

Belastbarkeit von eingeführten Volumen-Prozent- beziehungsweise Massen-Prozent-Grenzen bei Bodenmaterial

FA 5.183

Forschungsstelle: Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Lehrstuhl und Prüfstelle für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau (Prof. Dr.-Ing. D. Heyer)

Bearbeiter: Birle, E. / Henzinger, C. / Barka, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Oktober 2015

1 Einleitung

In den "Technischen Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus" (TL BuB E-StB) wird zwischen Böden, Böden mit Fremdbestandteilen und rezyklierten Baustoffen unterschieden. Als Fremdbestandteile werden Stoffe mineralischen Ursprungs bezeichnet, die nach TL BuB E-StB allerdings keine Bodenbestandteile sind. Fremdbestandteile umfassen danach hydraulisch oder bituminös gebundene mineralische Stoffe oder Produktionsrückstände, zum Beispiel aus Bauprozessen oder thermischen Prozessen.

Ab einem Anteil von mehr als 10 Vol.-% Fremdbestandteilen handelt es sich nach TL BuB E-StB 09 um Böden mit Fremdbestandteilen und nicht mehr um Böden. Die 10 Vol.-%-Grenze wurde aus bisher bestehenden Regelwerken übernommen und ist beispielsweise in den Regelungen der LAGA oder in verschiedenen bundeslandspezifischen Regelungen genannt. Sie gilt als Erkennbarkeitsgrenze von Fremdbestandteilen in Böden. Gemäß den TL BuB E-StB 09 wird ab diesem Anteil (10 Vol.-% Fremdbestandteile) bis 50 M.-% Fremdbestandteile im Boden dieser als Boden mit Fremdbestandteilen bezeichnet. Ab 50 M.-% Fremdbestandteilen im Boden handelt es sich nach TL BuB E-StB 09 dann um rezyklierte Baustoffe. Mit Bedacht ist damit der Begriff "Bauschutt", insbesondere "unaufbereiteter Bauschutt", entfallen. Mit den ZTV E-StB 09 und der zugehörigen TL BuB E-StB 09 stellt Bauschutt zumindest im erdbautechnischen Regelwerk des Straßenbaus damit keinen Baustoff dar.

Die Einordnung von Baustoffen in die Kategorien Boden, Boden mit Fremdbestandteilen oder rezyklierte Baustoffe ist ausschlaggebend für die an sie gestellten umweltrelevanten Anforderungen und die Verwendungsmöglichkeiten. Insbesondere hinsichtlich der Unterscheidung zwischen Böden und Böden mit Fremdbestandteilen auf Grundlage der sogenannten Erkennbarkeitsgrenze von mineralischen Fremdbestandteilen bestehen Unsicherheiten, ob die in den TL BuB E-StB 09 und den Regelungen der LAGA genannte Grenze von 10 Vol.-% zutreffend ist. In ähnlicher Weise ist nicht wirklich geklärt, ob die Grenze von 50 M.-% an Fremdbestandteilen zur Unterscheidung zwischen Böden mit Fremdbestandteilen und rezyklierten Baustoffen sinnvoll ist, oder ob diese Grenze aufgrund der bautechnischen Eigenschaften derartiger Gemische eventuell bei anderen Anteilen von Fremdbestandteilen zu ziehen wäre.

Im Rahmen der Untersuchungen sollte ermittelt werden, ab welchem Anteil an Fremdbestandteilen im Boden diese erkennbar sind und ob die versuchstechnisch ermittelten Anteile bei Erkennung mit der in den Regelwerken angegebenen Grenze von 10 Vol.-% zusammenfallen. In weiteren Versuchsreihen sollte überprüft werden, ob bautechnische Eigenschaften gegen die in der TL BuB E-StB festgelegte Grenze von 50 M.-% zur Unterscheidung zwischen Boden mit Fremdbestandteilen und rezyklierten Baustoffen sprechen. Die Untersuchungen von Baumgärtel et al. (2009) reichen im Umfang zur vollständigen Beantwortung dieser Frage nicht aus. Es wurden dort RC-Materialien sowie Gemische aus RC-Materialien mit Böden (Mischungsverhältnis 50 % Boden/50 % RC und an ausgewählten Mischungen 75 % Boden/25 % RC) untersucht.

