

Herausforderungen bei der Verwendung von RC-Baustoffen aus aufbereiteten Baurestmassen im Erdbau

Stefan Huber, Christoph Henzinger & Dirk Heyer

Technische Universität München

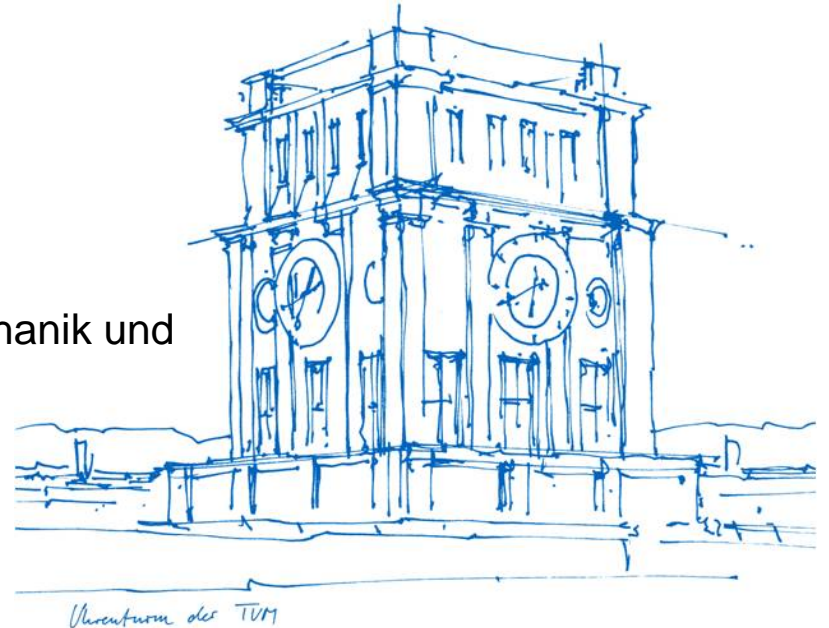
Fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und

Tunnelbau

Recy&DepoTech 2018

Leoben, 08. November 2018

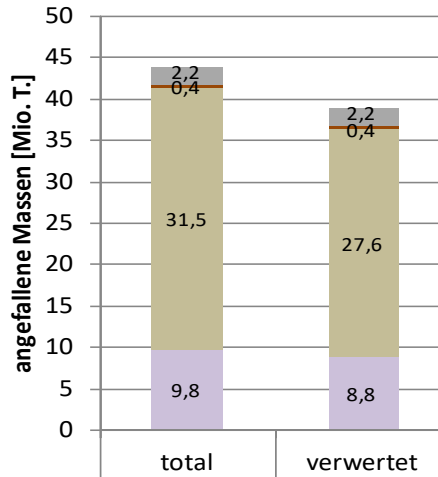


Agenda

1. Hintergrund
2. Bautechnische Anforderungen im Erdbau
3. Herausforderungen bei der Prüfung im Labor
4. Herausforderungen bei der Prüfung im Feld
5. Fazit

Hintergrund

Bewirtschaftung mineralischer Restmassen, Beispiel: Bayern (2014)



Bayern (2014): 43,5 Mio. Tonnen



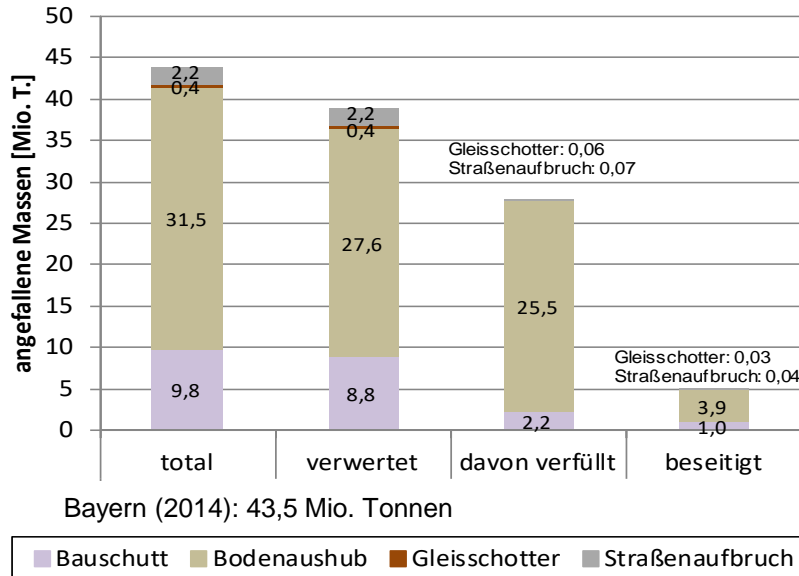
Verwertungsquoten **inklusive** Verfüllung als Verwertungsmaßnahme:

Bodenaushub ($\approx 72,4$ % am Gesamtaufkommen): **ca. 87,7 %**

Bauschutt ($\approx 22,5$ % am Gesamtaufkommen): **ca. 89,7 %**

Hintergrund

→ Ziel des KrWG einer umfassenden hochwertigen Verwertung mineralischer Restmassen wird bei Weitem noch nicht erreicht



Verwertungsquoten **exklusive Verfüllung als Verwertungsmaßnahme:**

Bodenaushub ($\approx 72,4$ % am Gesamtaufkommen): **ca. 6,6 % statt 87,7 %**

Bauschutt ($\approx 22,5$ % am Gesamtaufkommen): **ca. 67,3 % statt 89,7 %**

Hintergrund

→ Ziel des KrWG einer umfassenden hochwertigen Verwertung mineralischer Restmassen wird bei Weitem noch nicht erreicht

Ursachen u.a.

- in D: bundesweit nicht einheitliches Regelwerk
- Konkurrenz zu nach wie vor günstigen Primärbaustoffen
- Vorbehalte gegenüber umwelttechnischer Eignung
- **Vorbehalte gegenüber bautechnischer Gleichwertigkeit** (→ resultieren auch aus **Unterschieden gegenüber Primärbaustoffen bei der Prüfung im Labor und im Feld**)

Hintergrund

„Substitution von natürlichen mineralischen Baustoffen durch Ersatzbaustoffe im Erd- und Tiefbau“

gefördert durch die „Bayerische Forschungstiftung“



Bayerische
Forschungstiftung

in Zusammenarbeit mit sechs Industriepartnern



Bautechnische Anforderungen im Erdbau

Grundsätzliche Anforderungen an Baustoffe

Schadlose Verwertung

Anforderungen an umweltrelevante Merkmale sichern Schutz aus wasserwirtschaftlicher Sicht


Bautechnische Anforderungen

Anforderungen an bautechnische Eigenschaften sichern Standsicherheit und dauerhafte Gebrauchstauglichkeit

Bautechnische Anforderungen im Erdbau

an den Baustoff

Beispiel

[Technische Lieferbedingungen](#) für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus (TL BuB E-StB 09) 

„enthalten [stoffspezifische erdbautechnische](#) und [umweltrelevante Anforderungen](#) an Böden/Baustoffen, die zur Herstellung von Erdbauwerken geliefert werden“, u.a. an

- **Plastizität und Korngrößenverteilung**
- **Wassergehalt**
- **stoffliche Zusammensetzung (ist anzugeben, Begrenzung Ausbauasphalt auf max. 10 M.-% und nichtmineralische Fremdstoffe auf max. 0,2 M.-%)**


Bautechnische Anforderungen im Erdbau

an das Erdbauwerk

Beispiele

Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen – Erdarbeiten (RVS 08.01.03) 

„stellt den **Stand der Technik** in dem oben angeführten Fachbereich dar“

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
(ZTV E-StB 17) 

„enthalten **Regelungen** für das Lösen, Laden, Fördern, Behandeln, **Einbauen und Verdichten** von Boden und Fels sowie von sonstigen erdbautechnisch geeigneten Stoffen“

„**regeln die Ausführung und die Qualitätsanforderungen** für den Untergrund und Unterbau von Verkehrsflächen und für sonstige Erdbauwerke“

Bautechnische Anforderungen im Erdbau

an das Erdbauwerk

Standicherheit und **Vermeidung von Setzungen** (Gebrauchstauglichkeit) stehen im Vordergrund

→ ausreichende Verdichtung des verwendeten Erdbaustoffes von entscheidender Bedeutung

→ anwendungsbezogene **Mindestanforderungen an die Verdichtung**

 mögliche Prüfkriterien

 D_{Pr} , E_{vd} , E_{v2} , ...



