

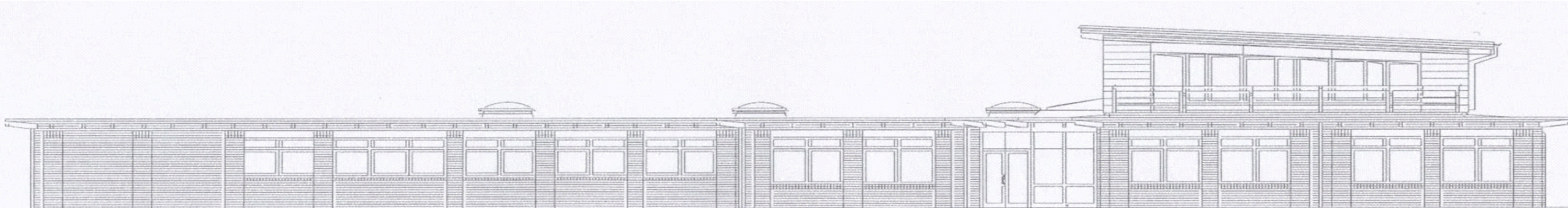
FLC Fehmarnbelt Bauwerkshinterfüllung GB3

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

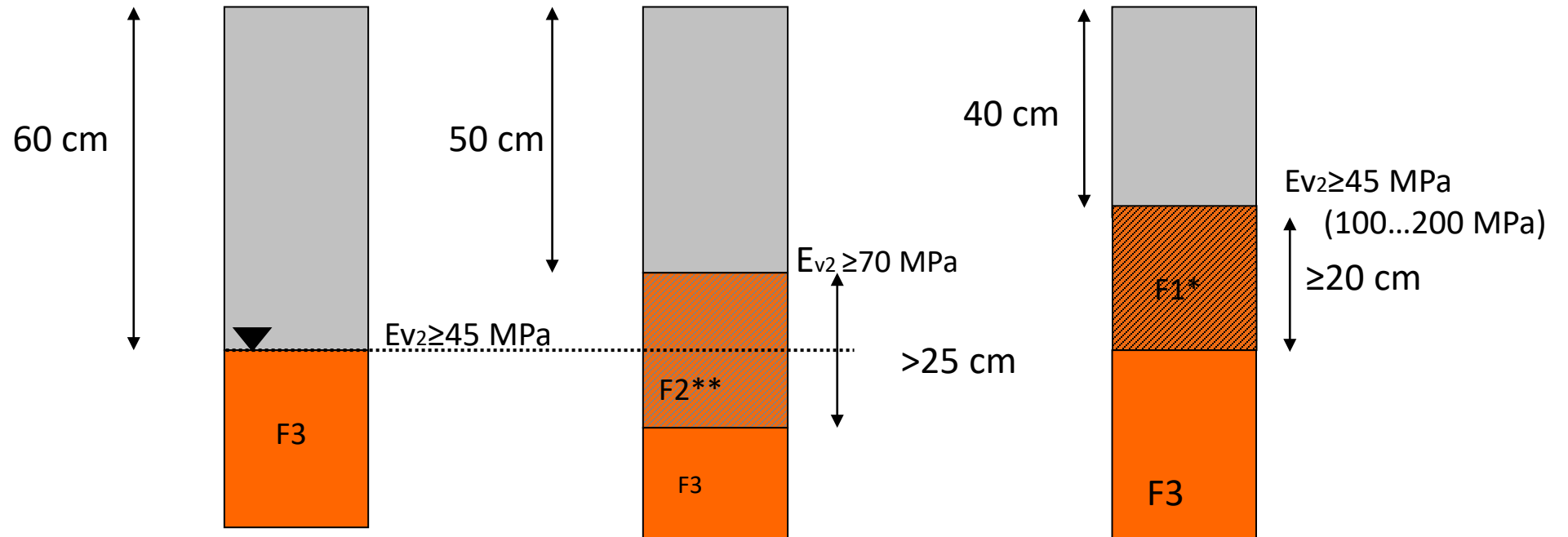
- Dauerhaft tragfähig und frostsicher, kann bis zu 20 cm dem frostsicherem Oberbau angerechnet werden

Verfestigungen nach ZTV Beton-StB

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

Planum: Bodenbehandlung gem. ZTV E StB

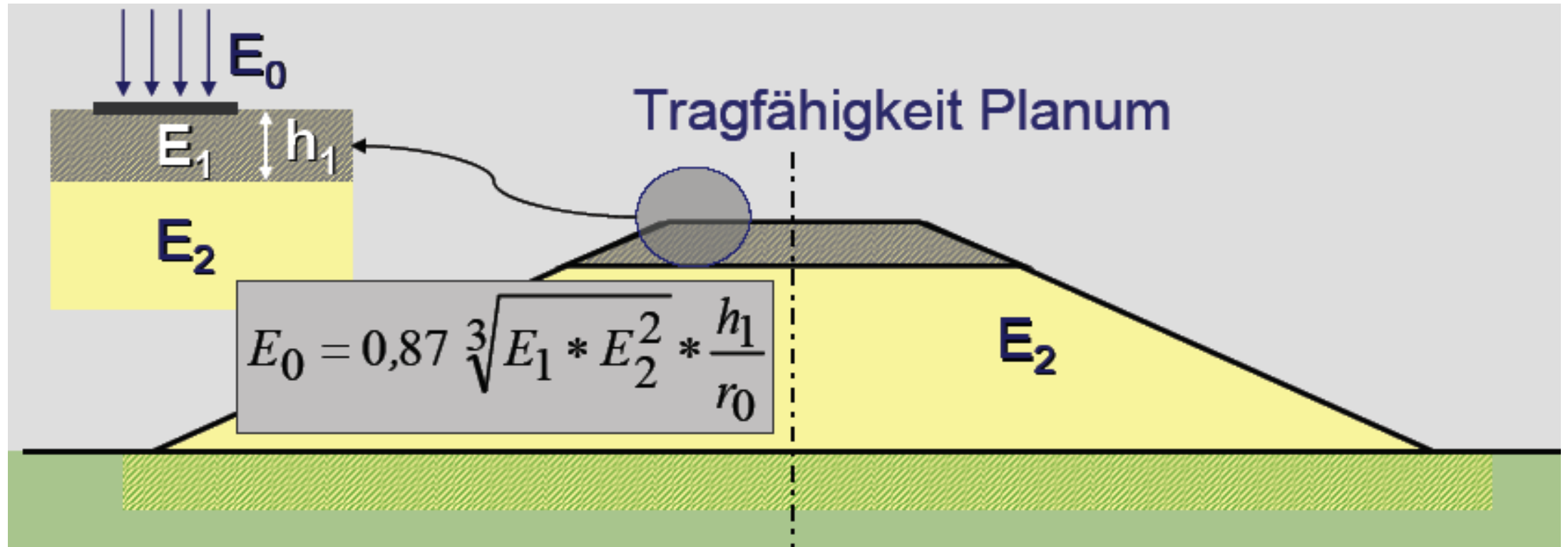
Bsp. Optimierung des frostsicheren Oberbaus mit qualifizierter Bodenverbesserung/Bodenverfestigung im Planum!



