

Die neue DIN 4093 " Bemessung von verfestigten Bodenkörpern"

Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt, Zentrum Geotechnik, Technische Universität München

1 Anlass für eine neue Norm DIN 4093

DIN 4093:1987-09 "Einpressen in den Untergrund" regelte traditionell über mehr als zwei Jahrzehnte Injektionen in den Untergrund. Sie ist bauaufsichtlich eingeführt und enthält Vorgaben zu Planung, Baustoffen, Ausführung, Überwachung und Prüfung von Injektionskörpern, dort Einpresskörper genannt. Sie bezieht sich auf Injektionen von Zement, Wasserglassystemen und Kunstharzen. Es werden Einpressungen in Fels und in Lockergesteine behandelt. Erfasstes Ziel von Injektionen sind sowohl Abdichtungen als auch Verfestigungen. Auch Hebungsinjektionen und entsprechende Untergrundverbesserungen passen dort hinein. Die Norm enthält Regelungen zu Standsicherheitsnachweisen und nutzbaren Festigkeiten, hatte also Relevanz bezüglich der Sicherheit im Bauwesen.

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung europäischer Ausführungsnormen durch das TC 288 wurden 3 Normen erarbeitet, die auch als deutsche Normen gültig sind.

- DIN EN 12715:2000-10: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Injektionen
- DIN EN 12716:2001-12: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)
- DIN EN 14679:2005-07; Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Tiefreichende Bodenstabilisierung

Mit Vorliegen der DIN EN 12715 war ein Konflikt insofern entstanden, als die Ausführung von Einpressarbeiten sowohl in der europäischen Norm als auch in DIN 4093 geregelt war. Anlässlich der regelmäßigen Normen-Überprüfung wirkte das DIN daher darauf hin, dass in einer neuen DIN 4093 nur noch der Entwurf und die Bemessung von Injektionskörpern geregelt werden soll, nicht mehr ihre Ausführung. Über das DIN-Lenkungsgremium "Fachbereich 05 - Grundbau, Geotechnik" wurde danach im Zusammenwirken mit der DGGT ein Ausschuss zur neuen Bearbeitung installiert. Dabei konnten einige Mitglieder wieder gewonnen werden, die schon an der zuletzt gültigen Version der DIN 4093 mitgewirkt hatten. Auch die Erfahrungen des Arbeitskreises 2.9 der DGGT, der sich mit Einpressarbeiten von Feinstbindemitteln befasst hatte, wurden einbezogen. Wie üblich und erforderlich, wurde weiterhin sichergestellt, dass alle interessierten Kreise: Auftraggeber, Auftragnehmer, Planer, Wissenschaft und Bauaufsicht, beteiligt waren, um eine Regelung im Konsens erreichen zu können.

In der ersten Sitzung des Arbeitsausschusses wurde entschieden, gleichzeitig mit Körpern, die durch Injektion hergestellt werden, auch Düsenstrahlkörper und im Deep-Mixing-Verfahren hergestellte Körper zu erfassen.

Zwischen 2005 und 2012 haben 20 Sitzungen stattgefunden, um
DIN 4093:2012-08 " Bemessung von verfestigten Bodenkörpern — hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren"

- Design of ground improvement – jet grouting, deep mixing or grouting
- Dimensionnement des renforcements de sol – colonnes de sol-ciment réalisées par jet, colonnes de sol traité ou injection

zu erarbeiten.

2 Bauaufsichtliche Aspekte

DIN 4093:1987-09: war eine bauaufsichtlich eingeführte Norm. Mit ihr waren Injektionskörper z.B. für Unterfangungen eine geregelte Bauweise mit Regeln für Planung, Baustoffe, Ausführung, Überwachung und Prüfung.

Das Düsenstrahlverfahren und Körper, die im mixed-in-place-Verfahren hergestellt werden, sind dadurch geregelte Bauweisen, dass für sie allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bestehen, die ebenfalls Planung, Baustoffe, Ausführung und Prüfung regeln.

