

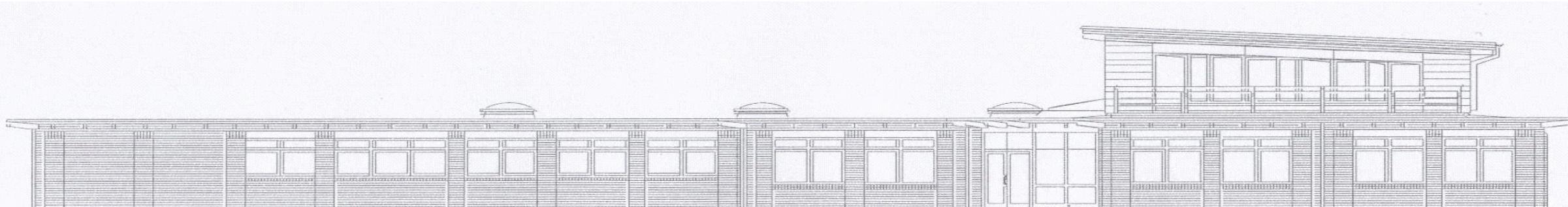
## **FLC Fehmarnbelt Bauwerkshinterfüllung GB3**

### **Qualitätssicherung während der Ausführung**

Update Bodenbehandlung GBB-Fachtagung

Magdeburg, 21. Januar 2026

Konstantin Keplin



## Inhalt

---

- Grundlagen
- Eignungsprüfung, Wahl des Bindemittels
- Bauausführung
- Qualitätssicherung

## Grundlagen: Begriffsbestimmung

---

### Bodenverbesserungen nach ZTV E-StB

- Nasse, nicht verdichtungsfähige Böden können durch Bindemittelzugabe einbaufähig gemacht werden,
  - Ziel: Verdichtungsgrad

### Qualifizierte Bodenverbesserungen nach ZTV E-StB

- Scherfestigkeit wird erhöht,
- Setzungen und Verformungen werden minimiert
- Verbesserung der beliebige Eigenschaft
- Sonderfall Planum: Verbesserung der Frostempfindlichkeit (F3-Böden werden als F2)

### Bodenverfestigung F3-Böden im Planum gem. ZTV E-StB

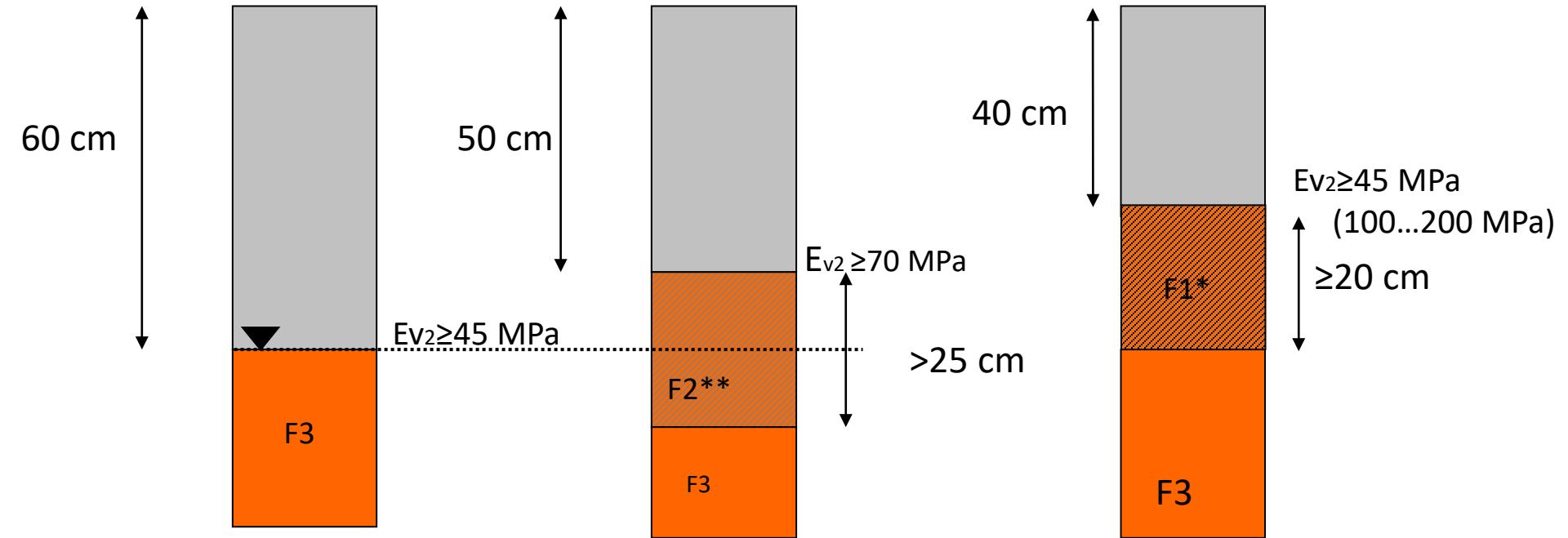
- Dauerhaft tragfähig und frostsicher, kann bis zu 20 cm dem frostsicherem Oberbau angerechnet werden

### Verfestigungen nach ZTV Beton-StB

- F1-Böden bzw. Baustoffgemische
- man unterscheidet Verfestigungen unter Asphalt- und unter Betondecken

## Planum: Bodenbehandlung gem. ZTV E StB

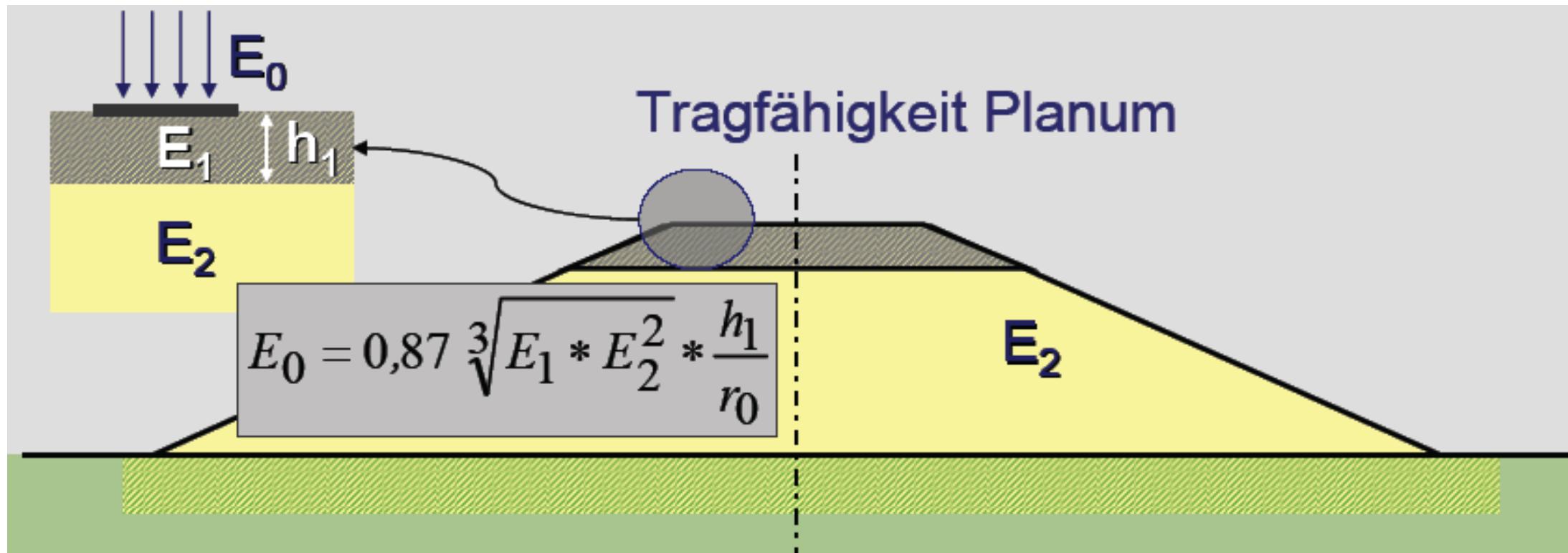
Bsp. Optimierung des frostsicheren Oberbaus mit qualifizierter Bodenverbesserung/Bodenverfestigung im Planum!



