relative Änderung der Mittelwerte von Zugfestigkeit T_{max} und Dehnung bei der Zugfestigkeit ε_{max}	Lebensdauer-Extrapolation, Bestimmung des Abminderungsfaktors A_4	
		Relative Änderung der mittleren Molekülmasse δV	$\delta V \leq 50 \%$	
4.5	Langzeitverhalten bei kombinierter Beanspruchung	Zeitstandverhalten, Zeitstandkurven	Lebensdauer-Extrapolation, Bestimmung des Abminderungsfaktors A_4	DIN EN ISO 13431 in Verbindung mit ISO/TR 20432
4.6	Alterung im Knotenbereich, innere Hydrolyse	Relative Änderung der Knotenfestigkeit	$\leq 25 \%$	Warmlagerung im Wasser in Anl. an DIN EN 14415; Temperatur: 60 °C; Lagerungszeit: mindestens ein Jahr; Einlagerung von Elementen mit Verbindungsstellen für Prüfung nach GRI GG2; Probenahme und -vorbereitung nach DIN EN ISO 9862; formfixierende Lagerung und spannungsfreier Einbau; mindestens 4 Entnahmen mit je 10 Einzelproben. Dokumentation der Kraft-Weg-Diagramme und der Schadensbilder.
4.7	Zeitstand-Scherversuche zum Verhalten der Verbindungsstellen	Zeitstandverhalten, Zeitstandkurven	Wird noch festgelegt	DIN EN ISO 13431 in Verbindung mit ISO/TR 20432. Zeitstand-Zugscherversuche an Verbindungsstellen mit Klemmen in Anlehnung an GRI GG2. Ermittlung der Zeitstandkurve. 12 Auslastungsgrade, 3 Einzelproben je Auslastungsgrad. Prüftemperatur: 60 °C bei Polyester, 80 °C bei Polyolefinen.

Tabelle 5: Art und Umfang der Eigen- und Fremdüberwachung (EÜ und FÜ) bei der Produktion des Bewehrungsgitters sowie der Kontrollen bei Vorprodukten.

Nr.	Eigenschaft	Prüfverfahren	Notwendig- keit		Mindestumfang in der EÜ
			EÜ	FÜ	
5.1	Identifikations- und Kontrollprüfungen an Vorprodukten ¹	s. Zulassungsschein	X	X ²	s. Zulassungsschein
5.2	Zugfestigkeit (MD) ³	DIN EN ISO 10319	X	X	mindestens alle 3000 m ²
5.3	Dehnung bei der Zugfestigkeit (MD)	DIN EN ISO 10319	X	X	mindestens alle 3000 m ²
5.4	Zugkraft je Probenbreite bei 2 % Dehnung	DIN EN ISO 10319	X	X	mindestens alle 3000 m ²
5.5	Zugkraft je Probenbreite bei 5 % Dehnung	DIN EN ISO 10319	X	X	mindestens alle 3000 m ²
5.7	Masse je Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	X	X	mindestens alle 3000 m ²
5.8	Qualität der Verbindungsstellen (produktabhängig)	Werksvorschrift, GRI GG2 usw.	X	X	mindestens alle 3000 m ²

- ¹⁾ Je nach der Art des Bewehrungsgitters wird im Zulassungsschein festgelegt, welche Identifikations- und Kontrollprüfungen an den zugekauften oder selbst produzierten Vorprodukten beim Hersteller des Bewehrungsgitters durchgeführt werden.
- ²⁾ Bei der Fremdüberwachung müssen mindestens die Unterlagen beim Hersteller überprüft werden. Gegebenenfalls führt der Fremdüberwacher auch eigene Kontrollen durch. Art und Umfang werden im Zulassungsschein festgelegt.
- ³⁾ MD: Produktions- bzw. Maschinenrichtung.

Tabelle 6: Art und Umfang von Prüfungen am Bewehrungsgitter im Rahmen der Fremdprüfung auf der Baustelle¹

Nr.	Prüfgröße	Prüfung	Häufigkeit
6.1	Zugfestigkeit (MD)	DIN EN ISO 10319	alle 5000 m ²
6.2	Dehnung bei der Zugfestigkeit (MD)	DIN EN ISO 10319	alle 5000 m ²
6.3	Zugkraft je Probenbreite bei 2 % Dehnung	DIN EN ISO 10319	alle 5000 m ²
6.4	Zugkraft je Probenbreite bei 5 % Dehnung	DIN EN ISO 10319	alle 5000 m ²
6.6	Masse je Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	alle 5000 m ²

10. Verzeichnis der Normen

Es gilt die jeweils gültige Fassung der Norm.

ASTM D 1603: 2020	Standard Test Method for Carbon Black Content in Olefin Plastics
ASTM D 5397: 2020	Standard Test Method for Evaluation of Stress Crack Resistance of Polyolefin Geomembranes Using Notched Constant Tensile Load Test
ASTM D 6992: 2016	Standard Test Method for Accelerated Tensile Creep and Creep-Rupture of Geosynthetic Materials Based on Time-Temperature Superposition Using the Stepped Isothermal Method
ASTM D 7409: 2015	Standard Test Method for Carboxyl End Group Content of Polyethylene Terephthalate (PET) Yarns
ASTM D 7737: 2023	Standard Test Method for Individual Geogrid Junction Strength
DIN 18200: 2021-04	Übereinstimmungsnachweis für Bauprodukte - Werkseigene Produktionskontrolle, Fremdüberwachung und Zertifizierung von Produkten
DIN 60009: 2017-12	Geokunststoffe - Prüfung und Bestimmung des Verbundbeiwerts mit Boden im Herausziehversuch
DIN EN 10204: 2005-01	Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen
DIN EN 12224: 2000-11	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Witterungsbeständigkeit
DIN EN 12226: 2012-03	Geokunststoffe - Allgemeine Prüfverfahren zur Bewertung nach Beständigkeitsprüfungen
DIN EN 12447: 2021-11	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Prüfverfahren zur Bestimmung der Hydrolysebeständigkeit in Wasser
DIN EN 13252: 2016-12	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Dränanlagen
DIN EN 13257: 2016-12	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung bei der Entsorgung fester Abfallstoffe
DIN EN 13738: 2005-02	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Herauszieh Widerstandes aus dem Boden
DIN EN 14415: 2004-08	Geosynthetische Dichtungsbahnen - Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Auslaugen
DIN EN ISO 527-1: 2019-12	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften
DIN EN ISO 1133-1: 2022-10	Kunststoffe - Bestimmung der Schmelze-Massefließrate (MFR) und der Schmelze-Volumenfließrate (MVR) von Thermoplasten
DIN EN ISO 1183-1: 2019-09	Kunststoffe - Verfahren zur Bestimmung der Dichte von nicht verschäumten Kunststoffen - Teil 1: Eintauchverfahren, Verfahren mit Flüssigkeitspyknometer und Titrationsverfahren
DIN EN ISO 5079: 2021-02	Textilien - Fasern - Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung an einzelnen Fasern
DIN EN ISO 9001: 2015-11	Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen
DIN EN ISO 9862: 2005-05	Geokunststoffe - Probenahme und Vorbereitung der Messproben
DIN EN ISO 9864: 2005-05	Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von Geotextilien und