Die Herstellung von Injektionen, deep-mixing-Körpern und im Düsenstrahlverfahren hergestellten Körpern sind in europäischen Ausführungsnormen behandelt. Diese enthalten viele Freiheitsgrade und legen manche Dinge nicht fest, wie sie bisher in Deutschland in DIN 4093:1987-09 oder den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt waren bzw. sind. Aufgrund dieser Freiheitsgrade können die ENs in Deutschland nicht ohne weiteres bauaufsichtlich eingeführt werden. Für eine Einführung wäre erforderlich, den europäischen Normen Ergänzungsdokumente, also nationale Anhänge, Fachberichte oder Vornormen zuzuordnen, in denen erforderliche Zusatzregelungen vor allem zu mitgeltenden Regelwerken und zu Baustoffen festgelegt werden. Außerdem muss die Bemessung geregelt sein, worunter die Planung und Sicherheitsanforderungen einschließlich Festigkeitsfestlegungen mit Prüfungen subsumiert sind.

Der Weg, europäische Herstellnormen im Zusammenhang mit Ergänzungsdokumenten und einer Bemessungsnorm bauaufsichtlich einzuführen, wurde auch schon für Anker, Mikropfähle, Bohrpfähle und Verdrängungspfähle beschritten. Als nationale Ergänzungsdokumente kommen ein nationaler Anhang, ein Fachbericht oder eine Vornorm in Frage. Aktuell wird der Weg der Vornorm favorisiert, bei dem davon ausgegangen wird, dass der Norminhalt langfristig auch der europäischen Regelung zugeordnet wird und daher einen Vor-Status hat. Veröffentlicht werden die Vornormen als DIN-SPEC-Dokumente, z.B. DIN-SPEC 18140 zugehörig zu DIN EN 1536 für Bohrpfähle. Als zugehörige Bemessungsnorm bei den o.g. europäischen Herstellnormen für Anker und Pfähle besteht DIN EN 1997-1 im Zusammenhang mit dem zugehörigen deutschen Nationalen Anhang und DIN 1054.

Regelungen hinsichtlich der Bemessung von verfestigten Bodenkörpern, die in den drei o.g. europäischen Ausführungsnormen nicht enthalten sind, sind auch in EC 7-1 und DIN 1054 nicht enthalten und werden jetzt in der neuen DIN 4093:2012-08 fixiert. Langfristig ist geplant, die entsprechenden Bemessungsregeln in DIN EN 1997-1 und DIN 1054 aufzunehmen.

Bei genauer Überprüfung der europäischen Herstellnormen für das Düsenstrahlverfahren und das deep-mixing-Verfahren zeigte es sich, dass eine Überarbeitung dieser Normen vorgenommen werden sollte, bevor Ergänzungsdokumente der genannten Art konfliktfrei erarbeitet werden können. Der Arbeitskreis hat den Überarbeitungsbedarf zunächst für EN 12716 Düsenstrahlverfahren konkret identifiziert und in Form von Änderungsvorschlägen beim CEN in die europäische Normung eingebracht, deren Umsetzung allerdings einige Jahre in Anspruch nehmen wird. Da aktuell und in absehbarer Zukunft mit den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen Regelungen verfügbar sind, diese Verfahren bauaufsichtlich geregelt anzuwenden, entschied der Ausschuss, für diese beiden Herstellungsverfahren zunächst keine nationalen Ergänzungsdokumente zu erarbeiten.

Dagegen wurde beschlossen, ergänzend zur europäischen Injektionsnorm DIN EN 12715 ein nationales Ergänzungsdokument zu erstellen, da hier keine allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bestehen. Damit wird im Zusammenhang von DIN EN 12715, dem zugehörigen Ergänzungsdokument und der neuen DIN 4093 erreicht, dass Injektionen als bauaufsichtlich geregeltes Verfahren weiterhin in Deutschland ausgeführt werden können. Dazu ist die bauaufsichtliche Einführung der genannten drei Norm-Dokumente vorgesehen. Das Ergänzungsdokument ist als DIN SPEC-Dokument nach den Verfahrensregeln einer Vornorm vorbereitet worden und soll in den nächsten Monaten als Entwurf veröffentlicht werden.