\* Bodenverfestigung gem. ZTV E-StB aus F3-Boden

\*\* qualifizierte Bodenverbesserung

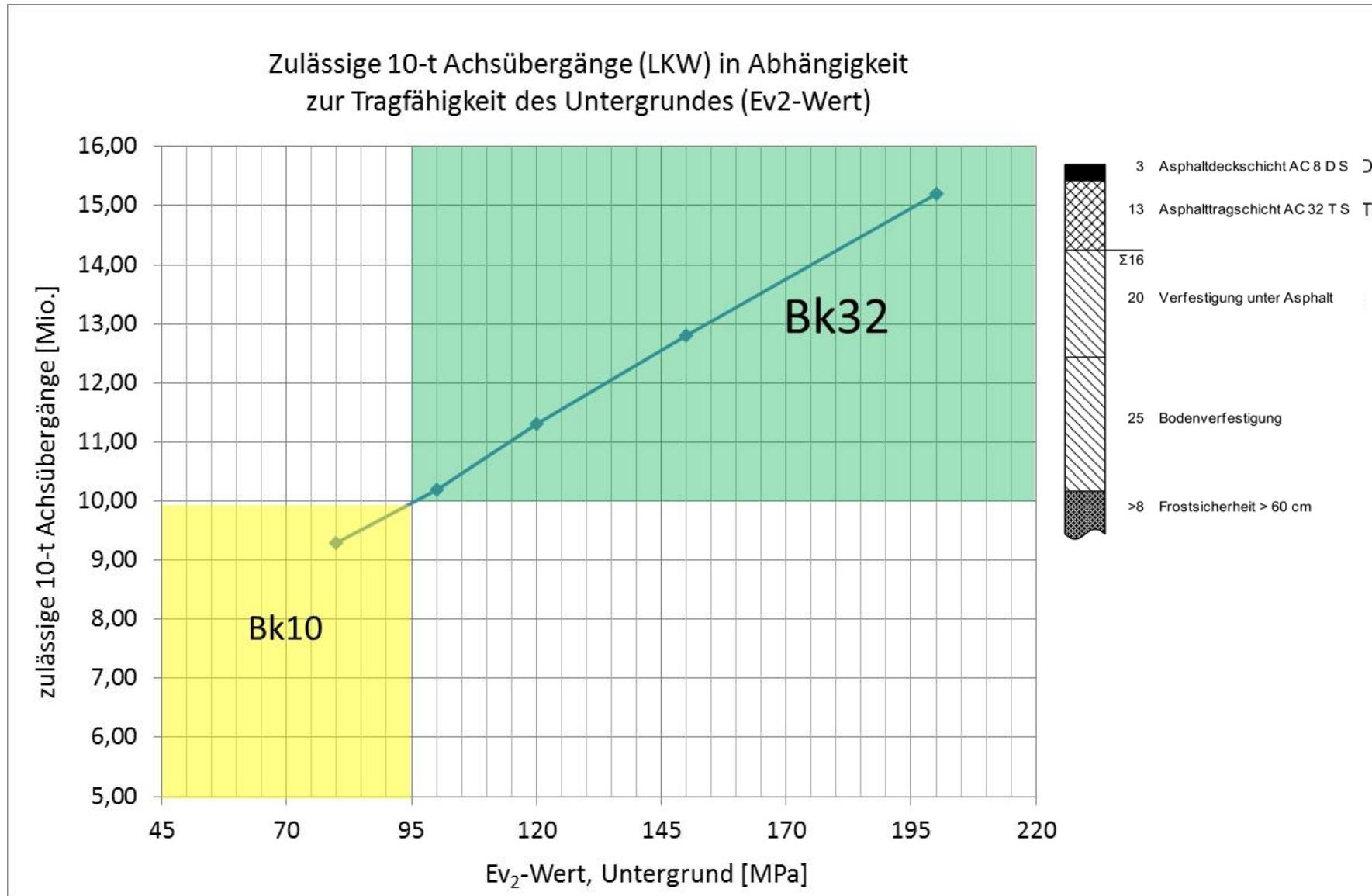
## Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung



Optimierung der Tragschichten im Oberbau

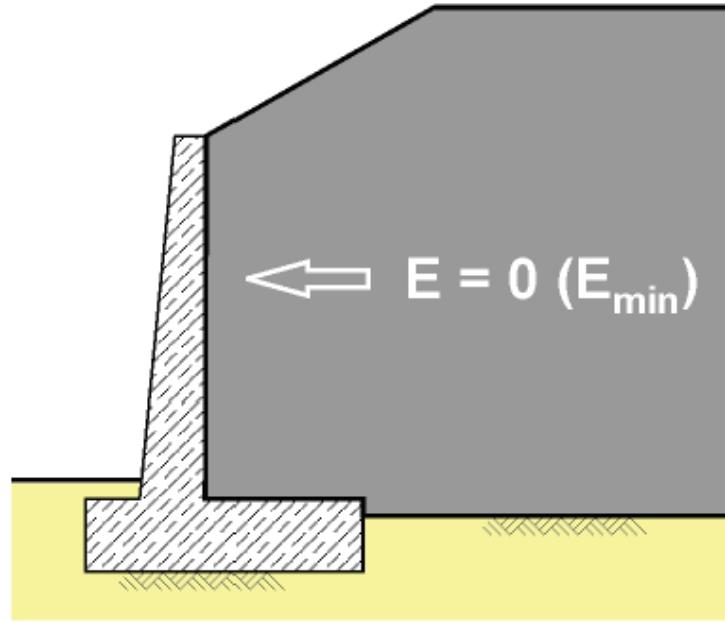
- Bemessung des Bindemittelbedarfs z.B. nach Verformungsmodul  $E_v$

# Grundlagen: Auswirkung der Tragfähigkeit im Planum auf die Dimensionierung des Oberbaus gem. RDO Asphalt



## Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung

---

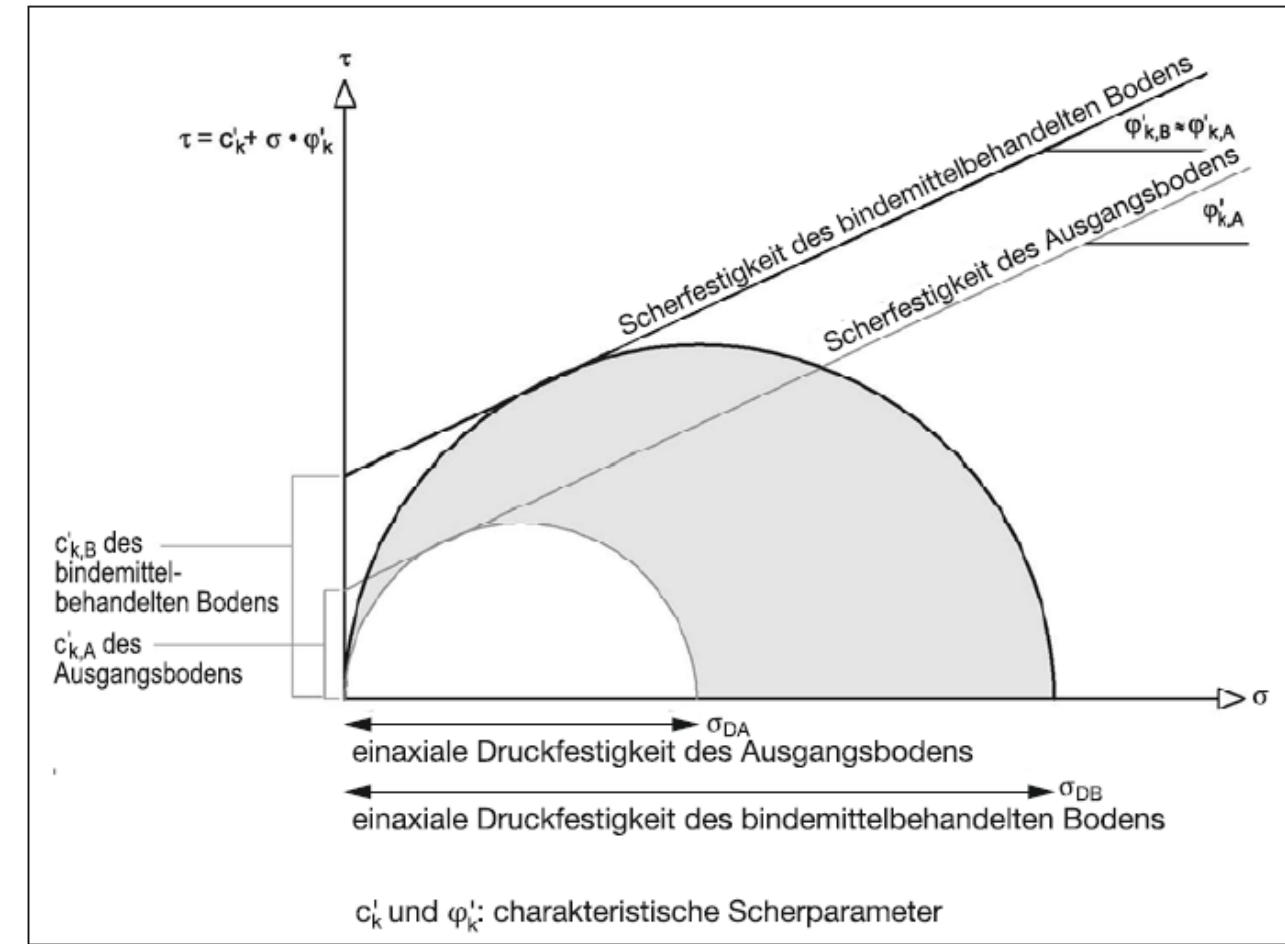


---

Optimierung der Stützbauwerke bei Verwendung der anstehenden Böden (Setzungen/Grundbruchsicherheit) durch Reduzierung:

- Bemessung des Bindemittelbedarfs z.B. nach  $c'$  ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

# Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung



**Bild 6: Ermittlung der Scherfestigkeit eines unbehandelten und mit Bindemitteln behandelten Bodens über die einaxiale Druckfestigkeit bei bekanntem Reibungswinkel  $\varphi'k$**

Quelle: M BmD, FGSV 551

# Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung

---

## Bindemittel

### Genormte Bindemittel:

- Kalk (Baukalk DIN EN 459)
- Zement DIN EN 197, z.B. CEM II/B-S 32,5 R
- hydrophobierte Zemente
- Tragschichtbinder DIN EN 13282-1, z.B HRB E4

### Mischbindemittel

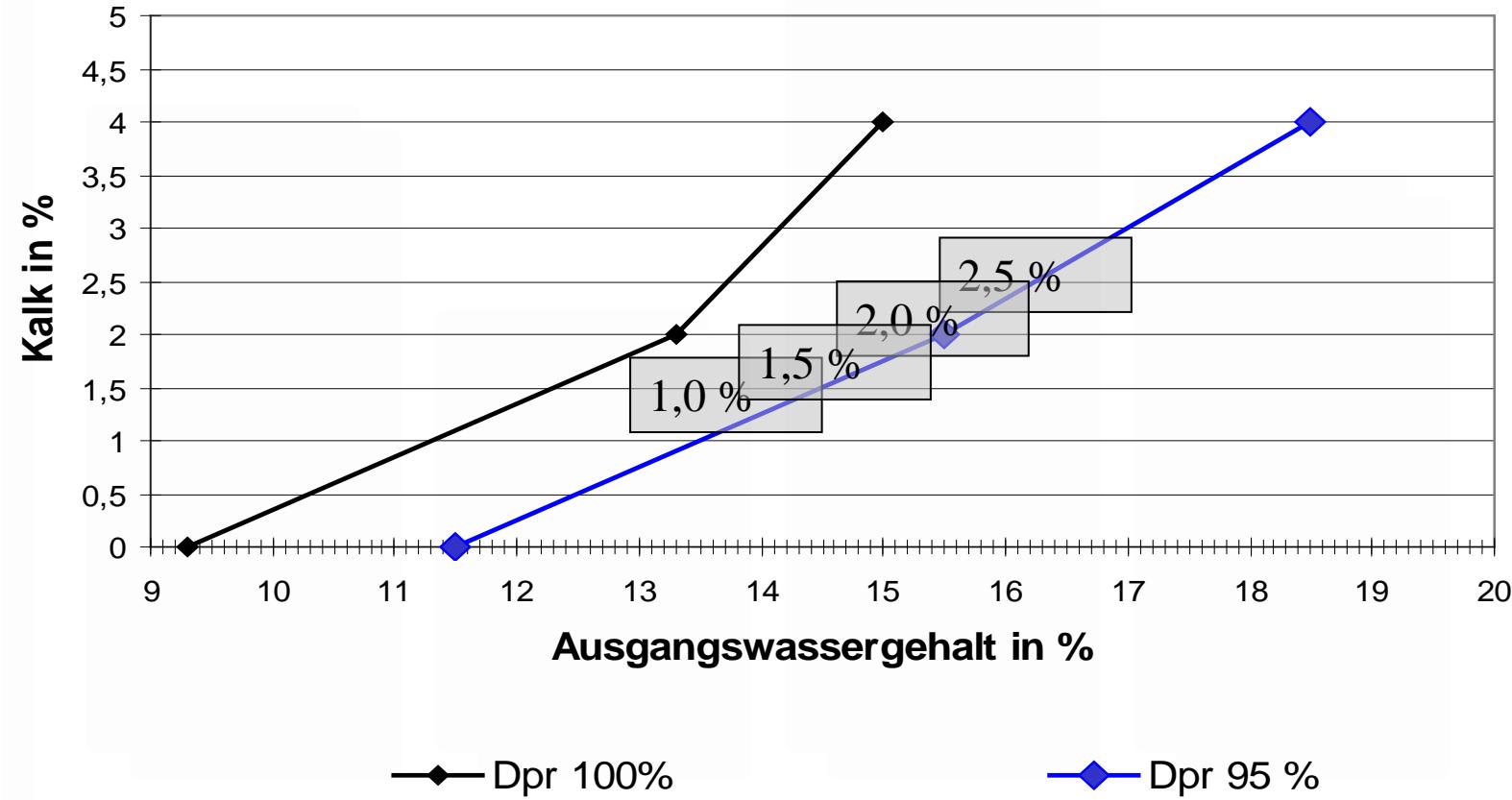
- Kombination aus genormten hydraulischen Bindemitteln und Baukalk: z. B Gemisch aus Kalk und Zement, mit z.B Handelsbezeichnung DOROSOL C30: besteht aus 70% Zement und 30 % Weißfeinkalk
- Spezialbindemittel
  - Eignung ist nachzuweisen
  - Vereinbarung/Zustimmung des AG notwendig
  - z.B. Gemische aus Zement und Flugasche oder Gesteinsmehle oder ....  
z. B Handelsbezeichnung: Terrasol, Multicrete...

# Grundlagen: Bodenverbesserung

Ziel: Reduzierung des Wassergehaltes, Ergebnis der Eignungsprüfung:

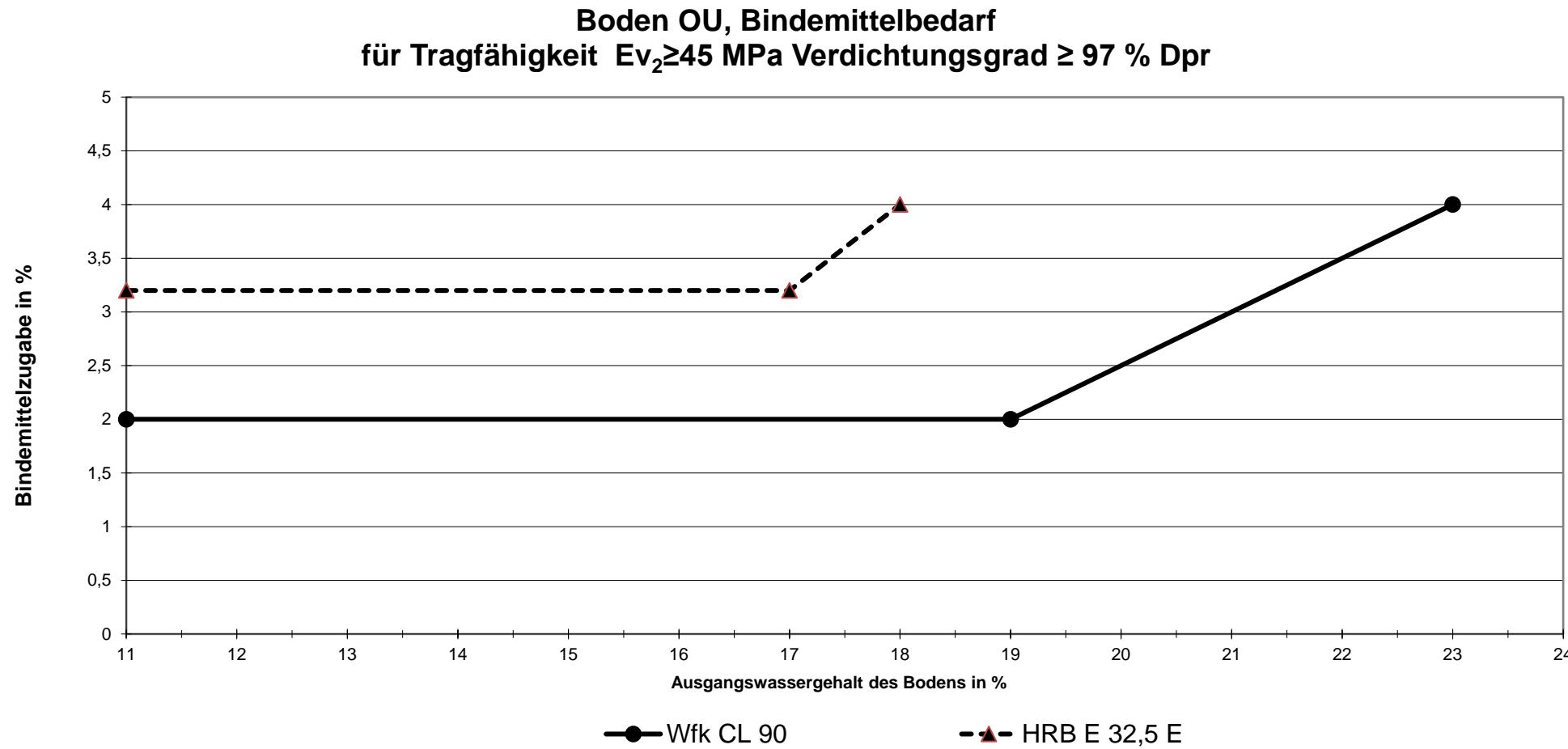
➤ keine „feste“ Rezeptur, sondern in Abhängigkeit Bindemittelausstreuemenge vom Ausgangswassergehalt des Bodens