	geotextilverwandten Produkten
DIN EN ISO 10319: 2015-09	Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen
DIN EN ISO 10320: 2019-07	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Identifikation auf der Baustelle
DIN EN ISO 11357-3: 2018-07	Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) - Teil 3: Bestimmung der Schmelz- und Kristallisationstemperatur und der Schmelz- und Kristallisationsenthalpie
DIN EN ISO 11357-6: 2018-07	Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) - Teil 6: Bestimmung der Oxidations-Induktionszeit (isothermische OIT) und Oxidations-Induktionstemperatur (dynamische OIT)
DIN EN ISO 11358-1: 2022-07	Kunststoffe - Thermogravimetrie (TG) von Polymeren - Teil 1- Allgemeine Grundsätze
DIN EN ISO 12957-1: 2019-04	Geokunststoffe - Bestimmung der Reibungseigenschaften - Teil 1: Direkter Scherversuch
DIN EN ISO 13431: 1999-11	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Zugkriech- und des Zeitstandbruchverhaltens
DIN EN ISO 13438: 2019-05	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Auswahlprüfverfahren zur Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten
DIN EN ISO 25619-1: 2021-08	Geokunststoffe - Bestimmung des Druckverhaltens - Teil 1: Eigenschaften des Druckkriechens
DIN EN ISO/IEC 17020: 2012-07	Allgemeine Kriterien für den Betrieb verschiedener Typen von Stellen, die Inspektionen durchführen
DIN EN ISO/IEC 17025: 2018-03	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
GDA E 2-7: 2015	Gleitsicherheit der Abdichtungssysteme
GDA E 2-9: 2016	Einsatz von Geotextilien im Deponiebau
GDA E 3-8: 2015	Bestimmung des Scherverhaltens von kombinierten Abdichtungsschichten
GDA E 5-5: 2016	Qualitäts-Überwachung für Geotextilien
GRI GG7: 2012	Carboxyl End Group Content of PET Yarns
GRI GG8: 2012	Determination of the Number Average Molecular Weight of PET Yarns Based on a Relative Viscosity Value
ISO/TR 20432: 2007	Leitfaden für die Bestimmung der Langzeit-Festigkeit von Geokunststoffen zur Bodenbewehrung
ISO/TS 13434: 2020	Geokunststoffe - Leitfäden für die Bewertung der Beständigkeit

11. Anlagen zum Zulassungsschein, Verzeichnis der Länderkennzahlen und Prüf- und Inspektionsstellen

Anlagen zum Zulassungsschein

- Anlage 1: Anforderungen und Toleranzen für die Eigen- und Fremdüberwachung
Anlage 2: Genaue Bezeichnung des Herstellers mit Produktionsstätten
Anlage 3: Beschreibung des Produktionsverfahrens
Anlage 4: Werkstofferklärung des Herstellers
Anlage 5: Beschreibung von Aufbau und Anordnung der Kennzeichnung
Anlage 6: Beschreibung der Lage der Kennzeichnungen
Anlage 7: Beschreibung der Rollenaufkleber
Anlage 8: Beschreibung der Qualitätssicherungsmaßnahmen
a) Eigenüberwachung
b) Fremdüberwachung
Anlage 9: Lagerungs- und Transportanweisungen des Herstellers

Länderkennzahlen

(gemäß Bundesarbeitsblatt 4/91, Seite 61):

Baden-Württemberg	01	Niedersachsen	07
Bayern	02	Nordrhein-Westfalen	08
Berlin	03	Rheinland-Pfalz	09
Brandenburg	12	Saarland	10
Bremen	04	Sachsen	14
Hamburg	05	Sachsen-Anhalt	15
Hessen	06	Schleswig-Holstein	11
Mecklenburg-Vorpommern	13	Thüringen	16

Prüf- und Fremdüberwachungsstellen für Eignungsprüfungen und die Überwachung der Produktion

Kiwa GmbH
Niederlassung TBU Greven
Gutenbergstr. 29
48268 Greven
Tel.: 02571 9872-0, Fax: 02571 9872-99, e-mail: InfoKiwaGreven@kiwa.de

Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar (MFPA)
Fachgebiet Geotechnik
Coudraystraße 4
99423 Weimar
Tel.: 03643 564-0, Fax: 03643 564-201, e-mail: info@mfpa.de

Materialprüfanstalt für Werkstoffe und Produktionstechnik (MPA) Hannover
An der Universität 2
30823 Garbsen
Tel.: 0511 762-4362, FAX.: 0511 762-3002; e-mail: info@mpa-hannover.de

SKZ – Testing GmbH
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg
Tel.: 0931 4104-142, Fax: 0931 4104-273, e-mail: testing@skz.de

Anhang 1: Durchführung von Baustellenversuchen

In sogenannten „Baustellenversuchen“ wird überprüft, welche Beschädigungen des Bewehrungsgitters beim Transport, beim Einbau des Bodens und der Verdichtung entstehen können und wie sich diese Beschädigungen auf die Kurzzeit-Zugfestigkeit des Bewehrungsgitters auswirken. Die großmaßstäblichen Feldversuche, die im Abschnitt 2.2.4.6 der EBGEO als Baustellenversuche beschrieben werden, sind auch im Deponiebau anwendbar, wenn die im Folgenden beschriebenen Anforderungen erfüllt werden. In der Regel haben die Hersteller solche Baustellenversuche in größerem Umfang bereits durchgeführt. Anhand dieser Versuche wurde der Abminderungsfaktor A_2 ermittelt, der bei der Bestimmung der Langzeit-Zugfestigkeit berücksichtigt werden muss. Entsprechende Hinweise finden sich in der Zulassung. Hinsichtlich des Transports müssen die Richtlinien der Hersteller strikt beachtet werden. Zusätzliche Versuche im Probefeld sind im Einzelfall immer dann erforderlich, wenn die Baustellenbedingungen von den Bedingungen in den bereits durchgeführten Versuchen (Schüttmaterial, Methode und Grad der Verdichtung, Auflager etc.) abweichen.