3 Die neue Bemessungsnorm DIN 4093:2012-08

DIN 4093:2012-08 " Bemessung von verfestigten Bodenkörpern — hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren" regelt, wie derartige Körper geplant, hinsichtlich ihrer Festigkeit nachgewiesen, geprüft und kontrolliert werden sollen.

Bei der Erarbeitung der Norm standen verschiedene allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für das Düsenstrahlverfahren und das deep mixing-Verfahren (z.B. Mixed In Place) zur Verfügung, deren Regelungen überprüft und zum Teil übernommen wurden. Die Diskussion im Arbeitskreis führte aber auch dazu, dass Ergänzungen und Anpassungen bei den entsprechenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entstanden.

Die Norm setzt das Teilsicherheitskonzept um und die Gliederung folgt der Gliederungsstruktur des EC 7-1 / DIN 1054:2010-12. Dementsprechend gibt es folgende technisch geprägte Abschnitte:

- Allgemeine Anforderungen
- Zuordnung zu Geotechnischen Kategorien
- Einwirkungen und Beanspruchungen
 - Grundbauspezifische Einwirkungen
 - Dynamische Einwirkungen
 - Charakteristische Beanspruchungen
 - Bemessungswerte der Beanspruchung
- Widerstände
 - Charakteristische Festigkeit
 - Angaben zum Verformungsverhalten
 - Bemessungswert der Festigkeit
 - Verankerungen in Düsenstrahlsohlen
 - Abmessungen von verfestigten Bodenkörpern
- Dauerhaftigkeit
- Nachweis der Tragfähigkeit
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit
- Prüfungen und Kontrollen

Im Anhang werden Festigkeitsprüfungen und Kriechversuche behandelt.

Nachfolgend werden einige Regelungen und Besonderheiten vorgestellt und z. T. erläutert.

3.1 Allgemeine Anforderungen für Bodenverfestigungen

4.1 (4) *Wenn ein Verfestigungskörper als Teil einer Gründung oder eines Stützbauwerkes geplant wird, sind die zugehörigen Sicherheitsnachweise nach DIN EN 1997-1, DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054 zu erbringen.*

Hier wird auf die klassischen Regelungen des Grundbaus verwiesen, denn mit Verfestigungskörpern werden ja vielfach Fundamente z. B. als Unterfangungskörper oder Stützbauwerke, z. B. im Rahmen von Baugrubenverbau hergestellt, nur dass dabei anstelle von z. B. Ort beton der Boden als Baustoff unmittelbar mit einbezogen wird.

4.1 (5) *Sofern bei verfestigten Bodenkörpern, die durch Wasserdruck beansprucht sind, bei einem lokalen Verlust der Dichtigkeit die Standsicherheit gefährdet ist, sind zwei voneinander unabhängige Abdichtungsebenen oder eine zusätzliche andere Sicherungsmaßnahme vorzusehen.*

Dieser Absatz hat eine hohe Bedeutung, fordert er doch Redundanz bei Bauweisen, die in den vergangenen Jahrzehnten vielfach zu großen Schäden und Problemen geführt haben, man denke an Baugruben-Sohldichtungen sowie an Ein- und Ausfahrbauwerke für Schildmaschinen.

3.2 Zuordnung zu Geotechnischen Kategorien

4.2 (1) Bodenverfestigungen sind in der Regel der Geotechnischen Kategorie GK 3 nach DIN 1054:2010-12, A.2.1.2 zuzuordnen.

Die Einordnung in die Geotechnische Kategorie GK 2 ist möglich, aber von einschränkenden Voraussetzungen abhängig, welche die Festigkeit, die Geometrie, die Art und Größe der Beanspruchungen, die Bodenverhältnisse und den chemischen Angriff betreffen.

Über die Zuordnung zu hohen geotechnischen Kategorien werden hohe Anforderungen an die Baugrunderkundung, ihre Dokumentation und Auswertung gestellt. Das ist besonders dadurch gerechtfertigt, dass der anstehende Boden zur Bildung des Baustoffes der Verfestigungskörper mit verwendet wird.