Im Rahmen des Projekts sollte ebenfalls geklärt werden, ob im Kontext der oben beschriebenen Regelungen und Grenzen derzeit ein rechtssicherer Umgang mit Gemischen aus Böden und rezyklierten Baustoffen möglich ist. Gegebenenfalls sollten Vorschläge unterbreitet werden, durch welche Maßnahmen rechtssichere Rahmenbedingungen geschaffen werden könnten.

2 Untersuchungsmethodik

Zur Untersuchung der Erkennbarkeit von Fremdbestandteilen im Gemisch wurden verschiedene natürliche Böden mit je zwei mineralischen Fremdbestandteilen (FB) gemischt und die visuelle Erkennbarkeit des Fremdbestandteils überprüft. Die Mischungen wurden um die Erkennbarkeitsgrenze (nach derzeitigen Regelwerken 10 Vol.-%) herum, zwischen 0 und 30 Vol.-%, hergestellt.

Die Recyclingmaterialien wurden vorab auf ihre stoffliche Zusammensetzung untersucht. Dadurch wurde gewährleistet, dass die Zusammensetzung aller Mischungen ausreichend bekannt war. Die visuelle Beurteilung der Erkennbarkeit der FB in den Gemischen erfolgte in drei Durchgängen: 1.) Begutachtung der trockenen Gemische aus der Distanz; 2.) organoleptische Begutachtung der trockenen Gemische und 3.) organoleptische Begutachtung der feuchten Gemische. Je Durchgang nahmen etwa 20 Personen an der Begutachtung teil. Bei diesen handelte es sich um technische Mitarbeiter aus dem bodenmechanischen Labor und um wissenschaftliche Mitarbeiter des Zentrums Geotechnik (Bauingenieure und Geologen).

Zur Untersuchung der erdbautechnischen Eigenschaften wurden an anderen Gemischen aus denselben Ausgangsmaterialien Proctorversuche zur Beurteilung der Verdichtungseigenschaften, CBR-Versuche zur Beurteilung der Tragfähigkeitsentwicklung sowie Bestimmungen der Korngrößenverteilungen und der stofflichen Zusammensetzung zur Charakterisierung der Materialien durchgeführt. Die Mischungen wurden um die Grenze zwischen Böden mit Fremdbestandteilen und rezyklierten Baustoffen (50 M.-% nach TL BuB E-StB) herum hergestellt.

3 Versuchsmaterialien

Als Ausgangsmaterialien für die herzustellenden Gemische wurden drei unterschiedliche Böden und zwei Fremdbestandteile (RC-Baustoffe) ausgewählt.