primäres Prüfkriterium

Verdichtungsgrad $D_{Pr} = \rho_{d, Feld} / \rho_{Pr}$

Tiefenbereich	E_{vd} [MN/m ²]	E_{v1} [MN/m ²]	D_{Pr} [%]
Unterbauplanum	38	35	100
ab 1 m unter Unterbauplanum	24 (26)	20	99
ab Dammaufstandfläche (einschl. Bodenauswechslung)	18 (16)	15 (7,5)	97 (95)
Hinterfüllung	38	35	100

Auszug: RVS 08.03.01 – Tabelle 1

Bsp. Planum:

	Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} in %
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100

Bsp. Schutzwall: $D_{Pr} \geq 97\%$

Auszug: ZTV E-StB 17, Tab. 4

Bautechnische Anforderungen im Erdbau

Nachweis der Mindestanforderungen an die Verdichtung

Bestimmung der im Feld erreichten Trockendichte zur Ermittlung des Verdichtungsgrades

→ Volumenersatzverfahren, radiometrische Sonde



Bautechnische Anforderungen im Erdbau

Nachweis der Mindestanforderungen an die Verdichtung

Nutzung des **Zusammenhangs zwischen Trockendichte und Steifigkeit** (Verformungsmodul E_v) des Untergrundes (indirekte Prüfung) statischer und dynamischer Plattendruckversuch

→ in  – direkte Anforderungen an Verformungsmodul (E_{v1} oder bzw. E_{vd})

→ in  – Zuordnung Verformungsmodul zum Verdichtungsgrad (**indirekte Prüfung**)



Bautechnische Anforderungen im Erdbau

indirekte Prüfung mittels stat./dyn. Plattendruckversuch in



für gemischtkörnige Böden

Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Verdichtungsgrad/Trockendichte und Steifigkeit (Verformungsmodul) im Rahmen von Probefeldern notwendig

für grobkörnige Böden – Anwendung von Tabellenwerten möglich

Bodengruppe	statischer Verformungsmodul E_{v2} in MPa	Verdichtungsgrad D_{Pr} in %
GW, GI	≥ 100	≥ 100
	≥ 80	≥ 98
GE, SE, SW, SI	≥ 80	≥ 100
	≥ 70	≥ 98

Bodengruppe	dynamischer Verformungsmodul E_{vd} in MPa	Verdichtungsgrad D_{Pr} in %
GW, GI, GE, SW, SI, SE	≥ 50	≥ 100
	≥ 40	≥ 98

dynamische LP

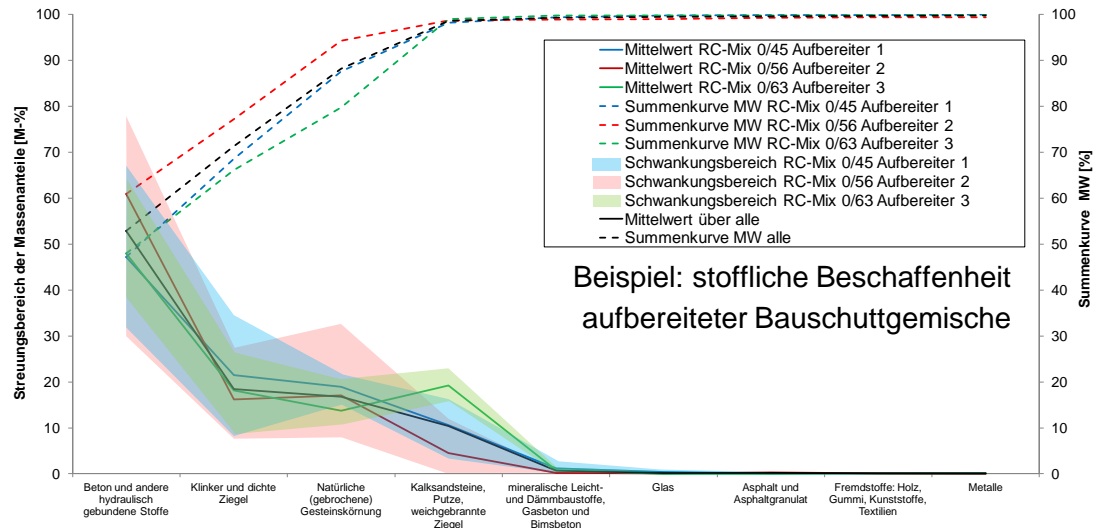
$E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$ für $D_{Pr} \geq 100$ % statische LP