Im Folgenden werden Hinweise gegeben, wie ein Versuch im Einzelnen durchzuführen ist. Von der zu prüfenden Rolle Bewehrungsgitter müssen einige Quadratmeter als Referenzmuster abgetrennt und zurückgelegt werden. Aus dem Referenzmuster müssen mindestens zehn Messproben für den Zugversuch am breiten Streifen nach DIN EN ISO 10319 entnommen werden. Dabei muss eine freie Einspannlänge von mindestens 300 mm gewährleistet sein und mindestens zwei vollständige Öffnungen in Zugrichtung innerhalb der freien Einspannlänge liegen. Die freie Einspannlänge muss im Prüfbericht angegeben werden. Der Untergrund im Versuchsfeld muss so tragfähig sein, dass das Schüttmaterial ordnungsgemäß verdichtet werden kann. In Einzelfall bezogenen Baustellenversuchen sind für das Auflager und die Schüttung die für die Baumaßnahme vorgesehenen Materialien zu verwenden und in der vorgesehenen Dicke mit der vorgesehenen Verdichtungsmethode einzubauen. Bei Feldversuchen zur Bestimmung von A_2 für deponiebautypische Beanspruchungen im Vorfeld von Baumaßnahmen kann eine 0,25 m dicke Lage des Schüttmaterials 0/16 nach ZTV SoB-StB¹⁷ aufgebracht und verdichtet werden. Die Verdichtung erfolgt mit einer Vibrationswalze bzw. einem Walzenzug mit ca. 10 bis 12 t Gesamtgewicht unter Vibration bei großer Amplitude (ca. 1,5 bis 2,0 mm) bis zu einem gemessenen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100 \%$. Die Verdichtung erfolgt quer zu den Längselementen des Bewehrungsgitters.

Im Prüfbericht von Feld- und Baustellenversuchen müssen die Tragfähigkeit des Untergrunds E_{v2} , das verwendete Schüttmaterial, das Einbauverfahren, das Einbaugerät, das Verdichtungsgerät, die Geräteeinstellungen und die Anzahl der Verdichtungsübergänge angegeben werden. Für die Probenahme müssen folgende Anforderungen beachtet werden. Wenn der Bereich feststeht, wo das ausgelegte Bewehrungsgitter überbaut und die Überbauung verdichtet wird, sind in diesem Bereich 10 Abschnitte eindeutig zu kennzeichnen, wo später die Messproben entnommen werden. Die Größe des gekennzeichneten Abschnitts muss der Prüfmustergröße plus 10 cm in jede Richtung entsprechen. Nur aus den so gekennzeichneten Bereichen darf je eine Messprobe entnommen werden. Das Aufgraben und der Ausbau der Proben müssen so vorsichtig erfolgen, dass keine weiteren Beschädigungen entstehen können. Die Zugversuche an den Messproben sind mit derselben Prüfmaschine mit denselben Klemmen und Prüfbedingungen durchzuführen, wie an den Referenzproben. Die Zugversuche werden immer in Richtung der

¹⁷ FGSV-Nr. 698: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (ZTV SoB-StB). [FGSV Verlag GmbH](#).

Längselemente durchgeführt. Es müssen alle 10 Messproben geprüft und in die Auswertung mit einbezogen werden. Der Abminderungsfaktor A_2 wird dann als Verhältnis der Mittelwerte der Zugfestigkeit der Referenzproben und der ausgebauten Messproben bestimmt.

Anhang 2: Simulation des Verhaltens von Bewehrungsgittern in Einbindegräben

1. Das Konzept

Bereits R. F. Wilson-Fahmy und R. M. Koerner (1993) hatten auf die Eigenart des Verhaltens von Bewehrungsgittern aus Kunststoff hingewiesen. Von V. Timmers und M. Ziegler (2004) wurden ein Konzept entwickelt, das insbesondere die begrenzte Steifigkeit der Längselemente in ein Bemessungskonzept einbezieht. Mit Hilfe eines diskrete-Elemente-Modells wurde erörtert, welche Auswirkungen eine begrenzte Festigkeit der Verbindungsstellen auf das Verhalten der Bewehrungsgitter haben kann (W. Müller 2011). Schließlich haben F. Jacobs und M. Ziegler diese Überlegungen zusammengeführt, ein halbempirisches diskrete-Elemente-Modell experimentell ausgearbeitet, das insbesondere auch Umlenkkräfte und verschiedene Versagenszustände berücksichtigt, und ein detailliertes Bemessungskonzept für Einbindegräben angegeben (F. Jacobs et al. 2014, F. Jacobs 2016 und Doktorarbeit von F. Jakobs: <http://publications.rwth-aachen.de/record/680774/files/680774.pdf>). Die Bewehrungsgitter werden dabei durch bestimmte charakteristische Funktionen, die die Steifigkeit der Längselemente und die bei der Verschiebung auftretende Reibungskraft und den Erdwiderstand angeben, und durch Versagenskriterien für die Verbindungsstellen von Längs- und Querelementen beschrieben.

Die Reibungskraft zwischen der Oberfläche des Bewehrungsgitters und den Bodenkörnern und der Widerstand des Bodens in der Front der Querelemente treten nicht schlagartig auf. Es bedarf einer gewissen Verschiebung des Gitters, um diese Kräfte zu mobilisieren. Die Reibungskraft steigt mit der Verschiebung steil an. Sie erreicht einen mehr oder weniger ausgeprägten maximalen Wert, der der Haftreibung entspricht. Bei einer weiteren Verschiebung fällt sie dann auf ein gleichbleibendes Niveau ab. Dieses Niveau entspricht der Gleitreibung, wenn das Gitter gleichmäßig durch den Boden gezogen wird. Die Abhängigkeit der Reibungskraft von der Verschiebung ist die erste charakteristische Eigenschaft eines Bewehrungsgitters.

Die Kraft, die erforderlich ist, um den Erdwiderstand vor einem Querelement zu überwinden, steigt ebenfalls steil mit der Verschiebung an. Die Kurve flacht ab und mündet in eine horizontale Linie. Deren Lage entspricht der Kraft, die erforderlich ist, um den Boden in einen plastischen Zustand zu überführen und so das Gleiten des Querelements zu ermöglichen. Diese Maximalkraft wächst linear mit der Normalspannung an. Durch die begrenzte Festigkeit der Verbindungsstellen werden jedoch alle Kurve von oben her „gedeckelt“. Die Abhängigkeit der Kraft, die in den Boden übertragen wird, von der Verschiebung und die Deckelung durch die Festigkeit der Verbindungsstellen ist die zweite charakteristische Eigenschaft eines Bewehrungsgitters. Auf die zusätzlich erforderliche Begrenzung der Verschiebung wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Wie die Verschiebungen bei der Zugbelastung der Längselemente entlang des eingebetteten Gitters verteilt werden, hängt von der Steifigkeit der Längselemente ab. Im vorderen Bereich der Einbettung in den Boden werden die Belastungen am größten sein und dann entlang des Gitters in dem Maße abnehmen, wie Reibungskraft und Erdwiderstand bereits mobilisiert worden sind. Ab einer gewissen eingebetteten Länge treten keine Verschiebungen mehr auf. Es werden keine Kräfte mehr mobilisiert. Erst wenn im vorderen Bereich der Einbettung der Gleitzustand eintritt oder Verbindungsstellen versagen, können in dem jenseits dieser kritischen Einbettungslänge liegenden Bereich Kräfte mobilisiert werden. Der übliche Ansatz, die Herausziehkraft würde linear mit der Einbettungslänge ansteigen, ist bei einem flexiblen Bewehrungsgitter also

nicht anwendbar. Die Abhängigkeit der Dehnung der Längselemente des Bewehrungsgitters von der Zugkraft ist daher die dritte wesentlich charakteristische Eigenschaft eines Bewehrungsgitters. Die beiden ersten charakteristischen Funktionen gelten für den Versagensmodus des Herausziehens. Es kann jedoch auch ein Zustand eintreten, bei dem das Bewehrungsgitter mit dem aufliegenden Boden auf dem darunterliegenden Boden gleitet. Die Reibungskraft als Funktion der Verschiebung für diesen Fall ist eine weitere charakteristische Funktion.