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

** qualifizierte Bodenverbesserung

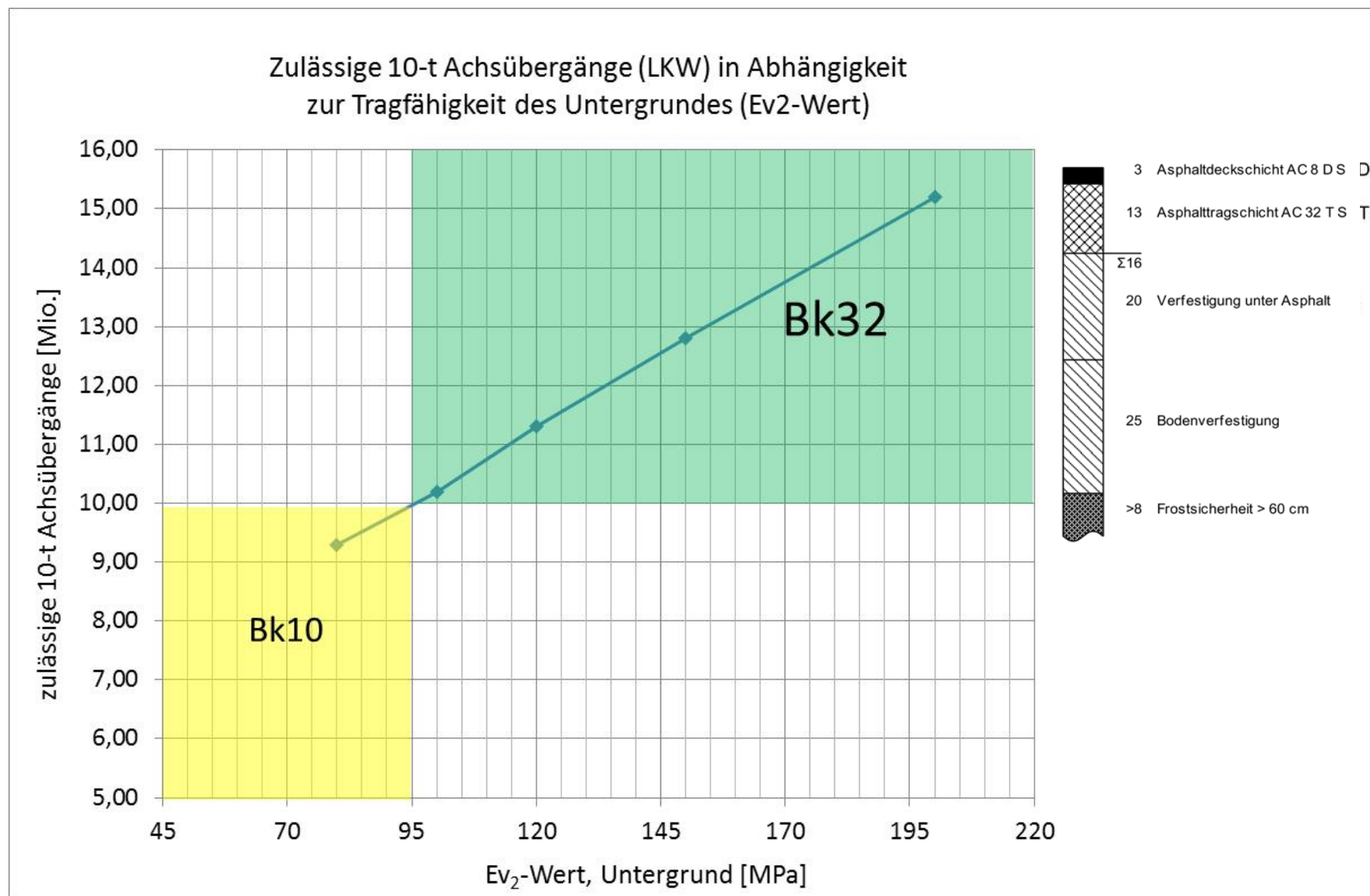
Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung



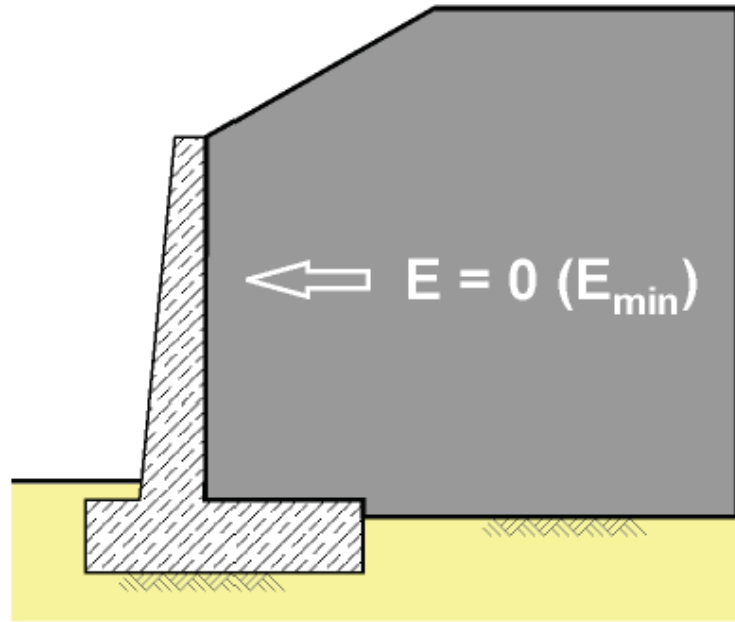
Optimierung der Tragschichten im Oberbau

- Bemessung des Bindemittelbedarfs z.B. nach Verformungsmodul E_{v1}

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' (kN/m^2)

Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung

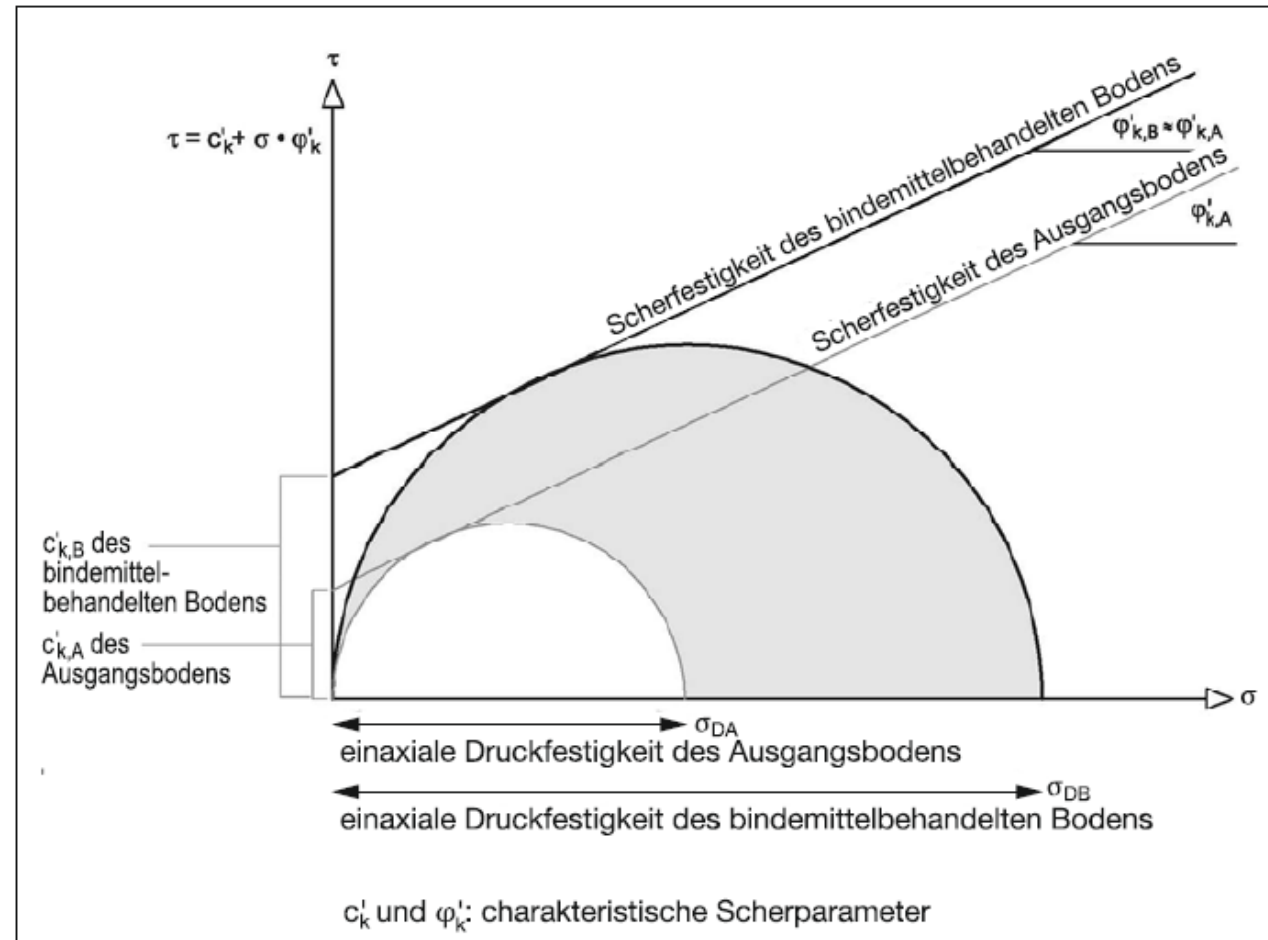


Bild 6: Ermittlung der Scherfestigkeit eines unbehandelten und mit Bindemitteln behandelten Bodens über die einaxiale Druckfestigkeit bei bekanntem Reibungswinkel φ'_k

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

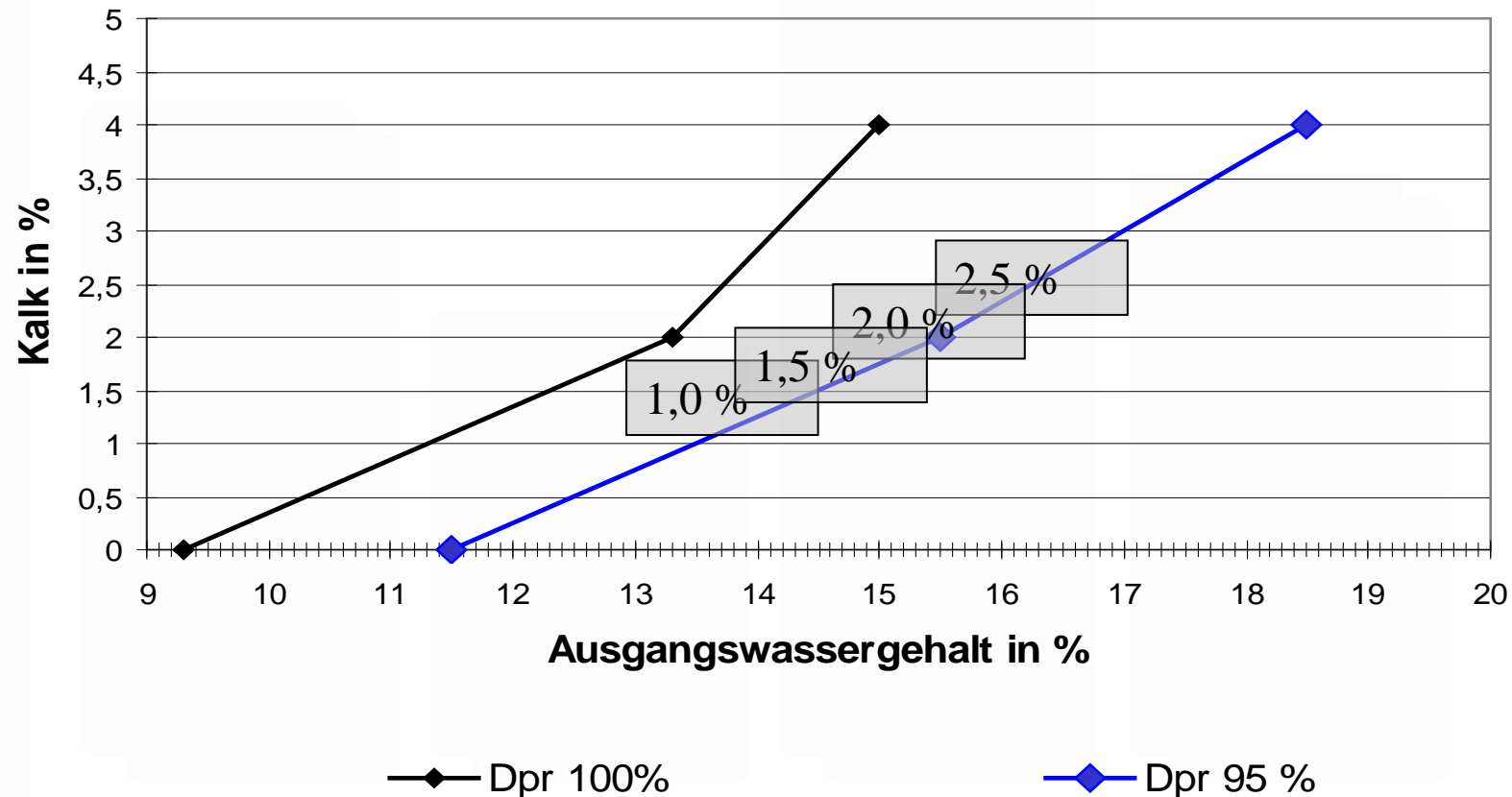
z. B Handelsbeziehung: Terrasol, Multicrete...

Grundlagen: Bodenverbesserung

Ziel: Reduzierung des Wassergehaltes, Ergebnis der Eignungsprüfung:

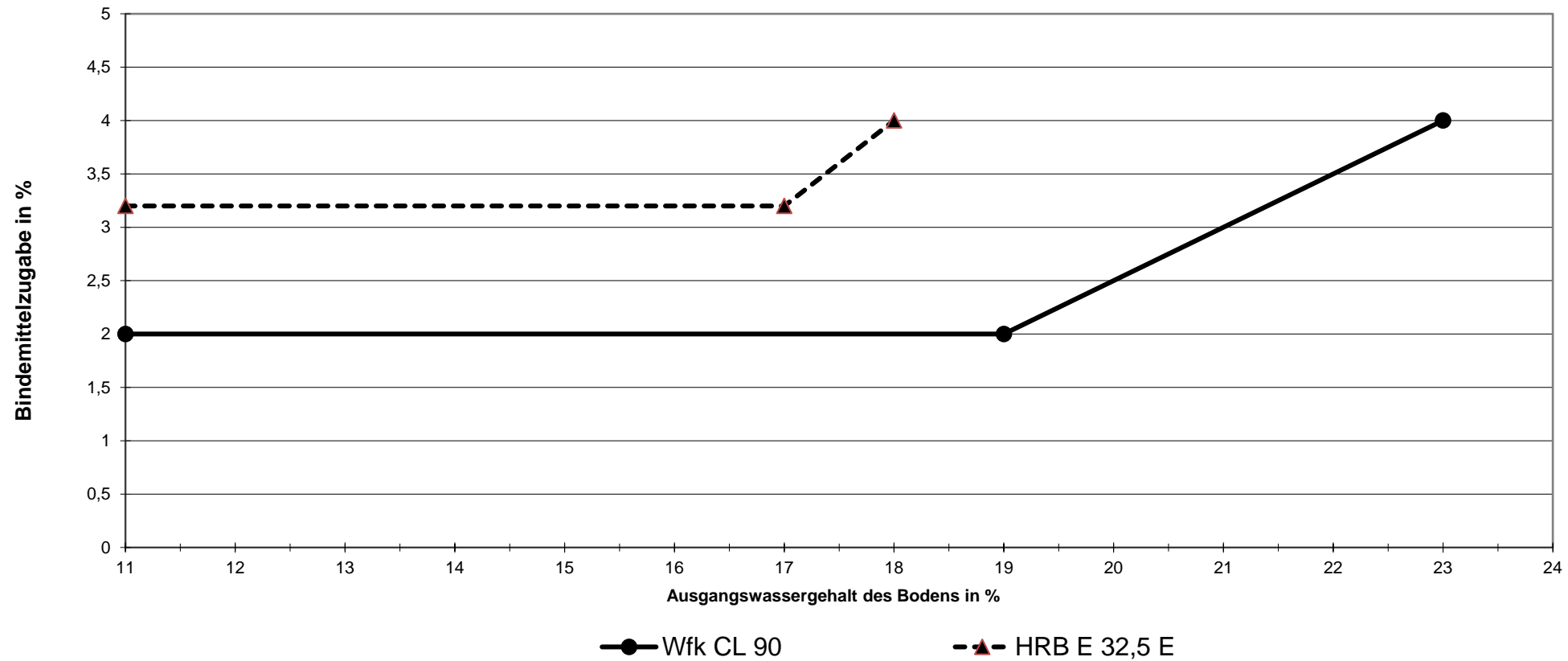
➤ keine „feste“ Rezeptur, sondern in Abhängigkeit Bindemittelausstreumenge vom Ausgangswassergehalt des Bodens

Kalkzugabe für Reduzierung des Wassergehaltes



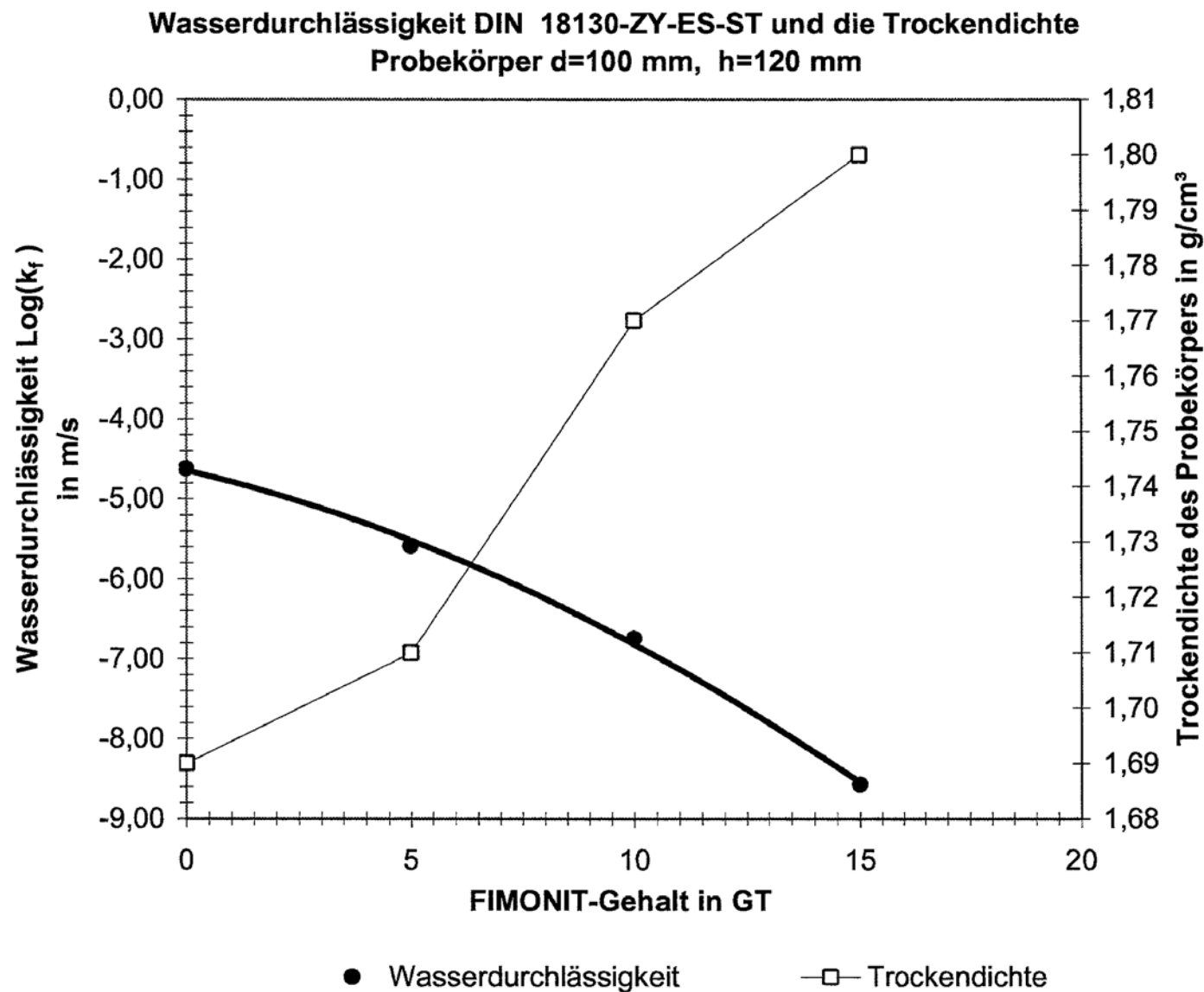
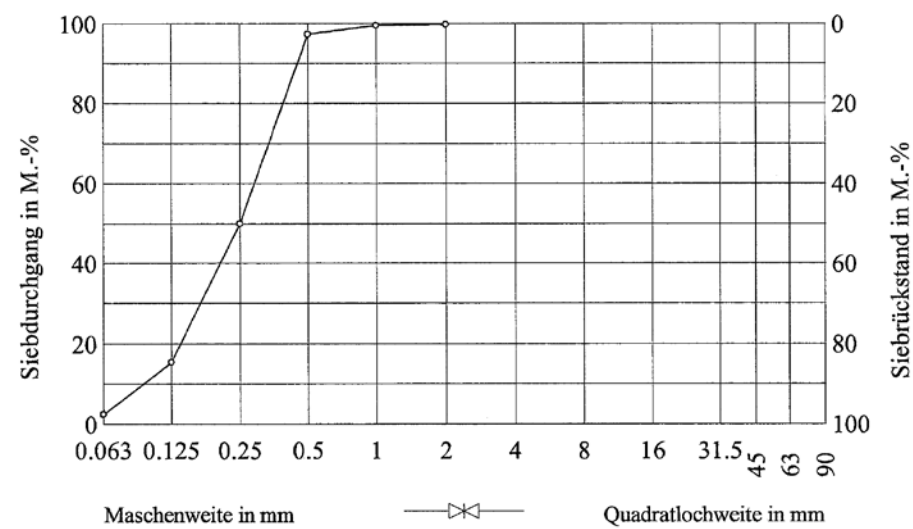
Grundlagen: qualifizierte Bodenverbesserung