$E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$ für $D_{Pr} \geq 98$ %

Herausforderungen bei der Prüfung im Labor

Stoffliche Zusammensetzung (TP Gestein-StB Teil 3.1.5)

meist reiner Betonbruch oder aufbereitetes Bauschuttgemisch



potentielle Unsicherheiten:

- Zuordnung zu den Stofffraktionen erfolgt händisch und nach Augenschein (subjektiv!)
- keine Berücksichtigung der Kornanteile < 4 mm

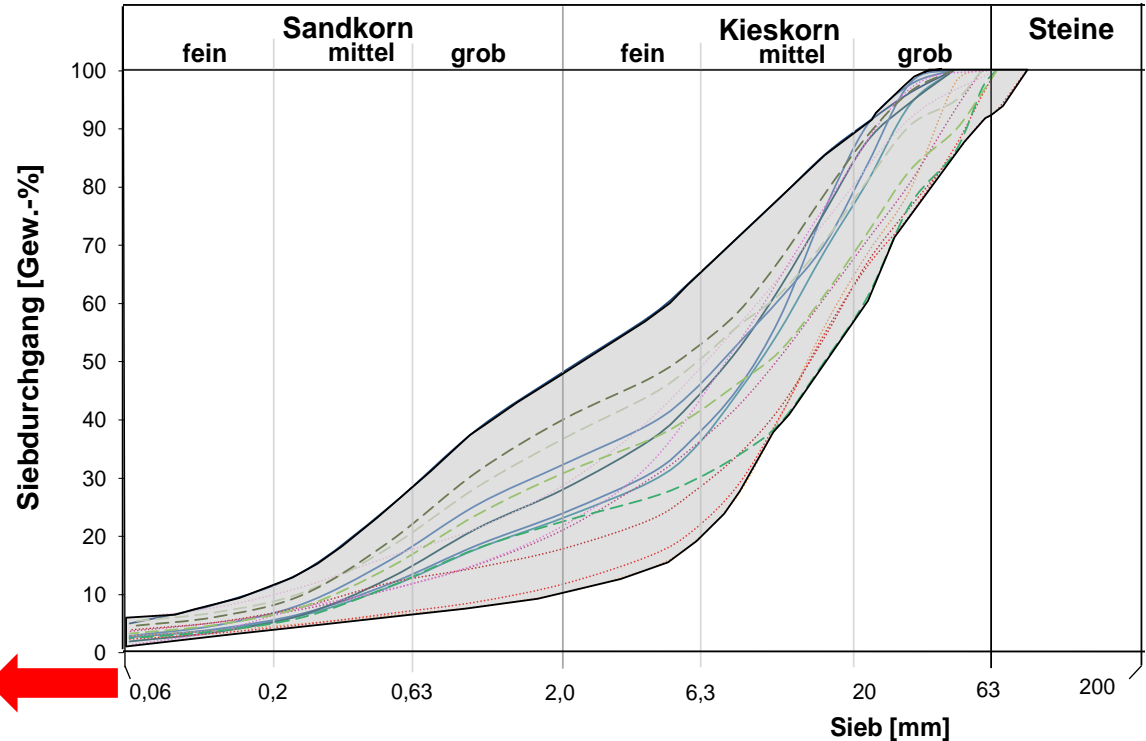
Herausforderungen bei der Prüfung im Labor

Korngrößenverteilung

typische Bodengruppen:

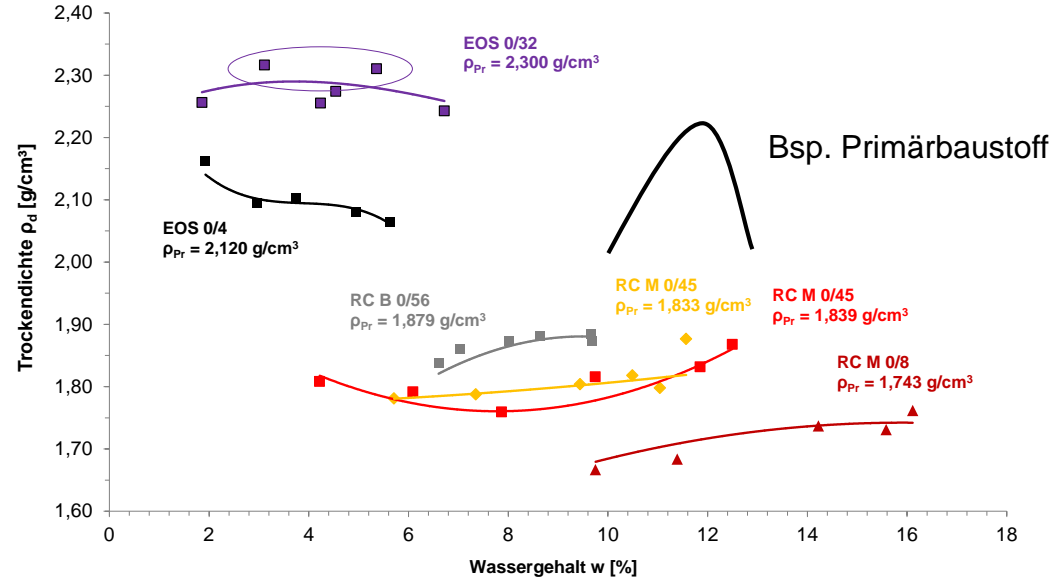
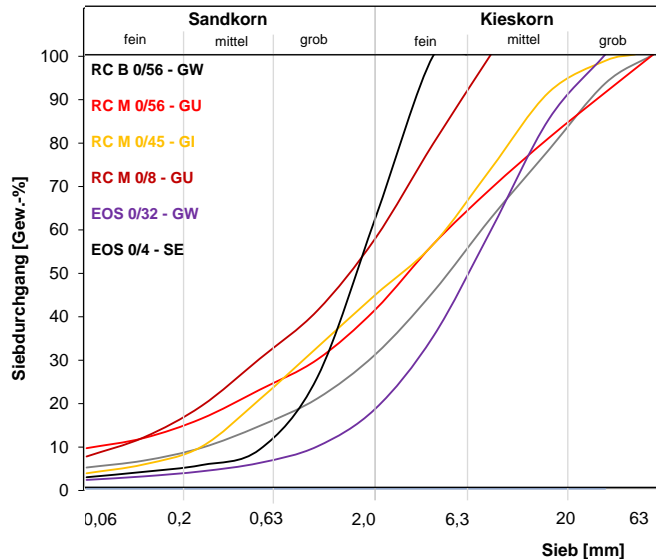
- GW
- GU
- GI

**d < 0,063 mm
schwierig zu
erfassen**



Herausforderungen bei der Prüfung im Labor

Verdichtbarkeit – Beispiel Proctorversuch zur Bestimmung der Proctordichte



Herausforderungen bei der Prüfung im Feld

Durchführung von Felduntersuchungen - Fragestellungen u. a.

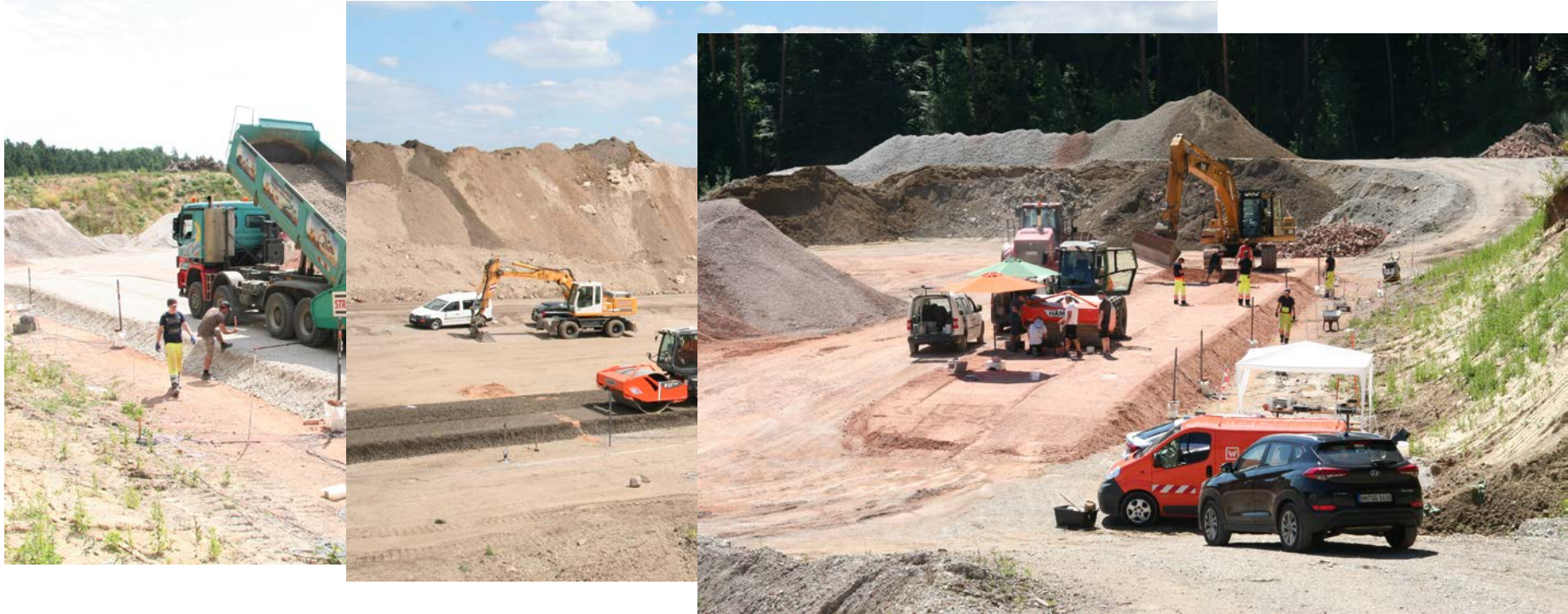
Einbau und Verdichtung von RC-Baustoffen mit konventionellen Verfahren und Geräten **anforderungsgerecht möglich?**