## Kalkzugabe für Reduzierung des Wassergehaltes



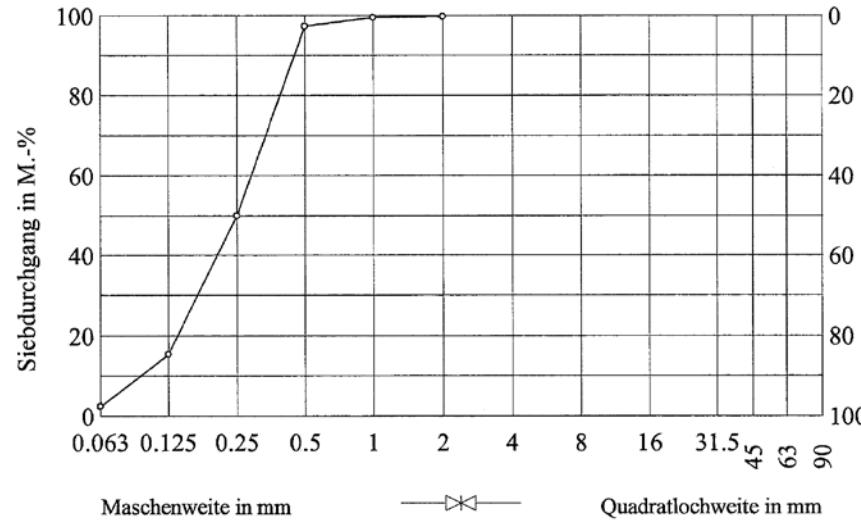
# Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung

---

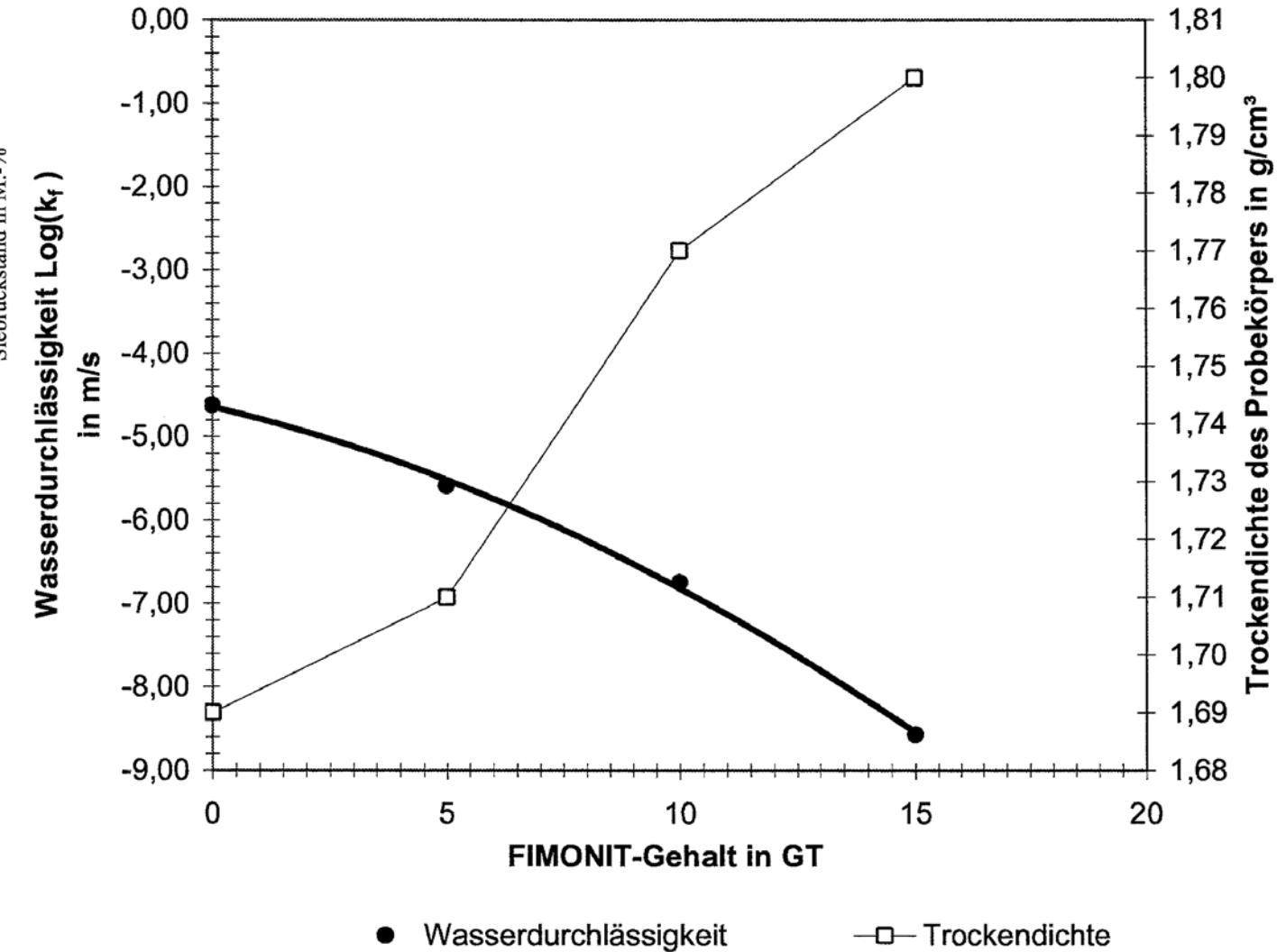


# Eignungsprüfung für eine qualifizierte Bodenverbesserung, Ziel: Wasserdurchlässigkeit $k_f \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$

Ergebnis:

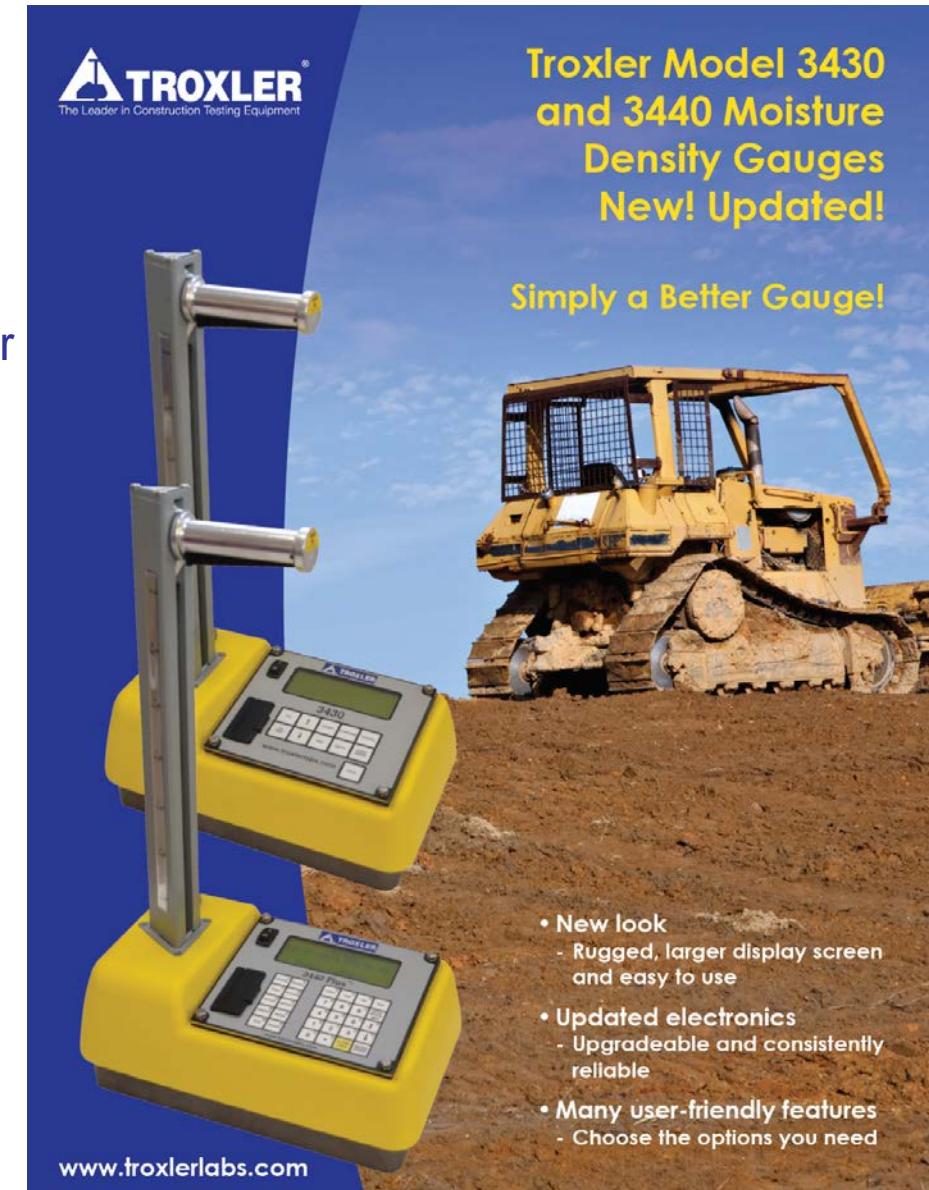


Wasserdurchlässigkeit DIN 18130-ZY-ES-ST und die Trockendichte  
Probekörper d=100 mm, h=120 mm