3.3 Einwirkungen und Beanspruchungen

4.3.4 (1) Die charakteristischen Werte der Beanspruchungen E_k des Verfestigungskörpers dürfen unter Zugrundelegung linear-elastischen Verhaltens bei Beachtung der nachfolgend und in 4.4 genannten Festigkeitsgrenzen ermittelt werden.

(2) Bei der Berechnung der Normalspannungen dürfen Zugspannungen rechnerisch nicht angesetzt werden. Außermittige Belastungen dürfen rechnerisch eine Rissöffnung (klaffende Fuge) höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts bewirken. Ergibt die Berechnung eine Rissöffnung, so darf die Fläche im Bereich der Rissöffnung bei der Ermittlung der Schubspannungen nicht in Rechnung gestellt werden.

Diese Vorgaben erfordern z. T. anspruchsvolle Berechnungen, da viele Stützbauwerke, die aus Verfestigungskörpern gebildet werden, Biegung und Normalkraft erfahren und der Ausschluss von Biegezug ggfs. nur mit iterativen Berechnungen sichergestellt werden kann.

4.3.5 Die zum Vergleich mit den Widerständen (Festigkeit des Verfestigungskörpers) erforderlichen Bemessungswerte der Beanspruchung (Ankerkräfte, Spannungen) sind nach DIN 1054:2010-12 und DIN EN 1997-1:2009-09, 2.4.7.3.2 zu ermitteln.

Die Regelungen des Teilsicherheitskonzeptes aus EC 7-1 und DIN 1054 gelten uneingeschränkt.

3.4 Widerstände

Die Festigkeit von Bodenverfestigungen ist vom in situ vorhandenen Boden, vom Bindemittel und vom Mischprozess abhängig und lässt sich analytisch nicht hinreichend genau vorherbestimmen. Die Festigkeit ist daher versuchsgestützt zu bestimmen.

In der Regel wird man in der Planung einen Verfestigungskörper als Gründung oder Stützbauwerk vorsehen und Nachweise führen, die einen bestimmten zugrunde gelegten Wert für die Festigkeit voraussetzen. Auf der Baustelle müssen Proben genommen werden, an denen die Festigkeit versuchstechnisch bestimmt wird. Die tatsächliche Festigkeit ergibt sich aus den Versuchen, sie muss auf der sicheren Seite zu der geplanten Festigkeit liegen. Dazu sind folgende Regelungen getroffen.

4.4.1 (4) Sofern bei Prüfungen nach 4.8 die erforderliche Festigkeit nicht erreicht wird, sind Anpassungen der erforderlichen Festigkeit oder Anpassungen bei der Herstellung der Verfestigungskörper vorzunehmen oder Zusatzmaßnahmen festzulegen.

4.4.2 (1) Als Kenngröße für die Festigkeit ist die Zylinderdruckfestigkeit f_m , die für $h/d = 2$ gilt, zu verwenden, aus der aufnehmbare Normal- und Schubspannungen ermittelt werden können.

(2) Die Prüfung der Zylinderdruckfestigkeit ist im Anhang A geregelt.

Hier ist zu beachten, dass die Versuchstechnik Einfluss auf die im Versuch festgestellten Festigkeitsgrößen hat, die Streuungen unterliegen. Daher werden Vorgaben an Probenanzahl, Probenabmessungen, Versuchstechnik etc. gemacht.

(3) Die einem Entwurf zugrunde gelegte charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ ist vor Beginn der Ausführung durch Eignungsprüfungen nachzuweisen und während der Ausführung durch Kontrollprüfungen zu bestätigen. Statt mit Eignungsprüfungen können die Festigkeiten aufgrund von Erfahrungen bei übertragbaren Bodenverhältnissen und Herstellparametern festgelegt werden.

(4) Mittelwert und Mindestwert nach (5) sind aus mindestens 4 Einzelproben zu ermitteln. Die zugehörige Probenahme ist im Anhang A geregelt.