Kennt man diese vier Funktionen zusammen mit den Versagenskriterien für die Verbindungsstellen, so kann man das Verhalten des Bewehrungsgitters numerisch simulieren. In der Doktorarbeit von F. Jacobs wurden die charakteristischen Funktionen und die Versagenskriterien für einen bestimmten Typ eines geschweißten Bewehrungsgitters in speziellen Herauszieh- und Scherversuchen für zwei Arten von Bodenmaterialien bestimmt. Auf dieser Grundlage wurde das numerische Modell des Gitters programmiert, um dessen Verhalten im Rechner zu simulieren. Dieses Modell und die zugehörigen Berechnungen sind, bei geeigneter Wahl der charakteristischen Funktionen, auf alle Arten von Bewehrungsgittern anwendbar.

In wesentlichen Aspekten vergleichbar ist ein Ansatz, der von F. Wilson-Fahmy und R. M. Koerner (1993) mit Hilfe einer finite-Elemente-Berechnung für ein eindimensionales Modell aus Federn verfolgt wurde. Der Fokus lag dabei auf der Untersuchung der Auswirkung der Flexibilität von Querelementen („stiff“, „linear elastic“ und „beam-like ribs“) auf die an Verbindungsstellen übertragenen Kräfte und auf den Verlauf von Herausziehversuchen. Neben den genannten charakteristischen Funktionen wurden daher zwei zusätzlich Funktionen eingeführt, mit denen dem Unterschied zwischen einem strukturell starren und einem strukturell flexiblen Bewehrungsgitter explizit Rechnung getragen wurde. Mit Hilfe der Ableitung der charakteristischen Funktionen wurden die Federkonstanten des Federmodells für gegebene Verschiebungen berechnet. Ein gewisses Inkrement der Herausziehkraft ergab mit den Ausgangswerten der Federkonstanten ein gewisses Inkrement der Verschiebung. Für die neue Verschiebung wurde dann die Federkonstanten aus den charakteristischen Funktionen neu berechnet und das nächste Inkrement der Herausziehkraft ausgeführt (incremental-load transfer). So konnten iterativ für eine gegebene Herausziehkraft die entlang des Bewehrungsgitters wirkenden Kräfte und Verschiebungen berechnet werden. Ein Versagen der Verbindungsstellen wurde dabei jedoch nicht berücksichtigt. Auf den Zusammenhang zwischen einem diskrete-Elemente-Modell und dem „incremental-load transfer finite element model“ wird hier nicht eingegangen. Die Modelle sollten jedoch bei gleichen charakteristischen Funktionen vergleichbare Ergebnisse der Kräfte- und Verschiebungsverteilungen von Herausziehversuchen liefern.

In ihrer einfachsten Form sind die Modelle zwar für die Beschreibung von Herausziehversuchen, noch nicht jedoch für die Bemessung von tatsächlichen Einbindegräben brauchbar. Aufgrund des geometrischen Verlaufs können sich hier Umlenkkräfte ergeben, die im Bereich der Grabenkuppe zu einer Erhöhung der Druckspannung auf der Unterseite des Bewehrungsgitters und im Bereich des Grabenfußes zu einer Reduzierung der Druckspannung unterhalb des Bewehrungsgitters führen. Dies wurde von F. Jacobs durch eine Ortsabhängigkeit der auf der Unterseite und Oberseite einwirkenden Spannungen explizit im Modell berücksichtigt. Zudem können sich verschiedene Mechanismen des Versagens ausbilden. Neben dem eigentlichen Herausziehen (aus tiefen Gräben) ist vor allem das Gleiten des Bewehrungsgitters zusammen mit Teilen des aufliegenden Bodenkörpers von Bedeutung. Auch dieser Aspekt wurde berücksichtigt. Die einen Bodenkörper schiebende Kraft, die über das Bewehrungsgitter eingetragen wird, wurde dazu mit der der Verschiebung entgegenwirkenden Komponente der Gewichtskraft des Bodenkörpers (falls vorhanden) verglichen. Das Modell wurde so programmiert, dass es von einem

Versagensmechanismus in den anderen umschaltet, sobald das zum Versagensmechanismus gehörende Kräftegleichgewicht erreicht wird.

Die Ergebnisse der schließlich erarbeiteten Simulation wurden anhand von experimentellen Ergebnissen, die an großmaßstäblichen Herausziehversuchen gewonnen worden waren, verglichen. Da mit dem Modell nicht nur Grenzzustände des Herausziehens oder Gleitens, sondern auch Verschiebungen im Gebrauchszustand ermittelt werden können, wurde die Simulation auch in dieser Hinsicht mit in-situ Messungen der Verschiebungen des Bewehrungsgitters in einem Oberflächenabdichtungssystem überprüft. Das Bewehrungsgitter war in diesem Fall in einem Graben mit Umlenkungen verankert worden, so dass auch die Simulation der Umlenkräfte kontrolliert werden konnte. Für verschiedene Geometrien von Einbindegräben sowie für verschiedene Einbettungslängen und Auflasten wurden dann in einer umfangreichen Parameterstudie die Herauszieh Widerstände für die jeweils relevanten Versagenszustände berechnet und mit der Bestimmung des Herauszieh Widerstands nach der herkömmlichen Berechnungsmethode verglichen.

2. Versagenskriterien für Verbindungsstellen

In den Simulationen wurde ein Versagenskriterium im Hinblick auf die Festigkeit der Verbindungsstellen, die in Anlehnung an GRI-GG2 ermittelt wurde, verwendet. Die langfristig vorhandene Zugscherfestigkeit einer Verbindungsstelle kann dabei produktspezifisch in Untersuchungen, z.B. gemäß Gl. (9) im nächsten Anhang 3, bestimmt werden.

Verbindungsstellen können jedoch auch dann versagen, wenn die zu übertragenden Kräfte wesentlich geringer sind als die, die beim Versagen in den Zugscherversuchen gemessen werden. So wurde z. B. bei steifen gelegten Bewehrungsgittern beobachtet, dass bei der Verschiebung im Herausziehversuch die Querelemente sich aufwölben. Ein solches Aufwölben führt neben der Zugscherbeanspruchung zu einer Schälbeanspruchung. Verbindungsstellen können bei einer Schälkraft empfindlicher reagieren als bei einer Zugscherkraft. Die Schälkraft wächst offenbar in dem Maße an, wie durch die Verschiebung ein Verdrehen der horizontal liegenden Querverbindung in Richtung der Vertikalen bewirkt wird. Bei einer gewissen kritischen Verschiebung kommt es dann zum Aufschälen. Daher wurde von F. Jacobs ein zusätzliches Versagenskriterium verwendet, das auf der Verschiebung der Verbindungsstellen beruht. Aus den Herausziehversuchen mit nur einem Querelement wurde ermittelt, bei welcher Verschiebung der Verbindungsstellen Versagen auftrat. Ein eindeutiger Einfluss der Normalspannung konnte nicht nachgewiesen werden, wohl aber ein Einfluss der Zugscherfestigkeit. Abhängig von der Eigenart des Bewehrungsgitters ist also eine Charakterisierung der Verbindungsstellen allein aufgrund von Zugscherversuchen nicht ausreichend. Es kann sich als notwendig erweisen, neben dem Festigkeitskriterium auch ein Verschiebungskriterium für das Versagen aufzustellen. Beides, sowohl das Festigkeits- als auch das Verschiebungskriterium, kann in der Simulation berücksichtigt werden.