Boden OU, Bindemittelbedarf
für Tragfähigkeit $Ev_2 \geq 45$ MPa Verdichtungsgrad ≥ 97 % Dpr



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

Ergebnis:



Ausgangsmaterial für die Herstellung der Hinterfüllung BW GB3

Herkunft:	Aushub aus dem Tunnelportal deutsche Seite
Zwischenlagerung:	ca. 750.000 m ² Bodendepot, Einbau mittels Planierraupen Anforderung: Verdichtungsgrad ≥ 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 72 Proctorversuche 360 Prüfung des Verdichtungsgrades
Bodengruppe:	SU*/UL nach DIN 18196: ausgesprochen wasserempfindlich



TROXLER
The Leader in Construction Testing Equipment

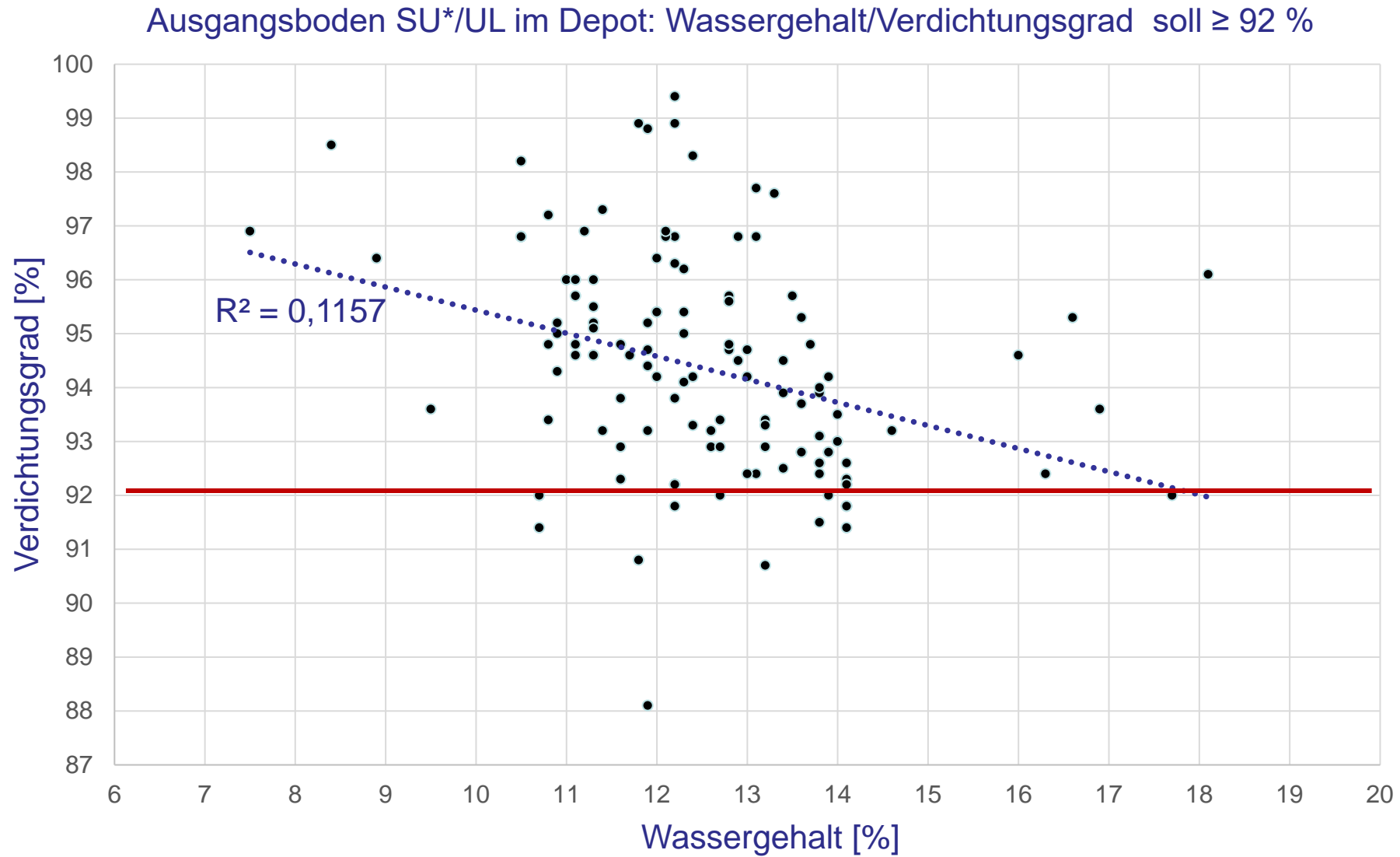
**Troxler Model 3430
and 3440 Moisture
Density Gauges
New! Updated!**