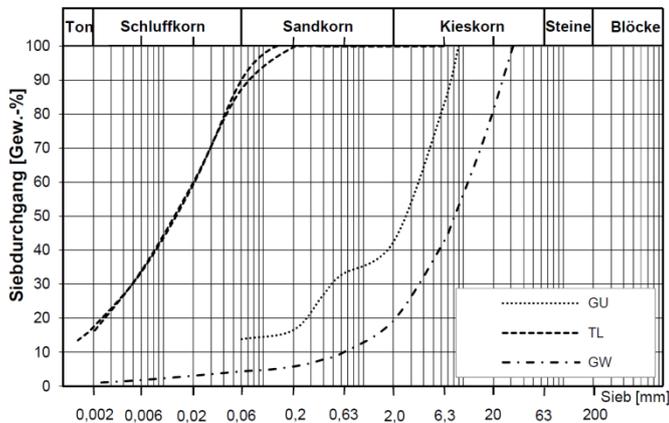


Bild 1: Böden als Ausgangsmaterial

Die Kornverteilungen der Böden sind in Bild 1 dargestellt. Der TL und der GW (die verwendeten Namen entsprechen den zugehörigen Bodengruppen nach DIN 18196:2011) stammen aus einer Kiesgrube nahe München. Während der Boden GW normalerweise als Frostschutzkies mit der Körnung 0/32 mm Verwendung findet, fällt der leicht plastische Ton bei der Kieswäsche zur Herstellung eben dieses Kieses an. Der Wassergehalt an der Ausrollgrenze des TL beträgt $w_p = 14,5\%$, der an der Fließgrenze $w_L = 26,4\%$. Für die Laboruntersuchungen wurde der Überkornanteil $> 32\text{ mm}$ des GW durch Absiebung entfernt. Der Boden GU (Bodengruppe GU an der Grenze zu GU* nach DIN 18196:2011) besteht aus einer Mischung aus quartären Kiesen mit Feinkorn und wurde unter anderem als Erdbaustoff am Münchner Flughafen verwendet. Der Wassergehalt des Anteils $< 0,4\text{ mm}$ an der Ausrollgrenze beträgt $w_p = 18,8\%$, der an der Fließgrenze $w_L = 26,6\%$.

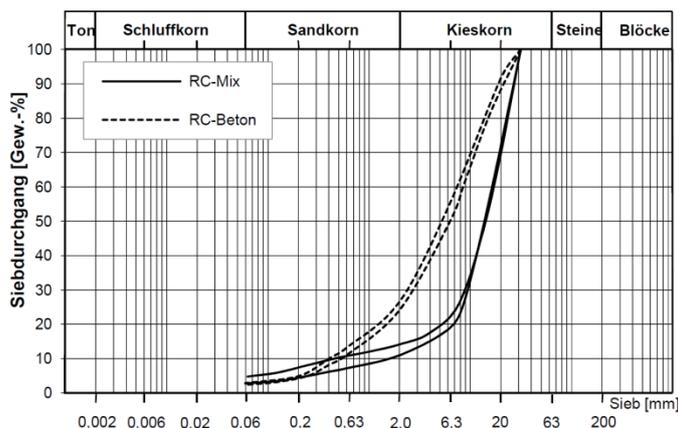


Bild 2: RC-Material als Ausgangsmaterial

Die Recyclingmaterialien wurden von einem Recyclingunternehmen aus dem Großraum München bezogen. Beim RC-Beton lag die Körnung 0/32 mm als Lieferkörnung vor, der RC-Mix wurde mit der Körnung 0/56 mm geliefert und für die Untersuchungen im Labor vorab auf ein Größtkorn von 32 mm abge-

siebt. Die Sieblinien der RC-Materialien sind in Bild 2 zusammengefasst und in Bild 3 fotografisch dargestellt.



Bild 3: RC-Beton und RC-Mix; jeweils 0/32 mm

Die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung erfolgte gemäß TP Gestein-StB, Teil 3.1.5 (Stoffliche Kennzeichnung von groben rezyklierten Gesteinskörnungen, Ausgabe 2012, unter Zuhilfenahme des Bestimmungsleitfadens zur Unterstützung der stofflichen Kennzeichnung von RC-Baustoffen) und ist Grundlage für die nachfolgend jeweils angegebenen Zusammensetzungen der Gemische.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Stoffliche Kennzeichnung von Erdbaustoffen

Die Bestimmung der stofflichen Kennzeichnung nach TP-Gestein-StB, Teil 3.1.5, ist ein Prüfverfahren, das für grobe rezyklierte Gesteinskörnungen im Straßenbau entwickelt wurde. Abhängig von der maximalen Korngröße werden Mindestprobenmengen vorgegeben. Die Proben werden allgemein nach Abtrennung der Körner $< 4\text{ mm}$ und $> 63\text{ mm}$ jeweils an den Fraktionen 4/8 mm, 8/16 mm und 16/D mm ($D \leq 63\text{ mm}$) augenscheinlich (vorzugsweise mit Lupe) untersucht und in folgende Stoffgruppen aufgeteilt:

- Beton, Betonprodukte, Mauersteine aus Beton, zementgebundene Gesteinskörnung,
- natürliche und industriell hergestellte Gesteinskörnung,
- Klinker, Ziegel und Steinzeug,
- Kalksandstein, Mörtel und ähnliche Stoffe,
- mineralische Leicht- und Dämmbaustoffe, nicht schwimmender Porenbeton und Bims,
- Asphaltgranulat,
- Glas,
- nicht schwimmende Fremdstoffe, wie Gummi, Kunststoffe, Textilien, Pappe und Papier,
- gipshaltige Baustoffe,
- eisen- und nichteisenhaltige Metalle.

Die Durchführung der Untersuchung gemäß TP Gestein-StB, Teil 3.1.5, ermöglicht die Angabe der prozentualen Zusammensetzung in den untersuchten Kornklassen. Die stoffliche Zusammensetzung der Körnung $< 4\text{ mm}$ kann mit diesem Verfahren nicht bestimmt werden. Gemäß TL BuB E-StB 09 ist aber bei der Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung nach

TP Gestein-StB, Teil 3.1.5, zumindest der Anteil < 4 mm für das untersuchte Material anzugeben.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen verdeutlichen das hohe Fehlerpotenzial bei der Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung (nach TP Gestein-StB, Teil 3.1.5) von Gemischen mit hohen Anteilen an Material < 4 mm. Dies ist stellvertretend für Mischungen des feinkörnigen Bodens TL mit dem RC-Mix 0/32 mm (in Bild 4 dargestellt). Darin ist rechnerisch die tatsächliche Zusammensetzung eines Gemisches gegenübergestellt jener Zusammensetzung, die durch Auszählung am Anteil > 4 mm versuchstechnisch ermittelt werden kann. Der Anteil der natürlichen Gesteinskörnung des zur Mischung verwendeten RC-Materials kann mit etwa 21 % angegeben werden und stammt aus dem Zuschlagsmaterial des Anteils an gebrochenem Beton dieses aufbereiteten Bauschutts.

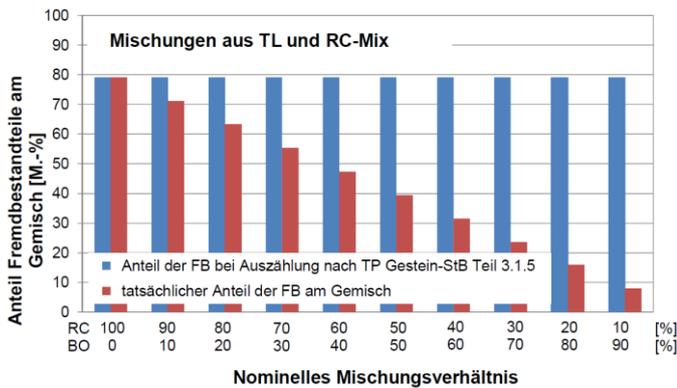


Bild 4: Unterschied zwischen tatsächlicher und versuchstechnisch ermittelbarer Zusammensetzung von Gemischen aus Boden TL und RC-Mix

Der feinkörnige Boden TL weist selbst keine Kornanteile > 4 mm auf und wird somit unabhängig von seinem tatsächlichen Anteil an der Gesamtmischung bei der Auszählung nicht berücksichtigt. Je größer der Anteil < 4 mm im Gemisch, desto größer ist also der potenzielle Fehler.

4.2 Erkennbarkeit von Fremdbestandteilen im Gemisch

Aus den eigenen Untersuchungen geht hervor, dass die bekannte "Erkennbarkeitsgrenze" nicht mit der Grenze zur Erkennbarkeit eines Fremdbestandteils im Gemisch zusammenfällt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Erkennbarkeit teilweise bei sehr viel geringeren Anteilen an Fremdbestandteilen im Gemisch gegeben ist. Beispielphaft wird dies in Bild 5 für die Mischung aus Boden GU und RC-Mix dargestellt. Je nach Art des Gemisches kann die Grenze aber variieren.