(5) Um nachzuweisen, dass die dem Entwurf zugrunde liegende charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ erreicht ist, sind folgende Kriterien einzuhalten:

— Mindestwert: $f_{m,\min} \geq f_{m,k}$

— bezogen auf den Mittelwert: $f_{m,\text{mittel}} \geq f_{m,k} / \alpha$

$\alpha = 0,6$ bei $f_{m,k} \leq 4 \text{ N/mm}^2$

$\alpha = 0,75$ bei $f_{m,k} = 12 \text{ N/mm}^2$

Zwischenwerte sind geradlinig zu interpolieren;

— Wenn Kriechversuche nach (7) und (8) erforderlich sind, ist $f_{m,k}$ auch nach Anhang B nachzuweisen.

Die geplante Festigkeit muss damit auch von der schlechtesten Probe einer Serie erreicht werden und der Mittelwert muss ein Vorhaltemaß dazu aufweisen.

(6) Es dürfen nur charakteristische Zylinderdruckfestigkeiten

— beim Düsenstrahl- und Injektionsverfahren $f_{m,k} \leq 10 \text{ N/mm}^2$

— beim Deep-Mixing-Verfahren $f_{m,k} \leq 12 \text{ N/mm}^2$

angesetzt werden.

Das Einmischen von Bindemittel in den Boden beim Deep-Mixing-Verfahren kann vollständiger und sicherer gestaltet werden als beim Düsenstrahlverfahren; daher haben schon traditionell die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen beim deep-mixing-Verfahren etwas höhere Festigkeiten ermöglicht. Die Begrenzung der Festigkeiten dient der Robustheit der Verfestigungskörper.

(7) Bei der Anwendung des Düsenstrahlverfahrens oder des Deep-Mixing-Verfahrens in bindigen Böden (Definition nach DIN 1054:2010-12, A.3.1.3) sind bei Zylinderdruckfestigkeiten von $f_{m,\text{mittel}} < 4 \text{ N/mm}^2$ Kriechversuche erforderlich.

Wenn in bindige Böden intensiv viel Zementsuspension eingemischt wird, wird die Festigkeit größer und der Einfluss verbliebener bindiger Böden, die ein Kriechen bewirken könnten, geht zurück.

(8) Beim Einsatz von Silikatgel als Injektionsmittel sind stets Kriechversuche erforderlich.

4.4.4 (1) Aus der charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit $f_{m,k}$ wird der Bemessungswert der Druckfestigkeit $f_{m,d}$ wie folgt abgeleitet.

$$f_{m,d} = 0,85 \cdot f_{m,k} / \gamma_m$$

mit

$f_{m,k}$ charakteristische Zylinderdruckfestigkeit, siehe 4.4.2.

γ_m Teilsicherheitsbeiwert für die Zylinderdruckfestigkeit des Verfestigungskörpers

- $\gamma_m = 1,5$ für Bemessungssituationen BS-P und BS-T nach DIN 1054:2010-12
- $\gamma_m = 1,3$ für Bemessungssituation BS-A nach DIN 1054:2010-12.

Hier sind Teilsicherheitsbeiwerte festgelegt, eine Tatsache, die unterstreicht, dass die Regelungen im EC 7-1 und DIN 1054, wo die Sicherheit im Grundbau geregelt wird, untergebracht werden sollten. Der entsprechende Prozess dazu ist angestoßen.

(2) Bei der Bemessung einer Bodenverfestigung dürfen näherungsweise getrennte Nachweise für aufnehmbare Druck- und Schubspannungen geführt werden. Dann ist unter Bemessungsbeanspruchungen nachzuweisen, dass die Bemessungswerte der Normalspannungen den Wert $0,7 \cdot f_{m,d}$ und die Bemessungswerte der Schubspannungen den Wert $0,2 \cdot f_{m,d}$ nicht überschreiten, siehe Bild 1.