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

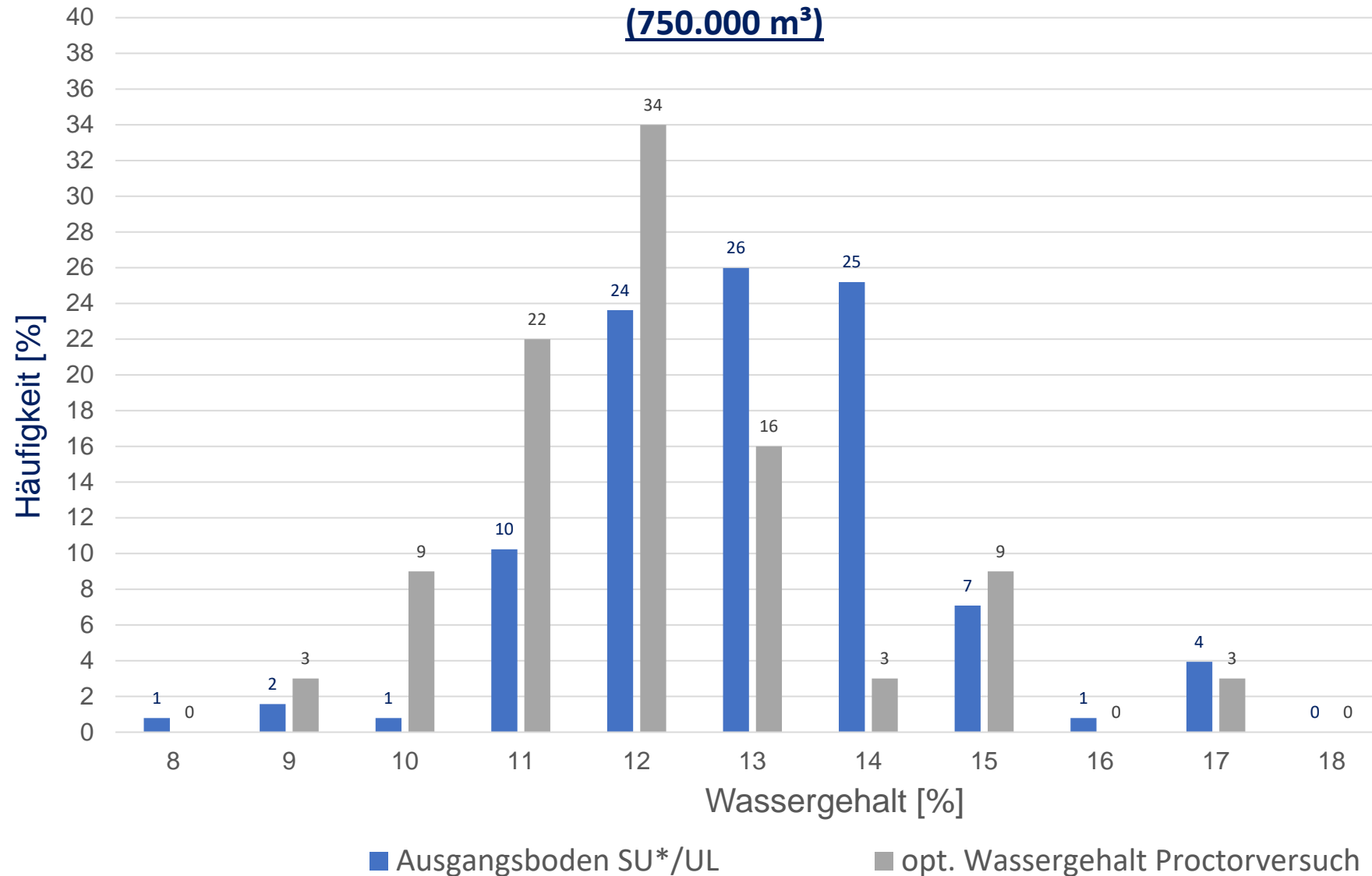
www.troxlerlabs.com

Ausgangsmaterial für die Herstellung der Hinterfüllung



Ausgangsmaterial für die Herstellung der Hinterfüllung für GB3

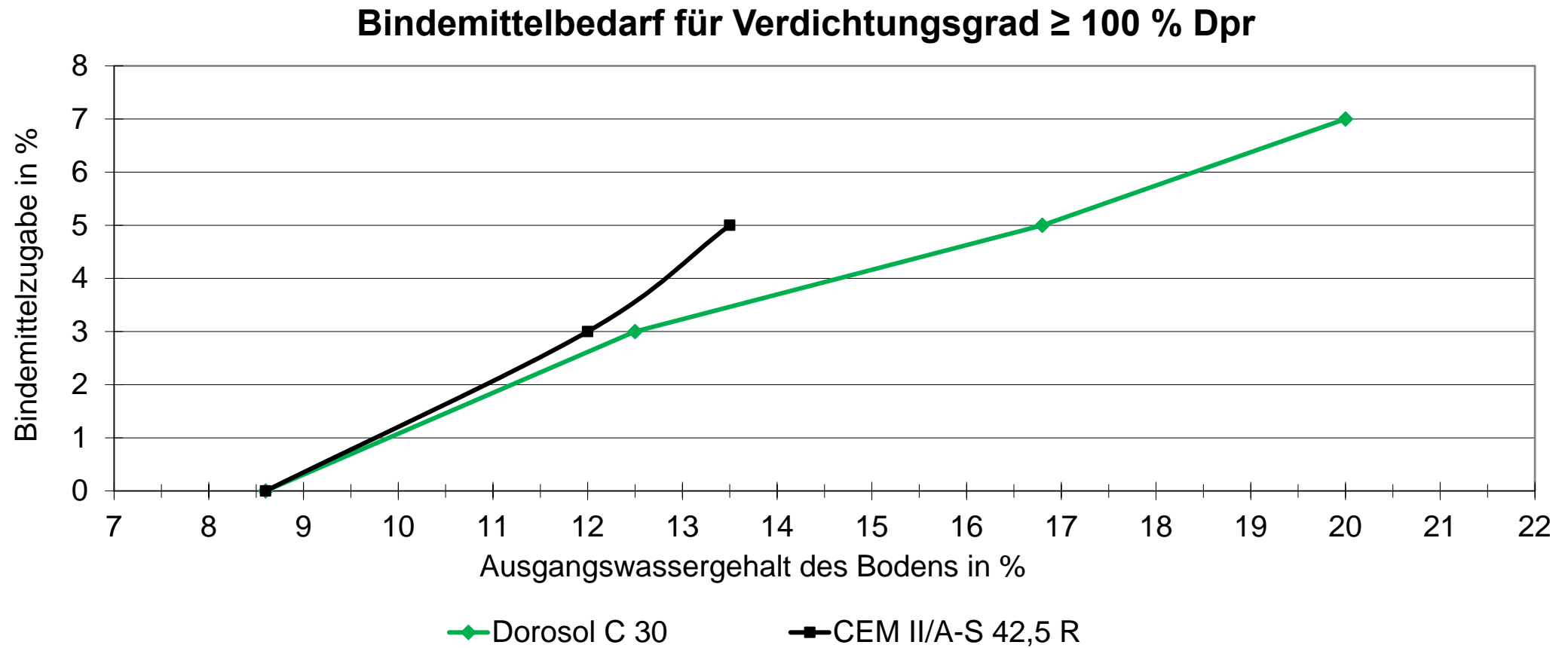
Häufigkeitsverteilung: Wassergehalt Ausgangsboden SU*/UL nach DIN 18196
(750.000 m³)