Während die Zuordenbarkeit der Erkennbarkeitsgrenze zu einem festen Wert des Fremdbestandteils im Gemisch von 10 Vol.-% in den Versuchen nicht bestätigt werden konnte, kann gleichzeitig aus den Versuchen geschlossen werden, dass der volumetrische Anteil an Fremdstoffen im Gemisch bei seiner Erkennung tendenziell unter 10 Vol.-% liegt. Es liegt daher die Überlegung nahe, dass es sich per Definition bei dieser als "Erkennbarkeitsgrenze" bekannten Grenze nicht um die Erkennbarkeitsgrenze im eigentlichen Sinn handelt. Es handelt sich wahrscheinlich wohl vielmehr um eine Definition, die aus

der Beschränkung der Fremdbestandteile im Gemisch stammt: Solange kein Fremdbestandteil erkannt werden kann, darf davon ausgegangen werden, dass der mögliche Anteil an Fremdbestandteilen am Gemisch kleiner als 10 Vol.-% ist. Solch eine Definition der Erkennbarkeitsgrenze kann durch die eigenen Versuche bestätigt werden und ist im Sinne der schnellen Beurteilung eines Gemisches durchaus hilfreich.

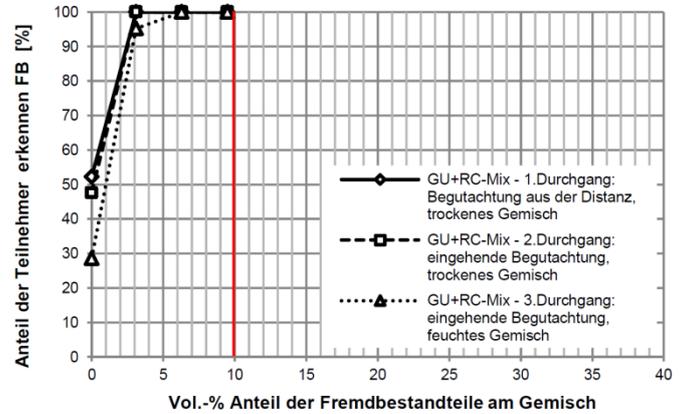


Bild 5: Erkennbarkeit des RC-Mix im Boden GU

Es ergibt sich die in Bild 6 vereinfachend dargestellte Situation, dass zwischen der tatsächlichen Erkennbarkeitsgrenze und der Grenze zwischen Boden und Boden mit Fremdbestandteilen (BmF) gemäß TL BuB E-StB beziehungsweise Bauschutt gemäß LAGA M20 ein Bereich besteht, in dem der Fremdbestandteil zwar sichtbar ist, aber das Gemisch in Übereinstimmung mit der 10 Vol.-%-Regel noch als Boden angesprochen werden kann. Da derzeit keine Möglichkeit zur eindeutigen Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung solcher Materialien besteht (unter Einbezug der Kornfraktion < 4 mm), ist die Einordnung eines Materials anhand dieser 10 Vol.-%-Grenze deutlich erschwert.

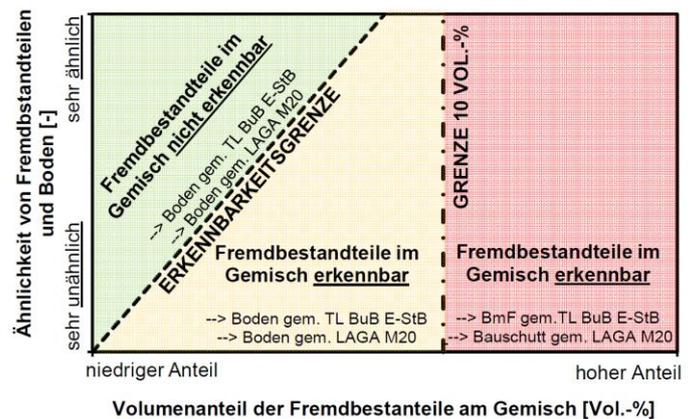


Bild 6: Qualitativ vergleichende Darstellung zur tatsächlichen Erkennbarkeitsgrenze von Fremdbestandteilen im Gemisch und der 10 Vol.-%-Grenze