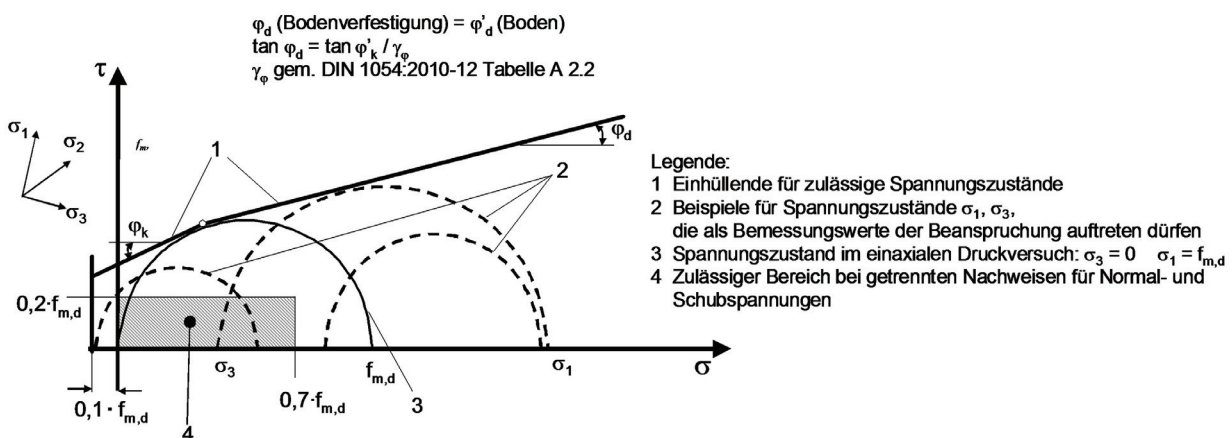


Bild 1: Erläuterung von Spannungszuständen

(3) Bei differenzierten Nachweisen mit Hauptspannungen ist zu zeigen, dass die Bemessungswerte der Beanspruchung die in Bild 1 als zulässig definierten Spannungszustände nicht überschreiten. Dabei ist anzunehmen, dass bei einer Hauptzugspannung, deren Betrag größer ist als 10 % von $f_{m,d}$, der Körper aufreißen kann.

Die Umsetzung der Begrenztheit der Festigkeit in rechnerische Nachweise ist anspruchsvoll. Bei Anwendung der Finite-Element-Methode muss ein Stoffmodell zur Anwendung gebracht werden, welches eine Plastifizierung modelliert, sobald die im Bild dargestellten Spannungsgrenzen erreicht werden. Eine erste Herausforderung ist der Knick zwischen den zwei Geraden mit den Steigungen φ_k und φ_d . Weiterhin ist die Grenzbedingung für Bemessungswerte der Beanspruchungen und der Festigkeit formuliert. Klassische FE-Berechnungen, die gleichzeitig realistische Verformungen ermitteln sollen, enthalten jedoch in der Regel nur charakteristische Werte der auftretenden Spannungen.

3.5 Verankerungen in Düsenstrahlsohlen

Die Norm regelt auch den versuchsgestützten Nachweis von Verankerungen mit Haftverbund zwischen Mikropfählen nach DIN EN 14199 und Düsenstrahlsohlen.

4.4.5 (2) Der einem Entwurf zugrunde liegende charakteristische Wert des Widerstands $R_{z,k}$ hinsichtlich des Verbunds von Druck- und Zuggliedern in Düsenstrahlsohlen ist durch Eignungsversuche an mindestens 3 % der vorgesehenen Anzahl der Pfähle, mindestens aber an 2 Pfählen zu ermitteln.

(3) Bei diesen Eignungsversuchen ist der charakteristische Wert des Widerstands $R_{z,k}$ hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern in Verfestigungskörpern nach DIN EN 1997-1:2009-09, 8.5.2 zu ermitteln. Der Herauszieh Widerstand $R_{z,i}$ ist die kleinste Prüfkraft, bei der eine Verformung s des Stahlgliedes und des Verfestigungskörpers in der Verankerungslänge l_v von maximal $s = 5 \cdot 10^{-3} \cdot l_v$ erreicht wird. (Streuungsfaktor 1,0).