Eignungsprüfung für qualifizierte Bodenverbesserung für Bauwerk GB 3

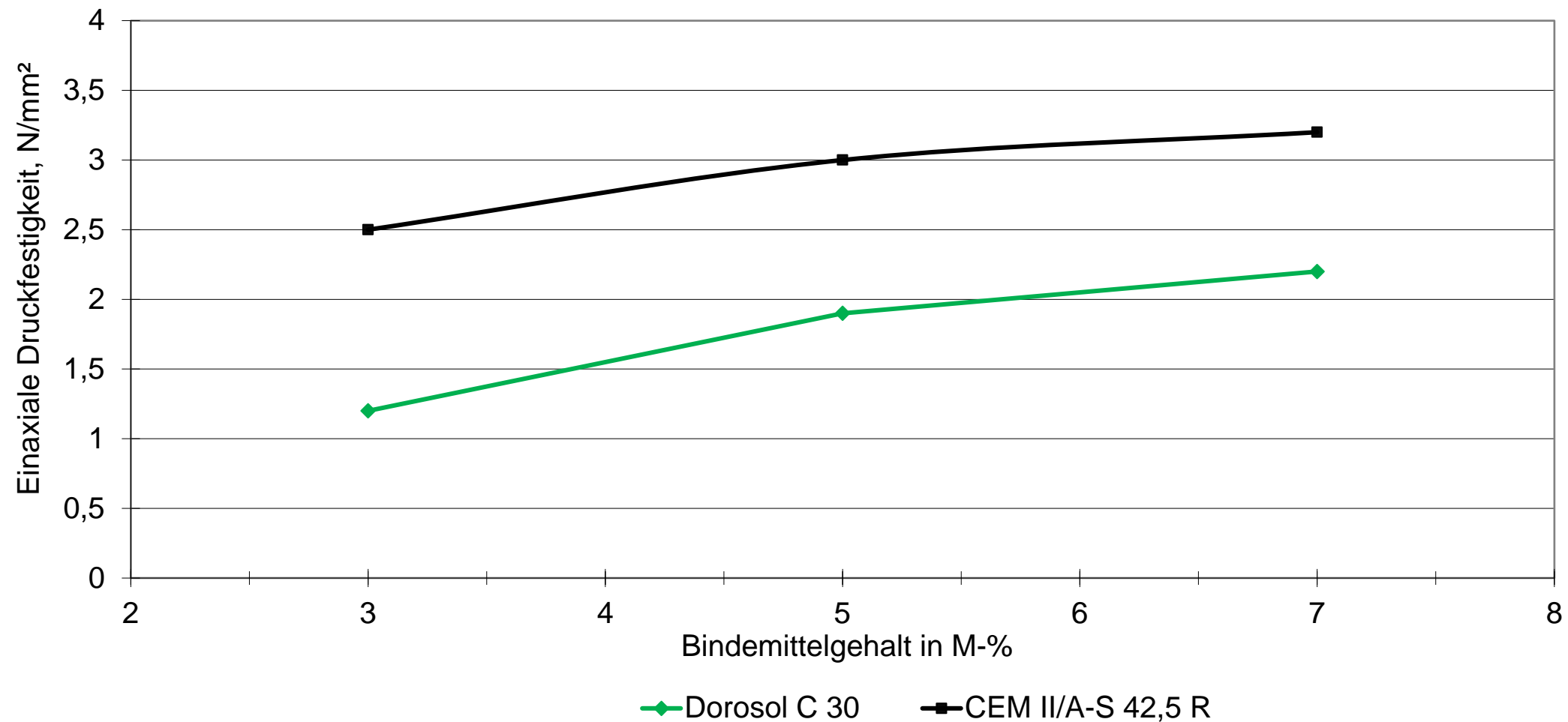
Ziel:	≥0,5 N/mm ² charakteristische Druckfestigkeit im Bauteil ≥ 100 % Verdichtungsgrad (Wiederlagerhinterfüllung) 3 % Mindestbindemittelgehalt
Festlegung der Bindemittelmenge:	für Zielfestigkeit 1 N/mm ²
Bindemittel:	CEM II/A-S 42,5 R Mischbindemittel: 70 % Zement, 30 % Wfk CL90 Handelsbeziehung DOROSOL 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 %	Ausstreumenge für 50 cm Schichtdicke kg/m^2
bis 13	3,0	30,0
13 bis 17	5,0	48,6
17 bis 20	7,0	65,7

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 %	Ausstreumenge für 50 cm Schichtdicke kg/m^2
bis 11,0	3,0	30,1
11,0 bis 12	5,0	49,0
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 ³ /Tag
Anforderung:	Verdichtungsgrad ≥ 100 % Dpr Druckfestigkeit nach 28 Tagen: $\geq 0,5$ N/mm ²
Qualitätssicherung:	tägliche Prüfung des Wassergehaltes, Festlegung des Bindemittelbedarfes Korngrößenverteilung: alle 1000 m ³ Verdichtungsgrad: alle 200 m ² Druckfestigkeit an gesondert hergestellten Probekörper 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



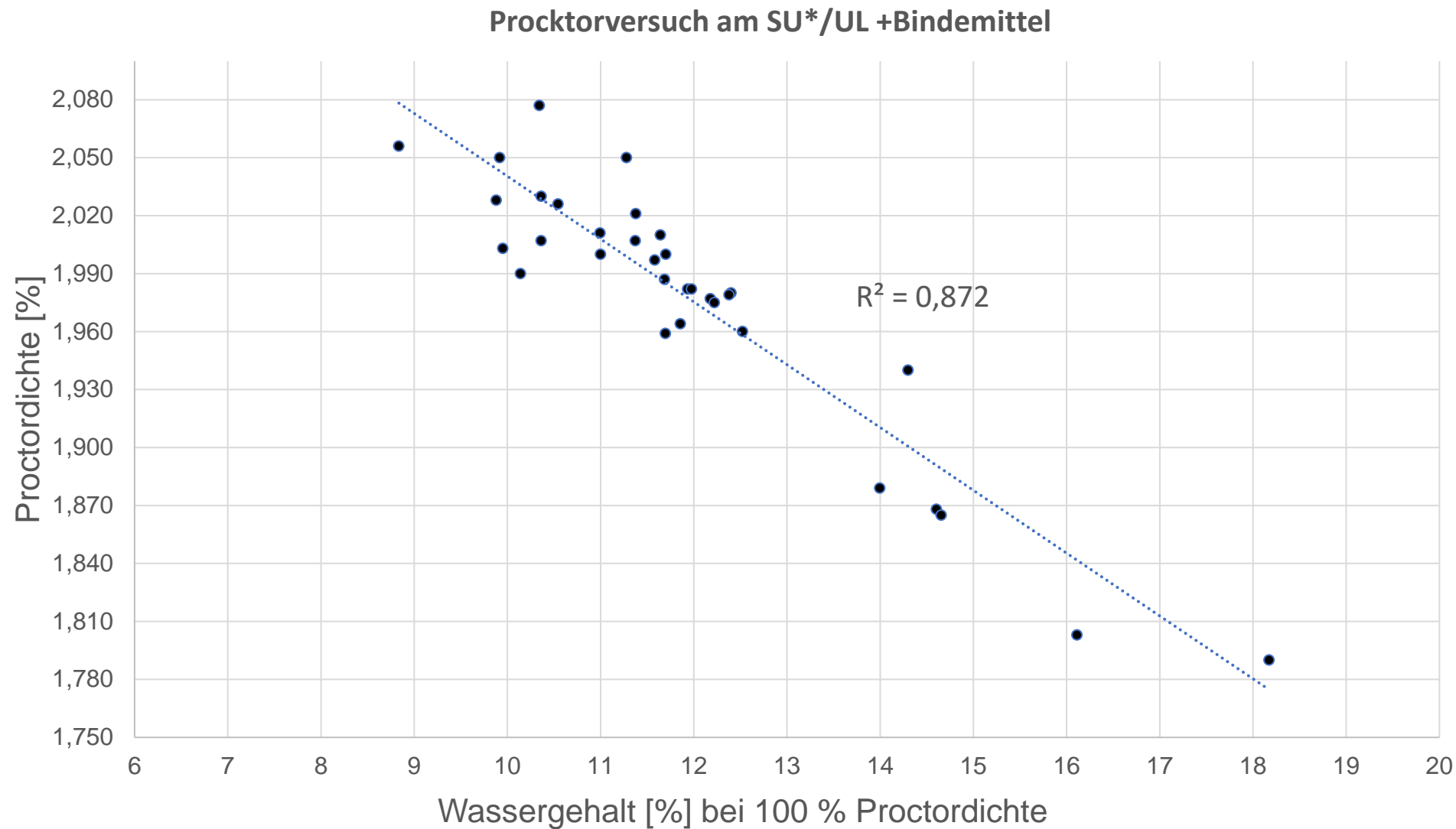
Bauausführung: Boden-Bindemittel-Gemisch Schieben, Laden Fördern