Anwendbarkeit direkter und indirekter Prüfverfahren zur Verdichtungskontrolle bei RC-Baustoffen gegeben?

Übertragbarkeit bestehender Richtwerte zur Verdichtungskontrolle mittels indirekter Prüfverfahren auf RC-Baustoffe?

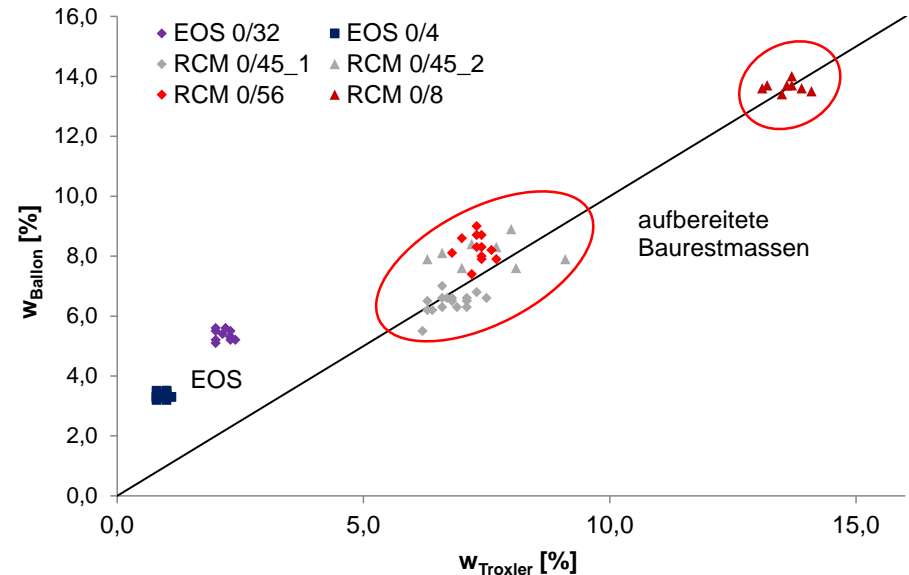
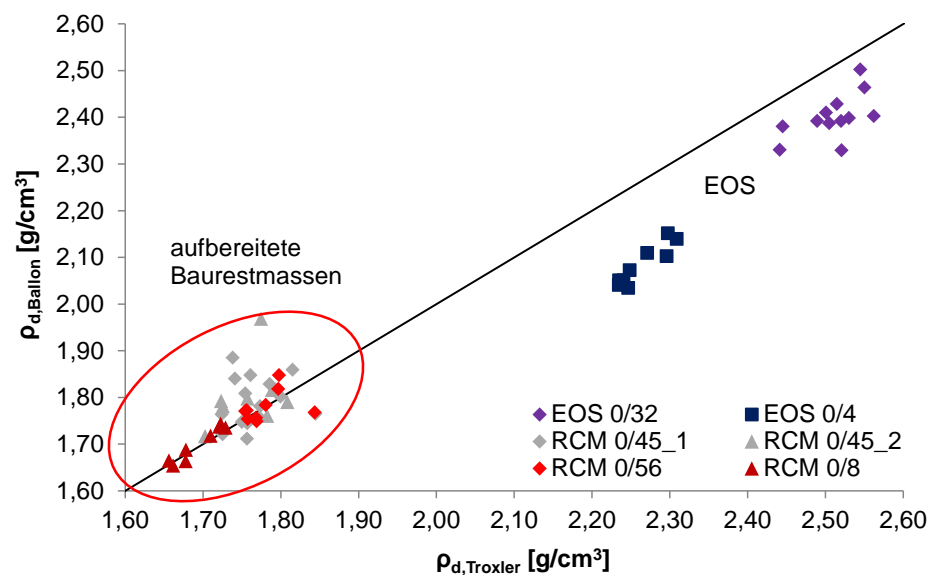
...