Auch hierbei wird man die aus den Ergebnissen der speziellen Herausziehversuche abgeschätzten kritischen Verschiebungswerte im Hinblick auf das Langzeitverhalten abmindern müssen. In der Regel wird man bei einem Schälversagen, das nach einer gewissen Verschiebung auftritt, einen Zusammenhang zwischen der Zugscherfestigkeit der Verbindungsstelle und der Größe dieser Verschiebung finden. Hat man einen Langzeitwert für die Zugscherfestigkeit festgelegt (siehe Anhang 3), so kann man einen dazugehörigen zulässigen Langzeitwert für die Verschiebung aus diesem Zusammenhang extrapolieren. Der Langzeitwert der Zugscherfestigkeit und der Langzeitwert der zulässigen Verschiebung sind neben den charakteristischen Funktionen die

Eingangsgrößen für eine Bemessung nach dem Konzept von F. Jacobs und M. Ziegler.

3. Die Steifigkeit eines Einbindegrabens

In der EBGEO wird der Verbundbeiwert λ als Faktor definiert, der die Proportionalität zwischen Herausziehkraft einerseits und Scherfestigkeit des Bodens, Normalspannung und Verankerungslänge andererseits ausdrücken soll. Tatsächlich existiert diese Proportionalität nur für einen sehr begrenzten Wertebereich. Entsprechend groß sind die Schwierigkeiten, einen sinnvollen Beiwert experimentell zu bestimmen. Wird λ etwa in kleinmaßstäblichen Herauszieh- oder Durchziehversuchen mit einem kleinen Scherkasten mit Böden geringer Scherfestigkeit und bei geringer Normalspannung ermittelt, so wird die Verwendung dieses Werts bei der Bemessung langer Einbindegräben mit hoher Normalspannung und besonders scherfestem Boden zu falschen Ergebnissen führen. Werden andererseits großmaßstäbliche Herausziehversuche durchgeführt und weichen die Randbedingungen der tatsächlich realisierten Konstruktion nur wenig von den Prüfbedingungen ab, führt man also praktisch Feldversuche durch, so wird die Bemessung mit dem so bestimmten Beiwert trivialerweise eher zuverlässige Resultate liefern. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass durch ein örtlich fein aufgelöstes Monitoring die unterschiedlichen (Verschiebungs- und Spannungs-) Zustände entlang der Verankerungsstrecke erfasst werden. Anderenfalls kann in diesem Fall eine zu starke Verschmierung von Ergebnissen zu fehlerhaften Interpretationen des Sicherheitsniveaus führen. Ein gewisses Maß an Unsicherheit ist also ohnehin mit jeder herkömmlichen Bemessung nach der EBGEO verbunden. Sieht man jedoch von diesem speziellen Problem ab, kann man hinsichtlich der Gültigkeit der herkömmlichen Bemessung die folgenden Überlegungen anstellen.

Die EBGEO-Bemessung ist offenbar immer dann richtig, wenn das Gitter starr ist, wenn nur Reibungskräfte auftreten und wenn die erforderliche Verankerungslänge klein ist gegenüber der überhaupt nur aktivierbaren Verankerungslänge eines Bewehrungsgitters aus Kunststoff. Die Bemessung der EBGEO ist daher umso zuverlässiger, je steifer die Längselemente des Bewehrungsgitters, je größer der Anteil der Reibung am Herausziehwiderstand und je kleiner die erforderliche Verankerungslänge ist. Umgekehrt wird bei großer Dehnbarkeit der Längselemente, bei hohem Anteil der über die Querelemente in den Boden eingetragenen Zugkraft und bei großer Verankerungslänge die herkömmliche Bemessung keine brauchbaren Resultate liefern.

Dementsprechend führt F. Jacobs eine sogenannte Verankerungssteifigkeit k_R ein. Diese wird definiert als Produkt aus Steifigkeit der Längselemente und Anteil der Reibung dividiert durch die Verankerungslänge. Man darf dann vermuten, dass bei einer kleinen Verankerungssteifigkeit die herkömmliche Bemessung das Verhalten des Bewehrungsgitters nicht richtig erfasst. Erst bei einer großen Verankerungssteifigkeit werden das Ergebnis der Simulation, die die tatsächlichen Eigenschaften eines Bewehrungsgitters aus Kunststoff hinreichend genau berücksichtigt, und das Ergebnis der herkömmlichen Bemessung übereinstimmen.

Jacobs geht, genauer gesagt, so vor, dass er aus den Isochronenkurven der Längselemente eine „mittlere Langzeit-Dehnsteifigkeit“ $J_{m,\infty}$ bestimmt. Aus den kleinteiligen Herausziehversuchen ermittelt er den „Längszuggliedanteil“ ρ_{md} als Anteil des Verbundbeiwerts der Reibung am gesamten Verbundbeiwert. Schließlich verwendet er die „Gesamtverankerungslänge“ L_{ges} . Die Verankerungssteifigkeit definiert er dann als:

$$k_R = \frac{J_{m,\infty} \rho_{md}}{L_{ges}}$$

4. Herkömmliches und neues Bemessungsverfahren

F. Jacobs überprüft in einer Parameterstudie die Zuverlässigkeit des bisherigen Bemessungsverfahrens von Verankerungsgräben. Die Studie bezieht sich auf die von ihm experimentell untersuchten Bewehrungsgitter und auf die von ihm für diese Gitter gewählten Versagenskriterien für die Zugscherfestigkeit der Verbindungsstellen und für deren zulässige Verschiebung. Bei einer Verankerungssteifigkeit, die größer als 1820 kN/m^2 ist, lieferte in diesem Fall eine Bemessung nach der EBGEO Resultate, die auf der sicheren Seite lagen. Bei kleineren Verankerungssteifigkeiten war das nicht mehr der Fall. Hier musste eine EBGEO-Berechnung des Verankerungswiderstands für den Fall sehr ungünstiger Eingangskombinationen, u.a. von geometrischen Randbedingungen, immerhin um den Sicherheitsfaktor 1,67 abgemindert werden. In fast allen simulierten Fällen war das Gleiten des Bewehrungsgitters mit aufliegendem Bodenkörper nach einer gewissen Mobilisierung von Reibung und Erdwiderstand der relevante Versagensmechanismus. Eine in der Parameterstudie vorgenommene gewisse Reduzierung der aus Kurzzeitversuchen ermittelten Festigkeit der Verbindungsstellen und der zulässigen Verschiebung hatte dabei noch keinen großen Einfluss. Für die Simulation war aber noch nicht abschließend geklärt worden, wo im Hinblick auf 100 Jahre Lebensdauer sinnvolle Werte für Festigkeit und Verschiebung bei diesem Bewehrungsgittertyp tatsächlich liegen. Der Bruch der Böschungskrone war dagegen nie maßgebend für das Versagen. Wird jedoch in einer EBGEO-Bemessung ausschließlich der Mechanismus Herausziehen betrachtet, so ergibt diese Bemessung wesentlich höhere Widerstände als beim Mechanismus Gleiten und der Bruch der Böschungskrone erscheint dann oft als maßgebender Versagensmechanismus.