4.3 Bautechnische Eigenschaften von Gemischen aus Fremdbestandteilen und Boden

Die Versuche an den Gemischen aus natürlichen Böden und RC-Materialien zeigen, dass das Verdichtungsverhalten vom Anteil an RC-Körnern im Gemenge beeinflusst wird, die Über-

gänge in der Regel aber fließend sind. Eine Auswahl an Ergebnissen ist in Bild 7, Bild 8 und Bild 9 für die Mischungen der drei Versuchsböden mit RC-Beton in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen enthalten.

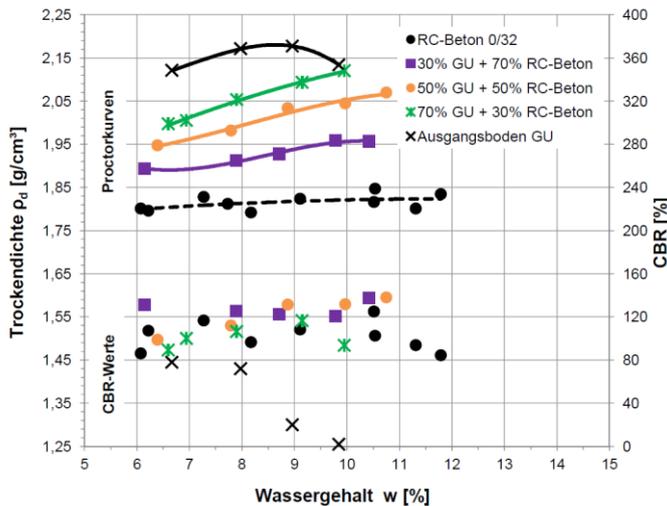


Bild 7: Proctorkurven und CBR-Werte für die Mischungen aus GU und RC-Beton 0/32

Die in den Versuchen dokumentierte Beeinflussung durch unterschiedliche Anteile an RC-Körnungen ist in Bezug auf die Verdichtbarkeit allgemein als "nicht nachteilig" (neutral bis positiv) zu beurteilen.

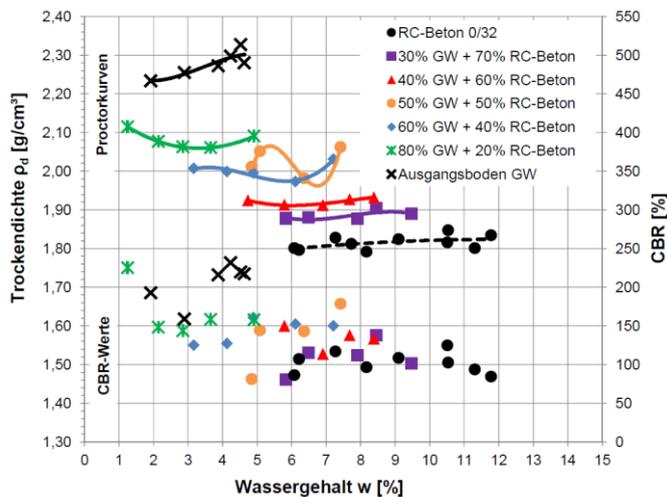


Bild 8: Proctorkurven und CBR-Werte für die Mischungen aus GW und RC-Beton 0/32

Die bei höheren Anteilen an porösen, gebrochenen RC-Körnern abnehmende erreichbare Trockendichte bei grob- und gemischtkörnigen Gemischen führt zu tendenziell abnehmenden Tragfähigkeiten; die einzelnen Werte bleiben aber auf sehr hohem Niveau (vgl. Bild 7 und Bild 8).