(4) Der Bemessungswert des Widerstands $R_{z,d}$ hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern beträgt:

$$R_{z,d} = R_{z,k} / \gamma_a$$

mit

$R_{z,k}$ = charakteristischer Wert hinsichtlich des Verbunds von Druck- oder Zuggliedern. Dieser ergibt sich aus dem Kleinstwert der Versuchsergebnisse $R_{z,i}$

$$\gamma_a = 1,4$$

Den Regelungen liegen Erfahrungen aus rückverankerten Baugrubensohlen zugrunde, die von Mitgliedern des Arbeitskreises zusammengetragen worden waren.

3.6 Abmessungen von verfestigten Bodenkörpern

Der Widerstand eines Verfestigungskörpers ergibt sich außer aus der Festigkeit des Materials aus seinen Abmessungen, die vor allem bei Injektionskörpern und bei im Düsenstrahlverfahren hergestellten Körpern einer unmittelbaren Kontrolle nicht zugänglich sind. Daher macht die Norm Vorgaben zum Ansatz geometrischer Größen. Allgemein ist zu beachten, dass bei Verfestigungskörpern verfahrensbedingte Herstellungstoleranzen (z. B. Bohrabweichungen und Reichweitenunterschiede) auftreten, die berücksichtigt werden müssen. Dazu wird in der Norm eine Dokumentationspflicht verankert, damit Planabweichungen erkannt und aus ihnen Folgerungen gezogen werden können. Weiterhin sind Mindestabmessungen: 40 cm Dicke im System, 60 cm bei Einzelkörpern einzuhalten. Verfahrensspezifisch sind weitere Regelungen getroffen.

Beim Düsenstrahlverfahren sind Probeelemente erforderlich und Vorhaltemaße bei der Reichweite mit 5 %, jedoch mindestens 5 cm gegenüber dem bei Probeelementen nachgewiesenen Maß zu berücksichtigen. Bei einzeln angeordneten Düsenstrahlelementen muss die kleinste charakteristische Außenabmessung mindestens 1 m betragen und das Vorhaltemaß ist auf 10 % der Reichweite zu erhöhen.

4.4.6.3 (1) Der bei einer Bemessung ansetzbare Querschnitt von Elementen, die im Deep-Mixing-Verfahren hergestellt werden, ergibt sich aus den Außenabmessungen der verwendeten Mischwerkzeuge. Bei nebeneinander angeordneten, um eine senkrechte Achse rotierenden Mischwerkzeugen ist von einer geringeren Abmessung im Zwickelbereich von 20 % des Mischwerkzeugdurchmessers auszugehen. Durch wiederholtes Überschneiden der Zwickelbereiche können die Einschnürungen verringert werden. Minimal sind 10 % zu berücksichtigen.

4.6 (4) Sobald ein Verfestigungskörper — selbst nur einseitig — freigelegt wird, muss er bei Verzicht auf einen Knicksicherheitsnachweis eine Schlankheit $\lambda \leq 15$ aufweisen.

3.7 Nachweis der Tragfähigkeit

4.6 (1) Es ist der Nachweis zu erbringen, dass die Bemessungswerte der Einwirkungen bzw. der Beanspruchungen nach 4.3 nicht größer sind als die zugehörigen Bemessungswerte der Widerstände nach 4.4 und damit die folgende Grenzzustandsbedingung erfüllen:

$$E_d \leq R_d$$

Dieser Nachweis der inneren Tragfähigkeit entspricht damit den mittlerweile gewohnten Grenzzustandsnachweisen des Teilsicherheitskonzeptes. Er wird hier auf kritische Punkte innerhalb des Verfestigungskörpers bezogen, nicht auf den Gesamtkörper. Bei Nachweisen mit der Methode der Finiten Elemente

kann es zweckmäßig sein, die Einwirkungsseite nur mit charakteristischen Einwirkungen zu erfassen und auf der Widerstandsseite eine zusätzliche Abminderung vorzunehmen, damit Stoffmodelle, die eine Plastifizierung berücksichtigen können, zutreffend angewendet werden können.

3.8 Prüfungen und Kontrollen

4.8 (1) Für die Herstellung von Verfestigungskörpern sind Eignungsprüfungen durchzuführen um nachzuweisen, dass die geplanten Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit, Durchlässigkeit) und die Abmessungen in der Örtlichkeit erreicht werden können.