# Ausgangsmaterial für die Herstellung der Hinterfüllung BW GB3

Herkunft:	Aushub aus dem Tunelportal deutsche Seite
Zwischenlagerung:	ca. 750.000 m <sup>2</sup> Bodendepot, Einbau mittels Planierraupen Anforderung: Verdichtungsgrad $\geq 92\%$ Dpr
Qualitätssicherung:	Ermittlung der <u>Feuchtdichte</u> mittels Troxler-Sonde Ermittlung <u>Wassergehalt</u> mittels Offentrocknung bei 105°C alle 5 Verdichtungsprüfungen 1 Proctorversuch
Bodengruppe:	72 Proctorversuche 360 Prüfung des Verdichtungsgrades  SU*/UL nach DIN 18196: ausgesprochen wasserempfindlich



The advertisement features a yellow Troxler moisture density gauge with two vertical rods and a digital display. In the background, a yellow bulldozer is working on a dirt construction site under a blue sky. The Troxler logo is at the top left, and the text "The Leader in Construction Testing Equipment" is below it. To the right, the text "Troxler Model 3430 and 3440 Moisture Density Gauges New! Updated!" is displayed in yellow, followed by "Simply a Better Gauge!" Below the gauge, there is a bulleted list of features: "• New look - Rugged, larger display screen and easy to use", "• Updated electronics - Upgradeable and consistently reliable", and "• Many user-friendly features - Choose the options you need". The website "www.troxlerlabs.com" is at the bottom.

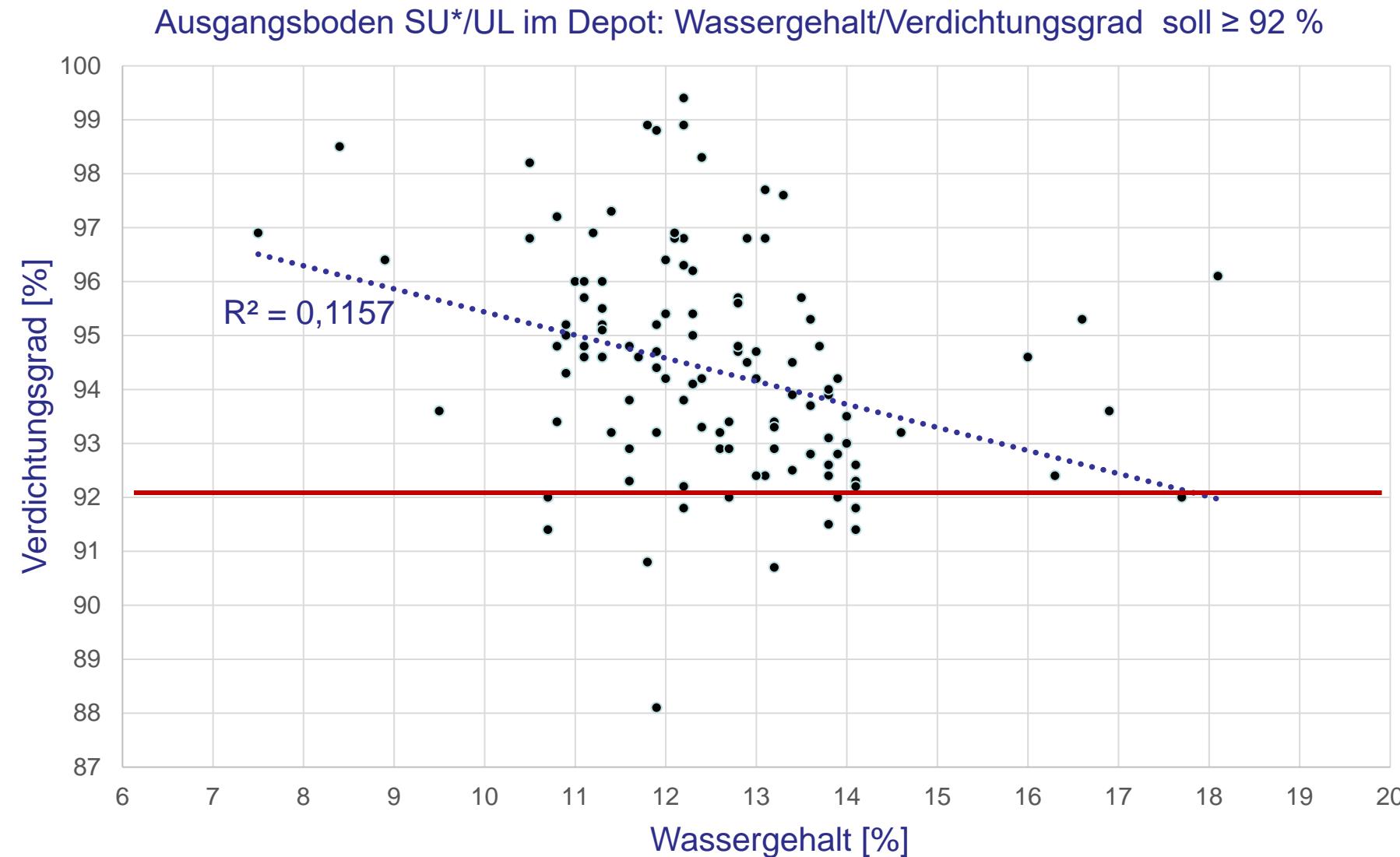
**Troxler Model 3430 and 3440 Moisture Density Gauges**  
New! Updated!

Simply a Better Gauge!

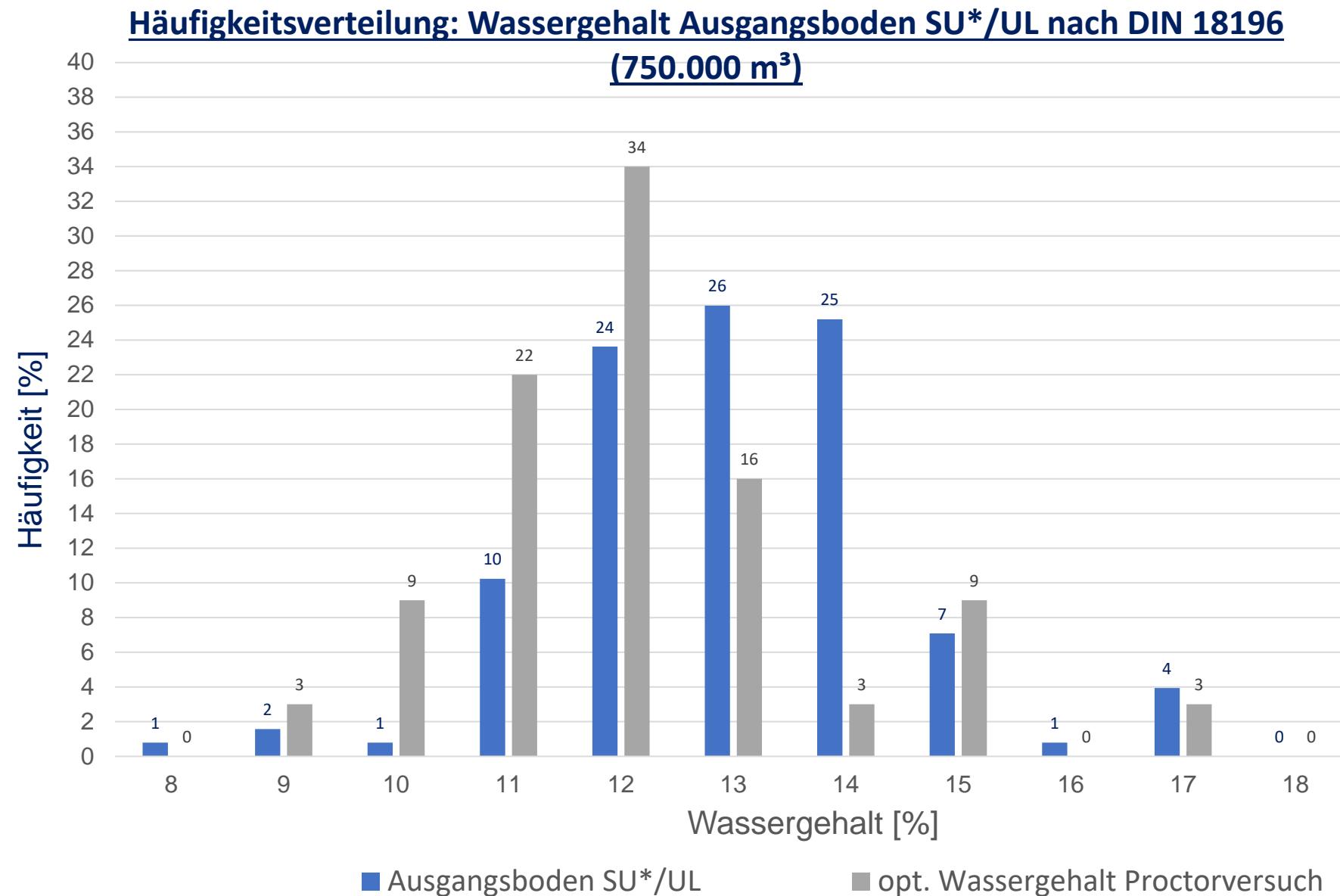
- New look
  - Rugged, larger display screen and easy to use
- Updated electronics
  - Upgradeable and consistently reliable
- Many user-friendly features
  - Choose the options you need