Mit den Gemischen aus feinkörnigem Boden und grobem RC-Baustoff wurde gezeigt, dass das Verdichtungs- und Tragverhalten sich sehr ähnlich dem von natürlichen gemischtkörnigen Erdbaustoffen darstellt (vgl. Bild 9). Die in Bild 9 dargestellten Werte für den Ausgangsboden TL ohne Fremdbestandteile repräsentieren Werte der Ausgleichskurve einer großen Anzahl

von Versuchen. Diese Art der Darstellung wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit gewählt.

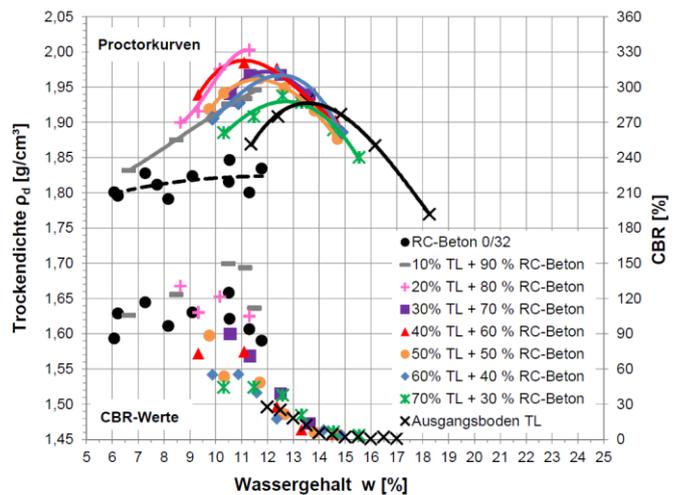


Bild 9: Proctorkurven und CBR-Werte für die Mischungen aus TL und RC-Beton 0/32

Die auf die Verdichtungseigenschaften bezugnehmende Einteilung von Erdbaustoffen in fein-, gemischt- und grobkörnig bleibt aus derzeitiger Sicht also auch für Böden mit Fremdbestandteilen und RC-Baustoffe gültig. Gleiches gilt für die bautechnische Klassifikation von Böden für bautechnische Zwecke in Boden- gruppen nach DIN 18196. Die Notwendigkeit einer allgemeingültigen scharfen Grenze zwischen Böden mit Fremdbestandteilen und RC-Baustoffen kann aus dem beobachteten bautechnischen Verhalten nicht abgeleitet werden.

5 Folgerungen

5.1 Aus bauvertraglicher Sicht

Der rechtssichere Umgang mit Gemischen aus Boden und rezyklierten Baustoffen steht und fällt mit ihrer Zuordnung zu den Kategorien der unterschiedlichen Regelwerke. Hierzu ist die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung von entscheidender Bedeutung. Das Verfahren zur Bestimmung der stofflichen Kennzeichnung nach TP Gestein-StB, Teil 3.1.5, weist aber neben möglichen Ungenauigkeiten bei der Zuordnung ähnlicher oder schwer (genau) abgrenzbarer Stoffgruppen auch einen "weißen Fleck" im Bereich des Anteils < 4 mm auf. Die stoffliche Zusammensetzung dieses Anteils ist aus derzeitiger Sicht auch nicht mit einem indirekten Verfahren bestimmbar. Die stoffliche Zusammensetzung kann daher nicht genau, sondern nur in gewissen Grenzen tatsächlich ermittelt werden. Dabei gilt: Je höher der Anteil an Material < 4 mm ist, desto größer wird der mögliche Fehler bei der Einschätzung der stofflichen Zusammensetzung. Dies hat zur Folge, dass die Zuordnung in die Kategorien nach LAGA M20 (Boden, Bauschutt), TL BuB E-StB (Boden, Boden mit Fremdbestandteilen, Rezyklierter Baustoff) und Ersatzbaustoff-Verordnung (Bodenmaterial, Recycling-Baustoff) nicht eindeutig erfolgen kann. In weiterer Folge ist der von den jeweiligen Kategorien abhängige, erforderliche Prüfumfang sowie die Klassierung und die Zuordnung zu einer Verwertungsmöglichkeit gemäß den Regelwerken nicht zweifelsfrei feststellbar.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen ermöglichen aber, wie bereits beschrieben, die folgende Feststellung: Solange keine Fremdbestandteile erkannt werden, darf davon ausgegangen werden, dass der mögliche Anteil an Fremdbestandteilen am Gemisch kleiner als 10 Vol.-% ist. Die Zuordnung eines solchen Materials zur Kategorie Boden ist somit gerechtfertigt.