Herausforderungen bei der Prüfung im Feld



Herausforderungen bei der Prüfung im Feld

Direkte Prüfverfahren



Herausforderungen bei der Prüfung im Feld

Indirekte Prüfverfahren – Statischer Plattendruckversuch

bei ausreichender Verdichtung → **ausreichend hohe E_{v2} -Werte** zum Nachweis des Verdichtungsgrades mittels statischer Lastplatte und Anwendung der Tabellenwerte der ZTV E-StB 17

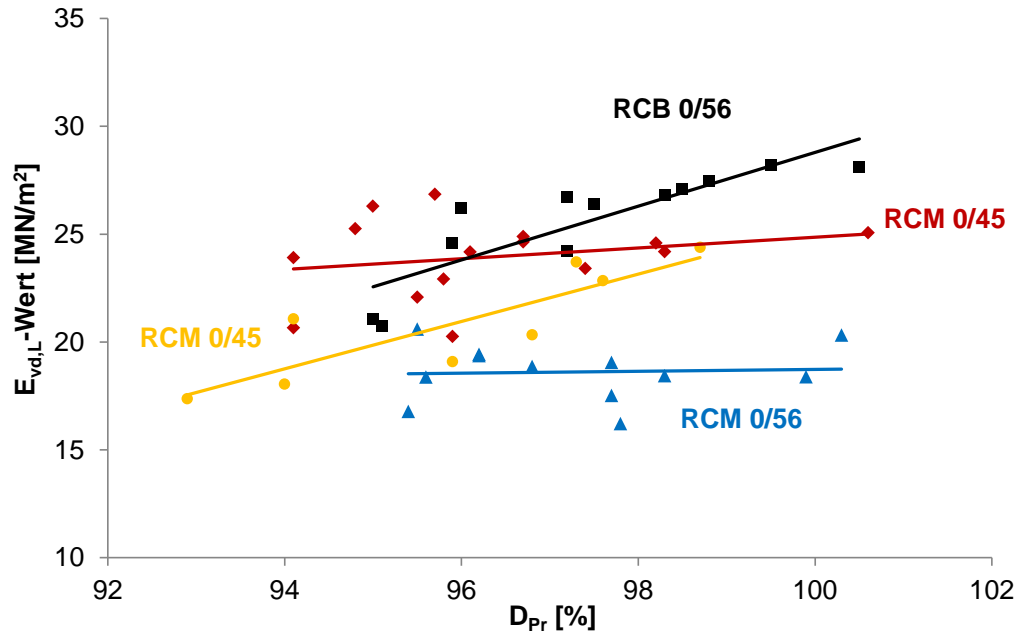
aber:

niedrige E_{v1} -Werte führen zu **hohen Verhältniswerten E_{v2}/E_{v1}**

→ **Kalibrierung des Prüfverfahrens notwendig**

Herausforderungen bei der Prüfung im Feld

Indirekte Prüfverfahren – Dynamische Plattendruckversuche



trotz ausreichender Verdichtung niedrige E_{vd} -Werte

→ Kalibrierung des Prüfverfahrens notwendig

Fazit

RC-Baustoffe aus aufbereiteten Baurestmassen **als Baustoffe im Erdbau grundsätzlich geeignet**

ABER:

eine **sinnvolle Anwendung** bedarf **Berücksichtigung materialcharakteristischer Besonderheiten** von RC-Baustoffen, z.B.

- Eignungsprüfung (Klassifizierung, Verdichtbarkeit...)
- Verdichtungskontrolle
-

Ende

Vielen Dank für's Zuhören!

Fragen?

Kontakt:

Huber Stefan M.Sc.

TU München, Zentrum Geotechnik

s.huber@tum.de