[www.troxlerlabs.com](http://www.troxlerlabs.com)

# Ausgangsmaterial für die Herstellung der Hinterfüllung



# Ausgangsmaterial für die Herstellung der Hinterfüllung für GB3



## Eignungsprüfung für qualifizierte Bodenverbesserung für Bauwerk GB 3

---

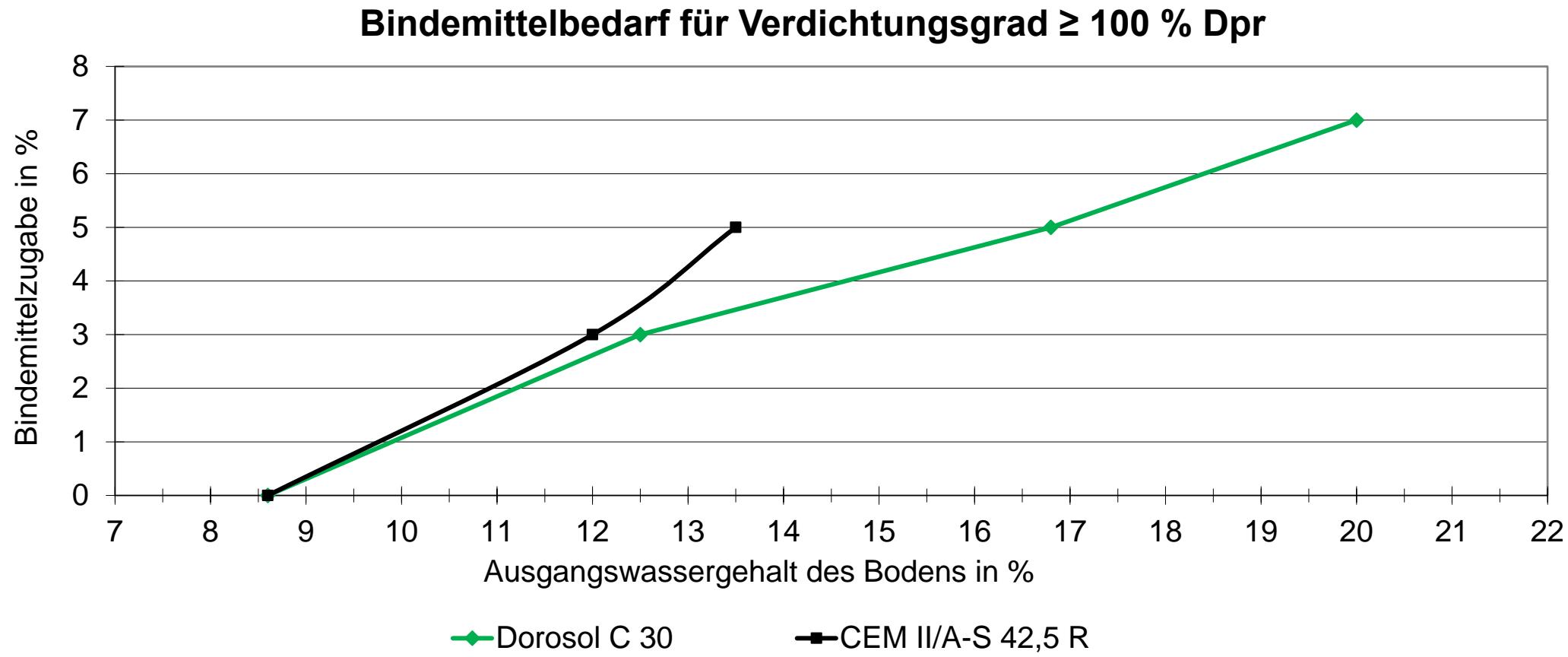
Ziel:                     $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$  charakteristische Druckfestigkeit im Bauteil  
                        $\geq 100\%$  Verdichtungsgrad (Wiederlagerhinterfüllung)  
                       3 % Mindestbindemittelgehalt

Festlegung  
der Bindemittelmenge:     für Zielfestigkeit 1 N/mm<sup>2</sup>

Bindemittel:            CEM II/A-S 42,5 R  
                       Mischbindemittel: 70 % Zement, 30 % Wfk CL90 Handelsbezeichnung DOROSOL C30

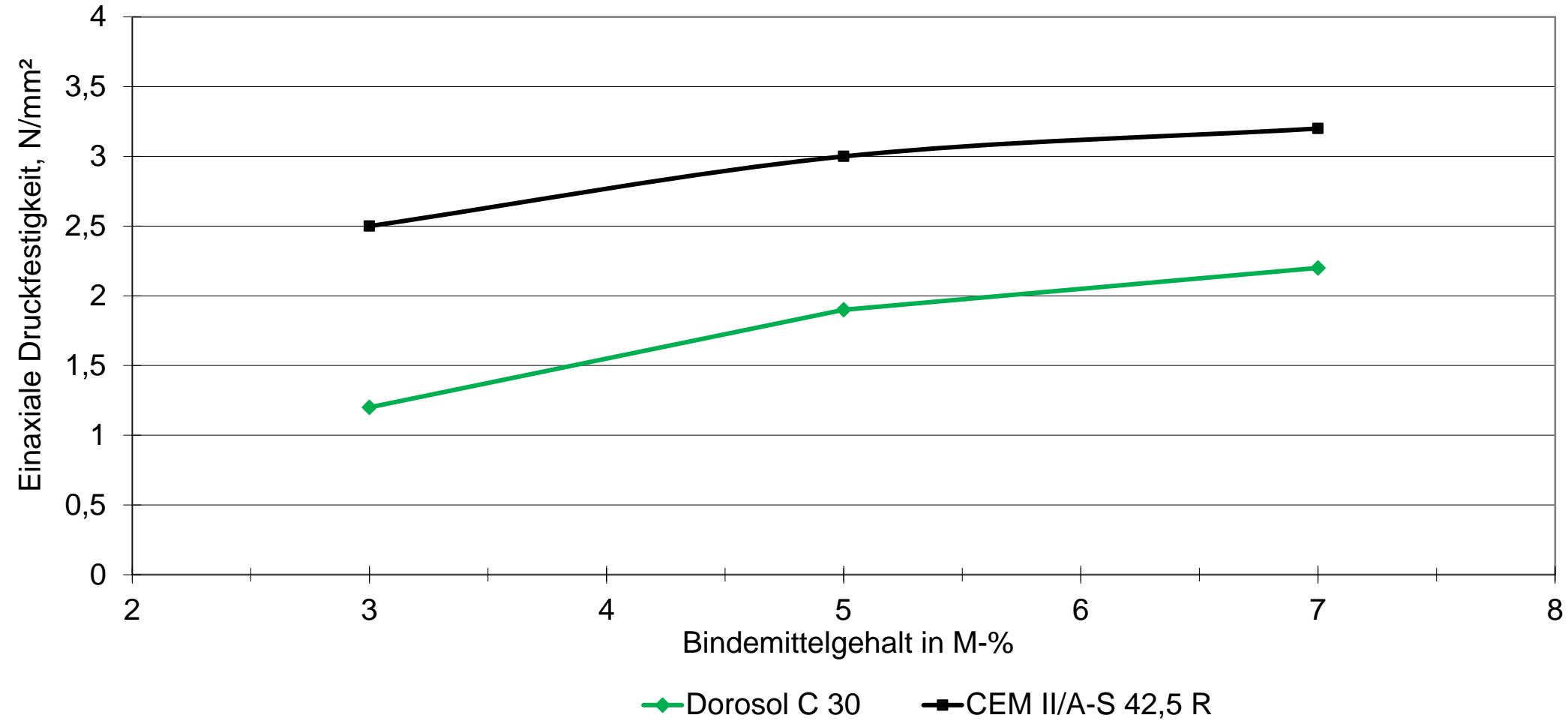
## Eignungsprüfung: Verdichtung

---



## Eignungsprüfung: Druckfestigkeit

7 Tage Druckfestigkeit, Probekörper d=100 mm, h=120 mm



## Eignungsprüfung: Zusammenfassung

---

Tabelle 4: Bindemittelbedarf Dorosol C 30, Ziel  $q_u \geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ ,  $D_{Pr} \geq 100 \%$

Ausgangswassergehalt des Bodens, in %	Bindemittelbedarf, in %	Ausstremenge für 50 cm Schichtdicke kg/m <sup>2</sup>
bis 13	3,0	30,0
13 bis 17	5,0	48,6
<b>17 bis 20</b>	<b>7,0</b>	<b>65,7</b>

Tabelle 4: Bindemittelbedarf CEM II/A-S 42,5 R , Ziel  $q_u \geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ ,  $D_{Pr} \geq 100 \%$