Es gibt also tatsächlich nur zwei augenscheinlich unterscheidbare Kategorien: Boden (ohne sichtbare Anteile an Fremdbestandteilen) und Gemische aus Boden und rezyklierten Baustoffen (in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen). Ist die Zuordnung eines reinen rezyklierten Materials durch Kenntnis der Herkunft eindeutig bekannt, so kann dem eine weitere Kategorie hinzugefügt werden: Rezykliertes Material. Es ergibt sich also folgender Vorschlag für in der Praxis anwendbare Kategorien und Zuordnungskriterien:



Bild 10: Vorschlag zu Kategorien und Kriterien zur Zuordnung

5.2 Aus bautechnischer Sicht

Die Ergebnisse aus den Versuchen zur 50 M.-%-Grenze (siehe Pkt. 4.3) zeigen deutlich, dass der Übergang im bautechnischen Verhalten fließend ist und das Verhalten des RC-Materials (also der Fremdbestandteile im Gemisch) qualitativ jenem natürlicher Erdbaumaterialien ähnelt. Eine scharfe Grenze kann aus bautechnischer Sicht also nicht bestätigt werden. Gleichzeitig gibt es aus eben diesem Grund auch keine Argumente gegen die ideelle Grenze bei 50 M.-%.

Auf die strenge Auslegung der Grenze aus bautechnischer Sicht sollte verzichtet werden, das Verhalten der Materialien ähnelt einander sehr. Unabhängig davon, mit welchem Mischungsverhältnis zwischen Boden und rezyklierter Körnung ein Material vorliegt (also unabhängig von der Kategorie des Materials), werden die bautechnischen Eigenschaften ausreichend genau durch die Gruppen der DIN 18196 beschrieben. Eine zusätzliche Einteilung in Kategorien ist aus bautechnischer Sicht nicht erforderlich.

5.3 Aus wasserwirtschaftlicher Sicht

Da die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung eines zu untersuchenden Materials derzeit nicht eindeutig möglich ist, kann die Zuordnung zu den Kategorien der Regelwerke nicht zweifelsfrei erfolgen. Aus der fehlenden Eindeutigkeit bei der Zuordnung zu den Kategorien der Regelungen resultiert die Möglichkeit, dass ein Material nach falschen Parametern untersucht und demzufolge in falsche Klassen eingeteilt und so einer nicht vorgesehenen Verwendung zugeführt wird.

Die unter Pkt. 5.1 beschriebene Einteilung (Boden, Rezyklierte Baustoffe und Gemische) mit den dazu angegebenen Zuordnungskriterien ermöglicht eine eindeutige Zuordnung eines Materials. Dementsprechend ergeben sich die zu prüfenden Parameter für die Kategorien BO und RC aus den Vorgaben der jeweiligen Regelwerke für die reinen Materialien. Fällt ein Gemisch aus BO und RC an, sind also Boden und RC-Baustoffe tatsächlich als Gemisch vorhanden, wird vorgeschlagen, beide Parametersätze (für BO und RC) zur Prüfung vorzusehen. Wird gezielt ein Gemisch aus Böden und RC-Baustoffen hergestellt, so sind die jeweiligen Parametersätze auf die Ausgangsmaterialien anzusetzen.

6 Literatur

Baumgärtel, T.; Heyer, D.; Vogt, N. (2009): Erdbautechnische Eignung und Klassifikation von Böden mit Fremdbestandteilen und von Bauschutt. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1020, Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.