5. Schlussfolgerung

In der Doktorarbeit von F. Jacobs wird für eine bestimmte Art von Bewehrungsgitter das Konzept, wie Verankerungsgräben von Bewehrungsgitter aus Kunststoff unter Berücksichtigung der Steifigkeit der Längselemente und von Versagenskriterien für die Verbindungsstellen bemessen werden können, im Detail durchgearbeitet. Dieses Verfahren kann auch auf andere Arten von Bewehrungsgittern angewendet werden. Was die rein rechnerische Durchführung der Modellierung anbetrifft, so ist neben der diskrete-Elemente-Methode auch eine finite-Elemente-Methode anwendbar. Beide bauen auf die empirisch zu ermittelnden charakteristischen Funktionen auf, die die jeweiligen Eigenschaften des Bewehrungsgitters widerspiegeln. Mit der Analyse des Verhaltens von Bewehrungsgittern nach diesem Verfahren ist eine Grundlage gewonnen, auf der das Zulassungsverfahren aufbauen kann. Ist mit einem bestimmten Erddruckgitter überhaupt eine Verankerung, die über 100 Jahre hinaus wirksam ist, realisierbar und wenn ja, wie ist diese in Abhängigkeit von den Einwirkungen zu gestalten? Diese Frage kann jetzt unter Berücksichtigung der begrenzten Steifigkeit der Längselemente und der begrenzten Belastbarkeit der Verbindungsstellen systematisch untersucht werden.

6. Literatur

Jacobs, F., Ziegler, M., Vollmert, L. und Ehrenberg, H.: Explicit design of geogrids with a non-linear interface model. In: Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics. Ziegler, M., et al. (Hrsg.). Essen, Germany: Deutsche Gesellschaft für Geo-technik (DGGT) 2014.

Jacobs, F.: Interaction model for design of geogrid pullout. In: Proceedings of the Euro-Geo 6. Ljubljana, Slovenia: International Geosynthetic Society (IGS), Turkish Chapter 2016.

Müller, W.W.: Zur Bemessung der Verankerung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff beim

Schutz von Böschungen vor hangparallelem Gleiten. Bautechnik, 88(2011), H. 6, S. 347-361.

Wilson-Fahmy, R.F. und Koerner, R.M.: Finite element modelling of soil-geogrid interaction with application to the behavior of geogrids in a pullout loading condition. Geotextiles and Geomembranes, 12(1993), H. 5, S. 479-501.

Ziegler, M. und Timmers, V.: A new approach to design geogrid reinforcement. In: Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference, Geotechnical Engineering with Geosynthetics. Floss, R., et al. (Hrsg.). München: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) und Technische Universität München (TUM-ZG) 2004, S. 661-667.

Anhang 3: Grenzzustandsgleichung für Verbindungsstellen

1. Die an Verbindungsstellen übertragenen Kräfte

Die Kraft, mit der das Querelement auf den Boden einwirkt, führt zu einer Verteilung von Druck- und Scherspannungen im Boden. Sie findet eine Grenze, wenn sich ein Spannungszustand einstellt, bei dem die Scherfestigkeit des Bodens erreicht und er in einen leicht verformbaren, plastischen Zustand überführt wird. Das Querelement kann dann, sofern es selbst oder die Verbindungsstelle nicht reißt, durch den Boden pflügen. Eine Erhöhung der Kraft, über diese Grenze hinaus, ist nicht möglich. Der von der Scherfestigkeit des Bodens und der Auflast abhängige Wert dieser Kraft im Grenzzustand des Scherversagens des Bodens stellt also die Obergrenze der Kräfte dar, die von Verbindungsstellen zwischen dem Querelement und dem Längselement übertragen werden müssen.

Wird diese Kraft im Grenzzustand auf die Fläche der Stirnseite des Querelements bezogen, so ergibt sich eine gewisse Druckspannung, die höchstens auf den Boden einwirken kann. Von R. A. Jewell et al. (1984) wurde Mitte der 1980er Jahre vorgeschlagen, diese „Tragfähigkeit“ des Querelements oder umgekehrt diesen „Erdwiderstand“ des Bodens im Hinblick auf das Querelement aus der bodenmechanischen Theorie über die Tragfähigkeit von Fundamenten abzuschätzen. Aus der Gleichung für die Tragfähigkeit eines Streifenfundaments für eine gegebene Auflast auf der Bodenoberfläche außerhalb des Fundaments könnten sich Anhaltspunkte für die „Tragfähigkeit“ des Querelements ergeben, so die Überlegung der Autoren. Bei einem Bewehrungsgitter mit einer Öffnungsweite in Querrichtung b und einer Höhe des Querelements h wäre nach dieser Analogie die Kraft F_1 , die das Querelement im Grenzzustand höchstens auf den Boden ausüben kann, gegeben durch:

$$(1) \quad F_1 = bh\sigma_n \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi}$$

σ_n ist dabei die vertikale Spannung und φ der Winkel der Scherfestigkeit des Bodens. Die sich aus Gl. (1) ergebenden Kräfte wurden von R. A. Jewell et al. (1984) mit Daten, die aus Messungen des Herauszieh Widerstands bei starren Bewehrungsgittern aus Stahl gewonnen worden waren, verglichen. Dabei zeigte sich, dass Gl. (1) eine obere Grenze für den Bereich der gemessenen Werte lieferte.