Ausgangswassergehalt des Bodens, in %	Bindemittelbedarf, in %	Ausstremenge für 50 cm Schichtdicke kg/m <sup>2</sup>
bis 11,0	3,0	30,1
<b>11,0 bis 12</b>	<b>5,0</b>	<b>49,0</b>
12 bis 14	7,0	67,4

# Qualitätssicherung während der Bauausführung

---

Technologie:	Bindemittelstreuen (ein Standsilo wurde vorgehalten) und Fräsen außerhalb des Bauwerkes
Boden-Bindemittel Gemisch:	Schieben, Laden, zu Einbaustelle transportieren Entladen und Lageweise 30 cm in die Hinterfüllung einbauen Tagesleistung: 250 ... 350 m <sup>3</sup> /Tag
Anforderung:	Verdichtungsgrad $\geq 100\%$ Dpr Druckfestigkeit nach 28 Tagen: $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Qualitätssicherung:	tägliche Prüfung des Wassergehaltes, Festlegung des Bindemittelbedarfes Korngrößenverteilung: alle 1000 m <sup>3</sup> Verdichtungsgrad: alle 200 m <sup>2</sup> Druckfestigkeit an gesondert hergestellten Probekörpern D/H=100/120
	32 Proctorversuche am Boden-Bindemittel-Gemisch 238 Verdichtungskontrolle 60 Druckfestigkeit an gesondert hergestellten Probekörpern
Bauausführung:	Juni 2024 bis März 2025 an 167 Tagen