ANMERKUNG Im Regelfall sollen Eignungsprüfungen vor der Baumaßnahme durchgeführt werden. Werden Eignungsprüfungen ausnahmsweise erst zu Beginn einer Baumaßnahme durchgeführt, muss nachgewiesen sein, dass bei Nichterreichen der geplanten Festigkeit oder Abmessungen geeignete Zusatzmaßnahmen durchgeführt werden können.

(2) Liegen Eignungsprüfungen bei gleichartigen Baugrundverhältnissen, bei Verwendung gleicher Ausgangsstoffe und Anwendung gleicher Einbringverfahren und gleicher Verfahrensparameter vor, kann auf eine erneute Eignungsprüfung verzichtet werden.

(3) Vor der Inanspruchnahme von Verfestigungskörpern sind Kontrollprüfungen durchzuführen, um das Erreichen der festgelegten Anforderungen nachzuweisen.

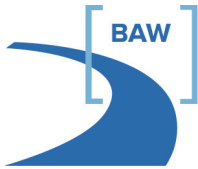
4 Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 12715:2000-10, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Injektionen

Die europäische Ausführungsnorm erfordert aus Sicht der deutschen Bauaufsicht einige Ergänzungen, damit eine bauaufsichtliche Einführung in allen Bundesländern möglich ist. Dazu wurde eine DIN-SPEC vorbereitet, die aktuell die Gremien des DIN durchläuft, damit sie als Entwurf veröffentlicht werden kann. Gegebenenfalls nach der Behandlung von Einsprüchen kann sie dann als DIN SPEC veröffentlicht werden und nach der Veröffentlichung können DIN EN 12715:2000-10, DIN 4093-2012-08 und diese DIN SPEC gemeinsam bauaufsichtlich eingeführt werden. Eventuell werden vom Beuth Verlag die 3 Dokumente, die sinnvoll nur gemeinsam zur Anwendung gebracht werden, in einem gemeinsamen Handbuch veröffentlicht.

Inhaltlich sind in den ergänzenden Festlegungen zusätzliche Aussagen zu den Baugrunduntersuchungen, den Baustoffen, zu Bauprodukten und zu Prüfungen enthalten. Außerdem werden alle Bezüge innerhalb der Normen auf die gültigen Fassungen bezogen und erforderliche Querverweise geschaffen, nicht zuletzt auf DIN 4093. Auch Verweise auf Regelungen bezüglich des Umweltschutzes sind zusätzlich formuliert.

5 Literatur

- DIN 1054:2012-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regeln zu DIN 1997-1
- DIN EN 1536:2010-12, Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Bohrpfähle; Deutsche Fassung EN 1536:2010
- DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: allgemeine Regeln
- DIN EN 1997-1/NA:2012-12: Nationaler Anhang
- DIN EN 1997-2:2010-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
- DIN EN 1997-2/NA:2012-12: Nationaler Anhang
- DIN 4020:2012-12: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regeln zu DIN 1997-2
- DIN 4093:1987-09 "Einpressen in den Untergrund"
- DIN 4093:2012-08 " Bemessung von verfestigten Bodenkörpern — hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren"



- DIN SPEC 18140:2012-02: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1536:2010-12, Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle
- DIN SPEC 18539:2012-02: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 14199:2012-01, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)
- Handbuch Eurocode 7 Geotechnische Bemessung Band 1: Allgemeine Regeln; Normenhandbuch EUROCODES; vom DIN autorisierte konsolidierte Fassung, Beuth Verlag Berlin, 2011
- Handbuch Eurocode 7 Geotechnische Bemessung Band 2: Erkundung und Untersuchung; Normenhandbuch EUROCODES; vom DIN autorisierte konsolidierte Fassung, Beuth Verlag Berlin, 2011
- SCHULZE, B. (2002):: Merkblatt für Einpressarbeiten mit Feinstbindemitteln in Lockergestein, Teil 1, Ernst & Sohn, Berlin
- SCHUPPENER, B. (Herausgeber) (2011): Kommentar zum Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung – Allgemeine Regeln, Verlag Ernst und Sohn, Berlin