Eine andere Abschätzung des mobilisierbaren Erdwiderstands und damit der vom Bewehrungsgitter in den Boden übertragbaren Zugkraft ergibt sich, wenn Kies- oder grobe Sandböden betrachtet werden, deren Körner einerseits deutlich größer als die Dicke der Querelemente, andererseits aber auch noch so klein sind, dass sie in die Gitteröffnungen hineinpassen und sich dort verklemmen. Beim Herausziehen eines starren Gitters wird dann das gesamte, in der Öffnung eingeklemmte „Paket“ von Kieskörnern verschoben. Es ergeben sich dabei zwei Scherflächen, die oberhalb und unterhalb der Ebene des Bewehrungsgitters im Boden selbst liegen. Ein Bewehrungsgitter, bei dem sich unter den gegebenen Bedingungen solche Gleitflächen einstellen, wurde von R. A. Jewell et al. als „fully rough“ im Hinblick auf diese Bedingungen bezeichnet. Hat das Bewehrungsgitter in Längsrichtung eine Öffnungsweite a , so wäre in diesem Falle die höchsten aufgrund der Scherfestigkeit des Bodens auf das Querelement einwirkende Kraft gegeben durch:

$$(2) \quad F_2 = 2ab\sigma_n \tan \varphi$$

Dieser Spannungszustand, bei dem das Bewehrungsgitter zwischen zwei ganz im Boden

verlaufenden Scherflächen herausgezogen wird, liefert nach Auffassung von R. A. Jewell et al. aber auch eine Deckelung für den überhaupt möglichen Herausziehwiderstand und damit auch für den mit der Gl. (1) berechneten maximalen Erdwiderstand vor einem Querelement. Die Kraft F_1 würde nach Gl. (1) mit anwachsendem Winkel der Scherfestigkeit des Bodens φ und wachsender Normalspannung σ_n immer größer. Sie könne jedoch nicht beliebig anwachsen, so die Autoren. Sobald nämlich F_1 größer als F_2 würde, sei es bei dem entsprechenden Wertepaar (φ, σ_n) günstiger, die beiden Scherfugen im Boden auszubilden. Wird ein gewisser Erdwiderstand vor dem Querelement erreicht, würde sich danach zwangsläufig der Zustand „fully rough“ einstellen. Diese Überlegung ist jedoch nur dann plausibel, wenn viele Querelemente in der gleichen Weise beansprucht werden, also nur im Fall eines starren Gitters.

2. Das Bemessungskonzept von R. H. Swan und Z. Yuan (2016)

Die beiden Autoren berechnen für einen Boden mit dem Winkel der Scherfestigkeit φ und für eine Normalspannung σ_n die höchstens auf das Querelement einwirkende und damit über die Verbindungsstelle auf das Längselement höchstens zu übertragende Kraft J mit Hilfe der obigen Gleichungen. Sie stellen diese Kraft der im Labor in Anlehnung an die Prüfvorschrift GRI GG2 (Kubec et al. 2004a und 2004b) gemessenen Zugscherfestigkeit T_0 der Verbindungsstelle gegenüber. Sie erhalten damit eine Bemessungsgleichung, die die höchstens zu erwartende Reaktionskraft des Bodens einer mindestens vorhandenen Zugscherfestigkeit der Verbindungsstelle gegenüberstellt. J setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen.

1. Die Kräfte F_1 und F_2 werden nach Gl. (1) und Gl. (2) berechnet und die jeweils kleinere Kraft veranschlagt:

$$(3) \quad F_0 = \begin{cases} F_1 & \text{falls } F_1 \leq F_2 \\ F_2 & \text{falls } F_1 \geq F_2 \end{cases}$$

2. Die Reibungskraft S zwischen der Oberfläche des Querelements und dem Boden wird, wie üblich, gemäß der folgenden Gleichung bestimmt:

$$(4) \quad S = 2wb(\sigma_n \tan \delta + c)$$

Dabei ist w die Breite des Querelements, δ der Reibungswinkel zwischen Boden und Oberfläche des Gitters und c eine möglicherweise zusätzlich vorhandene Adhäsion.

3. Auf der Rückseite des Querelement wirkt nach Ansicht von R. H. Swan und Z. Yuan (2016) noch eine schiebende Kraft H , die nach der Formel für den aktiven Erddruck, den der Boden auf eine ausweichende Stützwand ausübt, berechnet werden soll:

$$(5) \quad H = \frac{bh\sigma_n}{\tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)}$$

Zusammengefasst erhält man:

$$(6) \quad J = F_0 + S + H$$

Für gegebenes φ und σ_n ergibt sich damit eine Grenzzustandsgleichung mit der globalen Sicherheit γ gemäß:

$$(7) \quad T_0 = \gamma J.$$

R. H. Swan und Z. Yuan (2016) führen eine Beispielrechnung durch. Betrachtet wird ein Bewehrungsgitter in einer Tragschicht (Winkel der Scherfestigkeit 37°) unter einer Fahrbahn. Aus der Verkehrsbelastung soll eine Normalspannung von 77 kPa resultieren. Der Erdwiderstand vor dem Querelement beträgt für das gewählte Bewehrungsgitter $F_1 = 169$ N. Zwei Scherflächen in der Tragschicht ergeben dagegen nur eine dem Herausziehen entgegenwirkende Kraft von $F_2 = 75$ N. Die Reibung liefert nur einen geringen Beitrag von $S = 1$ N. Daher ist $J = 76$ N. Im Labor wurde in einer Prüfung gemäß GRI GG2 eine Zugscherfestigkeit der Verbindungsstelle von $T_0 = 245$ N gemessen. Die globale Sicherheit wäre danach $\gamma = 3,2$.

3. Diskussion des Bemessungskonzepts von R. H. Swan und Z. Yuan (2016)

Mit diesem Bemessungskonzept wird versucht, die Zugscherfestigkeit von Verbindungsstellen bei der Bewertung von Bewehrungsgittern und bei der Bemessung von Konstruktionen mit Bewehrungsgittern explizit zu berücksichtigen. Bei der Anwendung dieses Konzepts müssen jedoch einige Punkte bedacht werden, die insbesondere im Hinblick auf Punkt 4 Modifikationen notwendig machen:

1. Gleichung (2) gilt nicht ohne weiteres für Bewehrungsgitter aus Kunststoff. Bei diesen Gittern ist die Verschiebung der Querelemente und damit die Mobilisierung des Erdwiderstands ungleichmäßig über die Länge des eingebetteten Gitters verteilt. Wenn also nur lokal F_1 größer als F_2 wird, so wird das nicht zwangsläufig zu zwei sich gleichmäßig über das Gitter verteilenden und ganz im Boden liegenden Scherflächen führen. Die Deckelung des Erdwiderstands in Gl. (3) kann daher zu falschen Ergebnissen führen (s. dazu das unten weitergeführte Beispiel) und sollte einfach weggelassen werden.

2. Die Komponente Gl. (5) ist schon in Gl. (3) enthalten, da der theoretische Ansatz (Gl. (1)) im Hinblick auf an starren Gittern gemessene Herausziehkraft gewählt wurde. Diese Komponente ist aber ohnehin gering.

3. Auf Grund der speziellen Annahmen stellt die Gleichung (1) funktionale Zusammenhänge dar, die zwar von bodenmechanischen Überlegungen abgeleitet wurden, die sich im Falle der Bewehrungsgitter aber nur empirisch durch den Vergleich mit Messungen der Herausziehkraft rechtfertigen lassen. Bei der Verwendung der Daten aus Herausziehversuchen mit Bewehrungsgittern aus Kunststoff ist dabei Vorsicht geboten. Die Kraft am Querelement wird üblicherweise ermittelt, indem die um die Reibungskraft verminderte Herausziehkraft auf alle Querelemente des untersuchten Gitters verteilt wird. Bei Bewehrungsgittern aus Kunststoff ist dies jedoch nicht zulässig, da wegen der Flexibilität der Längselemente unterschiedliche Kräfte auf die Querelemente einwirken. Es besteht daher noch eine gewisse Unsicherheit, wie zuverlässig die Gleichungen (1) die Kräfte bei Bewehrungsgittern aus Kunststoff tatsächlich nach oben eingrenzt.