## Bauausführung: Brückenwiederlager

---



## Bauausführung: Hinterfüllung

---



## Bauausführung: Streuen und Fräsen außerhalb des Bauwerkes

---



# Bauausführung: Boden-Bindemittel-Gemisch Schieben, Laden Fördern

---

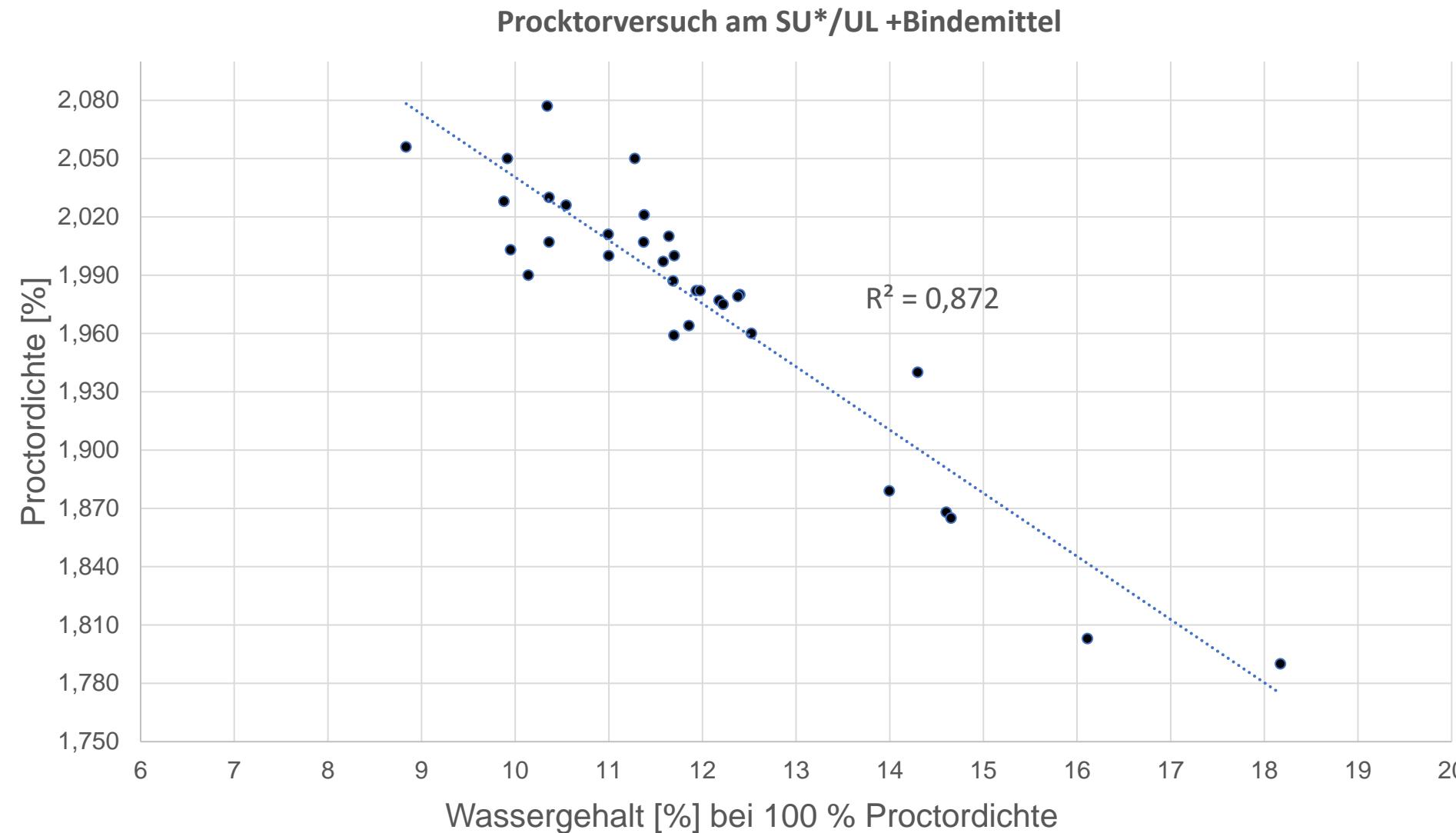


## Bauausführung: Einbau in die Hinterfüllung

---

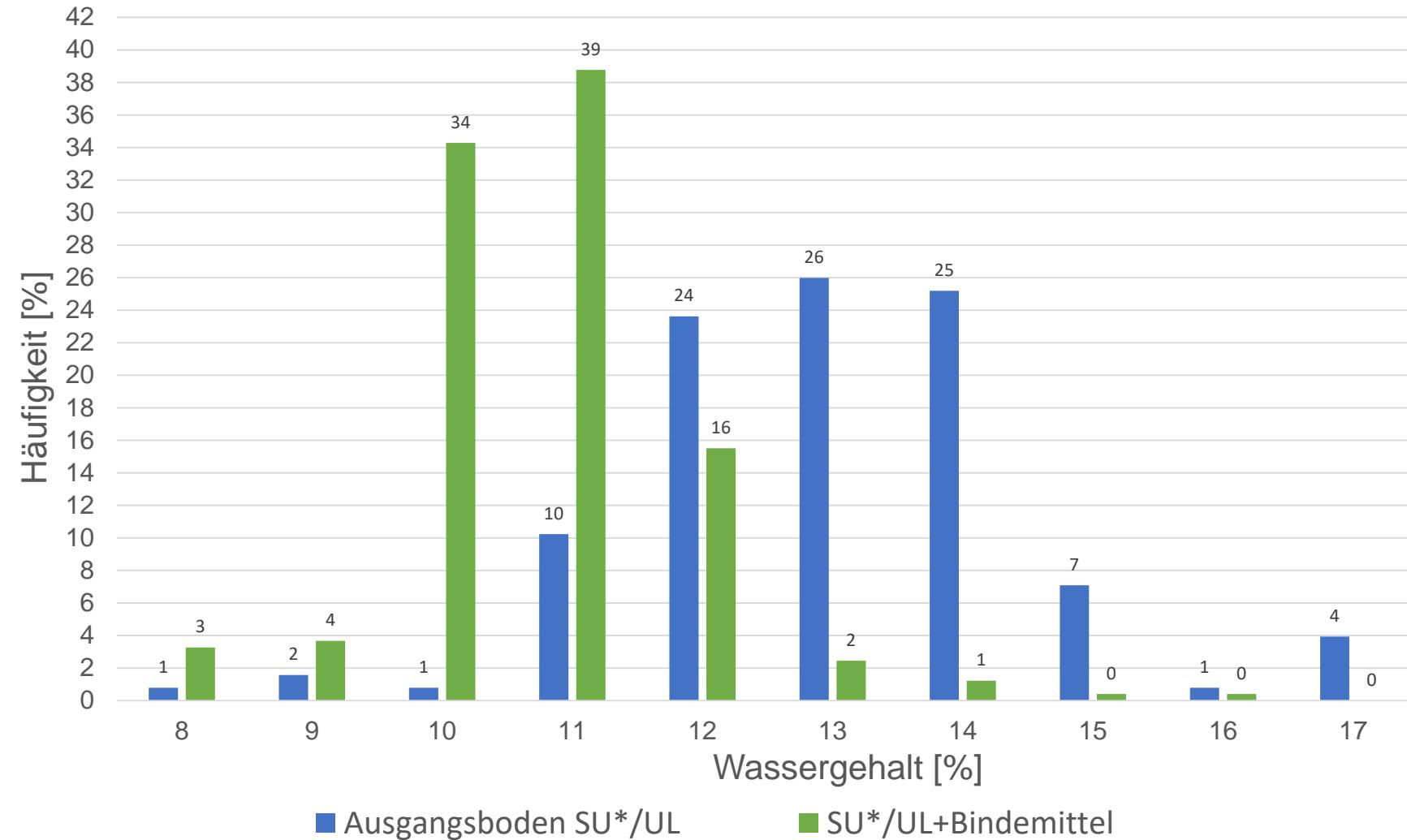


## Qualitätssicherung während der Ausführung: Proctorversuche am SU\*/UL+Bindemittel



# Qualitätssicherung während der Ausführung: Wassergehalt

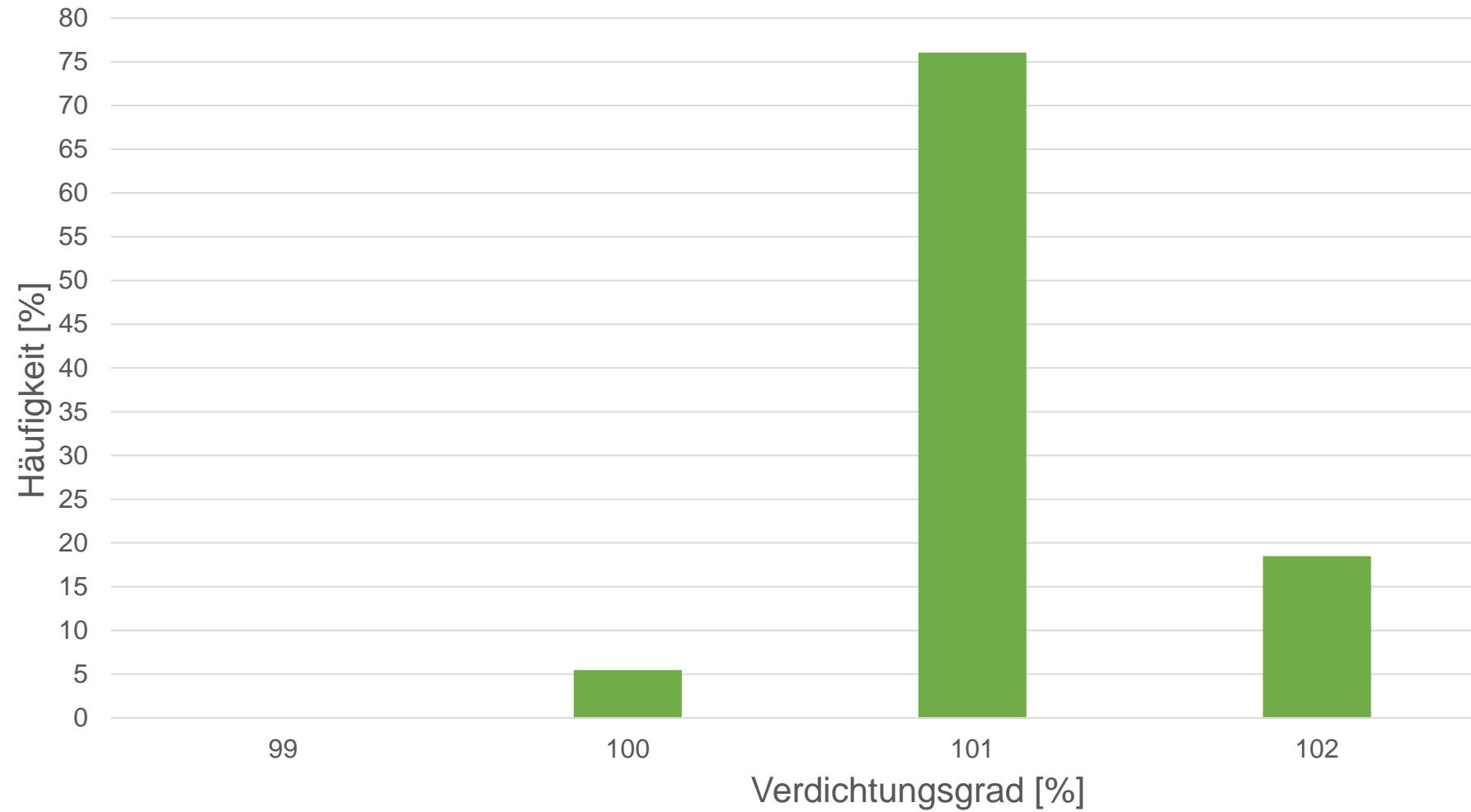
Häufigkeitsverteilung: Wassergehalt im Vergleich [vor und nach](#) der Bindemittelzugabe



# Qualitätssicherung während der Ausführung: Verdichtung

---

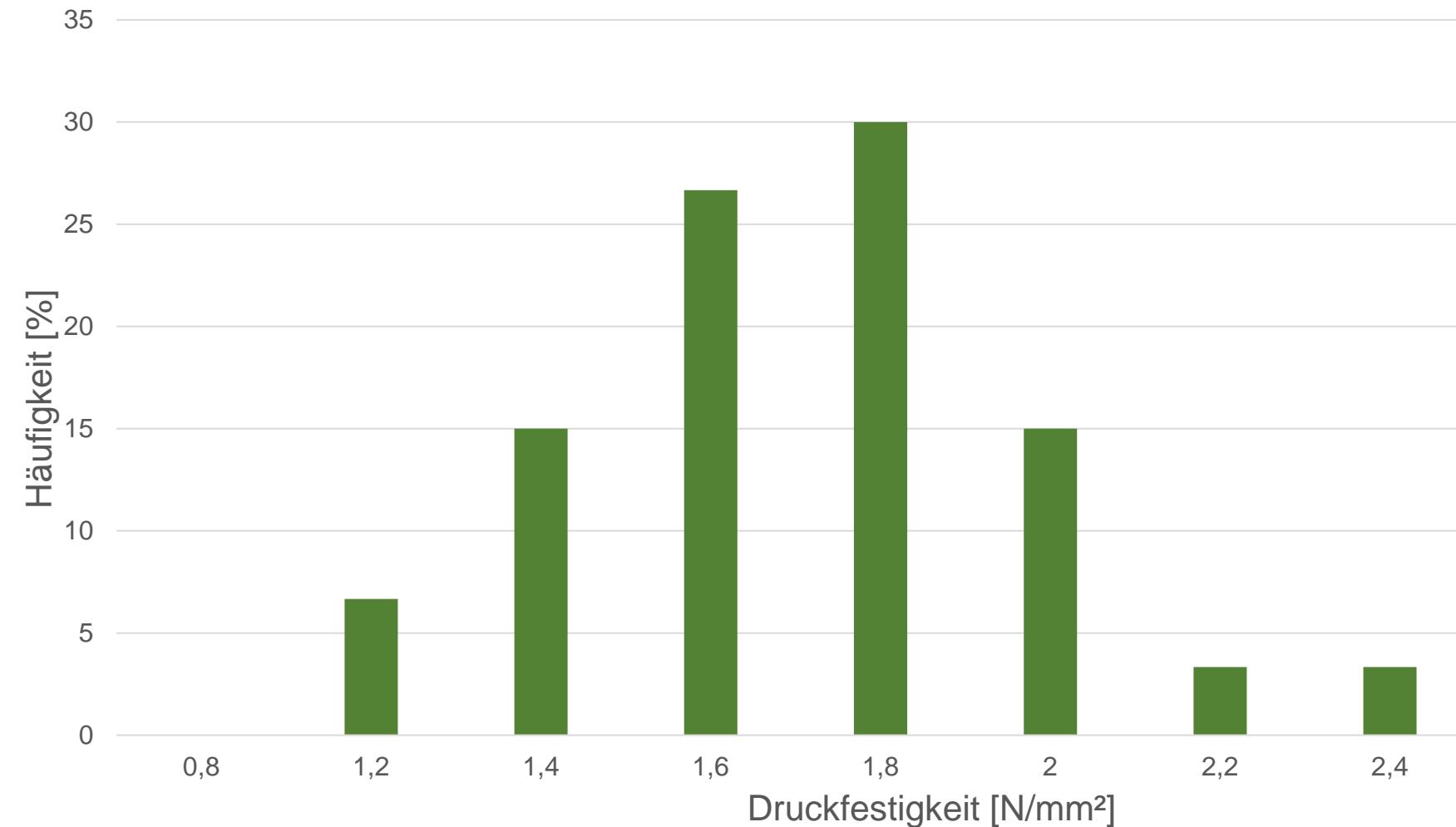
Häufigkeitsverteilung: Verdichtungsgrad Boden-Blndemittelgemisch in der Hinterfüllung



# Qualitätssicherung während der Ausführung: Druckfestigkeit

---

Häufigkeitsverteilung: Druckfestigkeit am Boden-Blindemittelgemisch



## Zusammenfassung

---

- Aus einem für den Erdbau nah zu unbrauchbaren Boden lässt sich ein sehr hochwertiges Baustoff mit hohen Anforderungen an die Eigenschaften herstellen
- Einsatzspektrum ist durch regionale und baustellenbezogen Randbedingungen geprägt: Eignung der Böden, Sensibilität zu Staubentwicklung
- Technologie einschl. Qualitätssicherung sind im Regelwerk bereist verankert und können je nach Zweck angepasst werden.
- Herausforderung: hohe Anforderung an die Beteiligten: Planung, Bauüberwachung, Bauausführung und Labore.

*Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!*

---