4. In die linke Seite von Gl. (7) wurde der Prüfwert aus einem Zugversuch im Prüflabor eingesetzt. Sowenig wie bei der Beurteilung der Festigkeit der Längselemente kann jedoch auch bei der Beurteilung der Festigkeit der Verbindungsstellen einfach ein solcher charakteristischer Prüfwert verwendet werden. Ähnlich wie das Längselement unterliegt auch die Verbindungsstelle der Alterung und mannigfachen Umgebungseinflüssen (Abminderungsfaktor A_4). Auch Kriecheffekte werden sich in Verbindungsstellen auswirken können (Abminderungsfaktor A_1). So wie Längselemente, können Verbindungsstellen beim Einbau beschädigt werden (Abminderungsfaktor A_2). Schließlich können sich gerade dynamische Belastungen, wie sie in dem Beispiel angenommen wurden, nachteilig auf Verbindungsstellen auswirken (Abminderungsfaktor A_5). Es wäre sicherlich nicht richtig, würde man annehmen, das Längselement sei all diesen Einwirkungen ausgesetzt, die Verbindungsstelle aber nicht. In Gl. (7) wird man daher einen Bemessungswert T einsetzen müssen, der gegenüber dem Prüfwert abgemindert wurde:

$$(8) \quad T = \frac{T_0}{A_1 A_2 A_4 A_5}$$

$$(9) \quad T = \gamma J$$

Im Lichte dieser Überlegungen wäre das obige Beispiel wie folgt zu modifizieren. Das Produkt aller Abminderungsfaktoren ergibt einen gewissen Wert. Der sei z. B. 2. Die Erdwiderstandskraft wird zwar kleiner als 169 N sein, sie kann aber lokal deutlich größer als 75 N werden, da bei einer ungleichmäßigen Verteilung der Kräfte über die Verbindungsstellen nicht notwendigerweise schon bei 75 N der „fully rough“ Zustand eintreten muss. Bei einem Wert von z. B. 120 N wäre die Sicherheit im angeführten Beispiel dann nur noch $\gamma = 1$.

5. Es ist naheliegend, in Gl. (8) die für die Längselemente bereits ermittelten Abminderungsfaktoren zu verwenden. Dies setzt aber voraus, dass die Verbindungsstellen in gleicher Weise von Abminderungen betroffen sind wie die Längselemente. In manchen Fällen ist diese Annahme plausibel, in anderen zweifelhaft. Das PET-Material in einer Schweißnaht könnte z. B. durch die thermische und mechanische Belastung beim Schweißen so vorgeschädigt werden, dass eine raschere hydrolytische Alterung einsetzt. In diese Zulassungsrichtlinie ist daher bereits eine Prüfung aufgenommen worden, bei der die Verbindungsstelle eines geschweißten PET-Bewehrungsgitters bei 60 °C ein Jahr lang im Wasserbad gelagert und der hydrolytische Abbau mit dem der Längselemente unter gleichen Bedingungen verglichen wird. Es dürfen sich keine wesentlichen Unterschiede in der Materialänderung ergeben. Erst wenn solche Prüfungen bestanden werden, kann der Abminderungsfaktor A_4 der Längselemente auch für die Zugscherfestigkeit der Verbindungsstelle verwendet werden.

Die Verbindungsstellen können jedoch auch durch Mechanismen versagen, die in den Längselementen nicht auftreten. Bei extrudierten Bewehrungsgittern aus teilkristallinen Polyolefinen sind die Längselemente hoch verstreckt. Die Morphologie ist dann durch eine starke Orientierung der Moleküle und Kristallite gekennzeichnet. Dadurch ist die Spannungsrissbildung behindert. Dies gilt jedoch nicht für den Übergangsbereich vom Längs- zum Querelement. Hier treffen Spannungskonzentrationen auf die wenig orientierten Materialbereiche der Verbindungsstellen. In Laborversuchen konnte tatsächlich dort die Bildung von Spannungsrissen unter Bedingungen beobachtet werden, die diesen Vorgang stark forcierten. Es muss also geklärt werden, ob auf dem Spannungsniveau, das maximal bei der Belastung in einem Boden auftritt, Spannungsrisse über einen Zeitraum von 100 Jahren in den Verbindungsstellen eines solchen Bewehrungsgitters möglich sind.

6. Bei einem im Boden eingebetteten Bewehrungsgitter tritt an der Verbindungsstelle nicht nur eine Zugscherkraft, sondern unter Umständen auch eine Schälkraft auf. Diese wird dann mobilisiert, wenn die Querelemente im Boden verschoben werden und sich dabei verdrehen. Schweißnähte oder Klebungen werden zum Beispiel oft eher durch Schälkräfte als durch Zugscherkräfte geöffnet. Es kann also sein, dass neben einem sich auf die Zugscherfestigkeit beziehenden Bemessungskriterium noch ein Kriterium für die zulässige Verschiebung verwendet werden muss. Im Bemessungskonzept von F. Jacobs und M. Ziegler wird ein solches Kriterium berücksichtigt, siehe Anhang 2. In kleinteiligen Herausziehversuchen muss daher geklärt werden, wie der Versagensmechanismus aussieht. Ähnelt das Versagensverhalten der Verbindungsstellen im Zugscherversuch dem im Boden, so kann auf der Grundlage von Gl. (8) und Gl. (9) bereits eine Bewertung des Bewehrungsgitters und der Anwendungsgrenzen bei der Zulassung vorgenommen werden. Unabhängig davon wird die Bemessung einer Konstruktion die Überlegungen im Anhang 2 berücksichtigen müssen.

4. Literatur

Jewell, R.A., Milligan, G.W.E., Sarsby, R.W. und Dubois, D.: Interaction between soil and geogrids. In: Proceedings of the Conference on Polymer Grid Reinforcement. London: Thomas Telford 1984.

Kupec, J., McGown, A. und Ruiken, A.: Junction strength testing for geogrids. In: Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference, Geotechnical Engineering with Geosynthetics. Floss, R., et al. (Hrsg.). München: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) und Technische Universität München (TUM-ZG) 2004, S. 717-722.

Kupec, J., McGown, A. und Ruiken, A.: Index testing of the junction strength of geogrids. In: Proceedings of the Third Asian Regional Conference on Geosynthetics, Now and Future of Geosynthetics in Civil Engineering. Seoul 2004, S. 797-802.

Swan Jr, R.H. und Yuan, Z.: A Theoretical Analysis of the Maximum Load Transferred to the Junctions of a Geogrid Confined in Granular Soil. In: Geosynthetics, Forging a Path to Bona Fide Engineering Materials. 2016, S. 37-48.