Bauausführung: Einbau in die Hinterfüllung

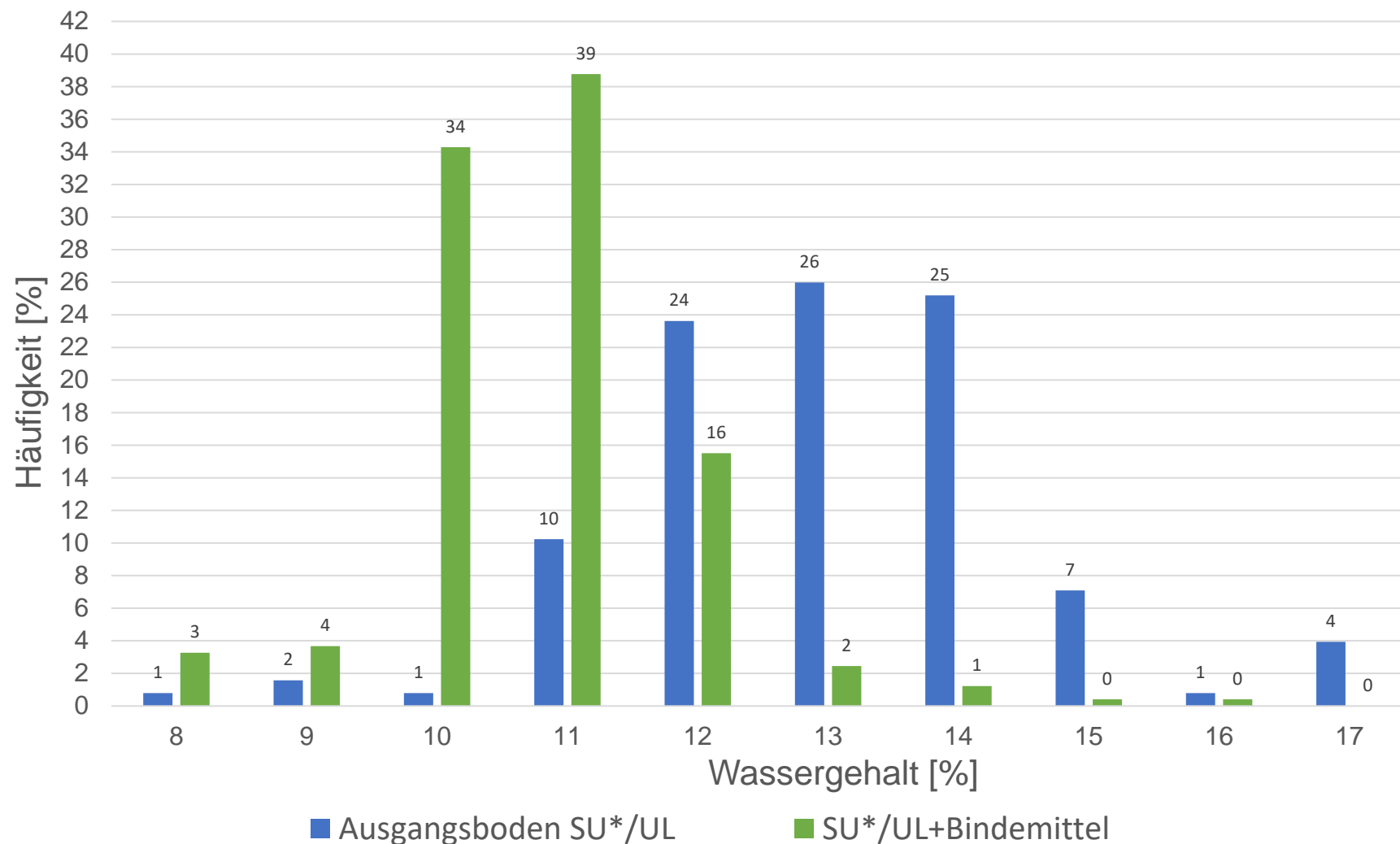


Qualitätssicherung während der Ausführung: Proctorversuche am SU*/UL+Bindemittel



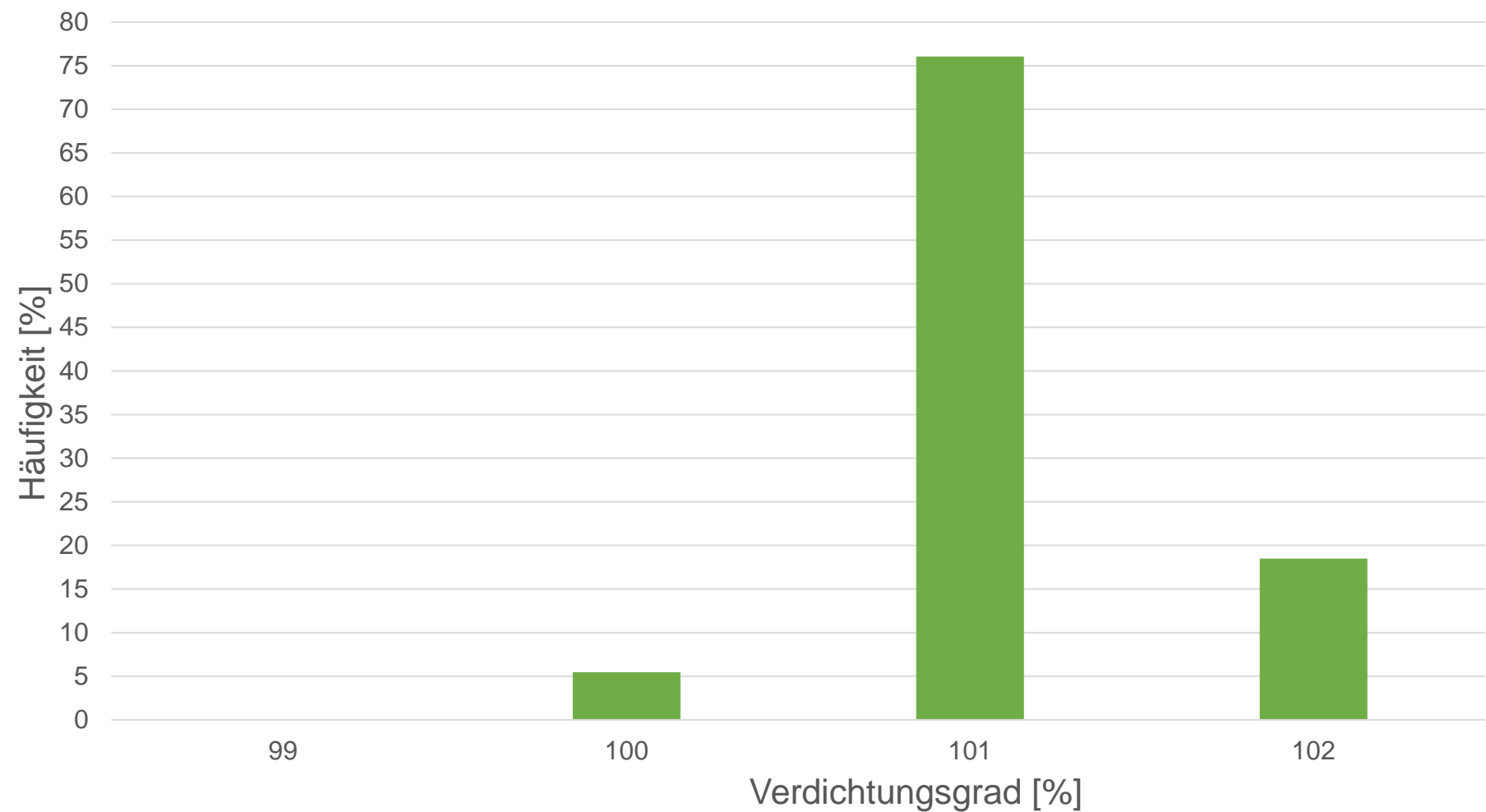
Qualitätssicherung während der Ausführung: Wassergehalt

Häufigkeitsverteilung: Wassergehalt im Vergleich **vor** und **nach** der Bindemittelzugabe



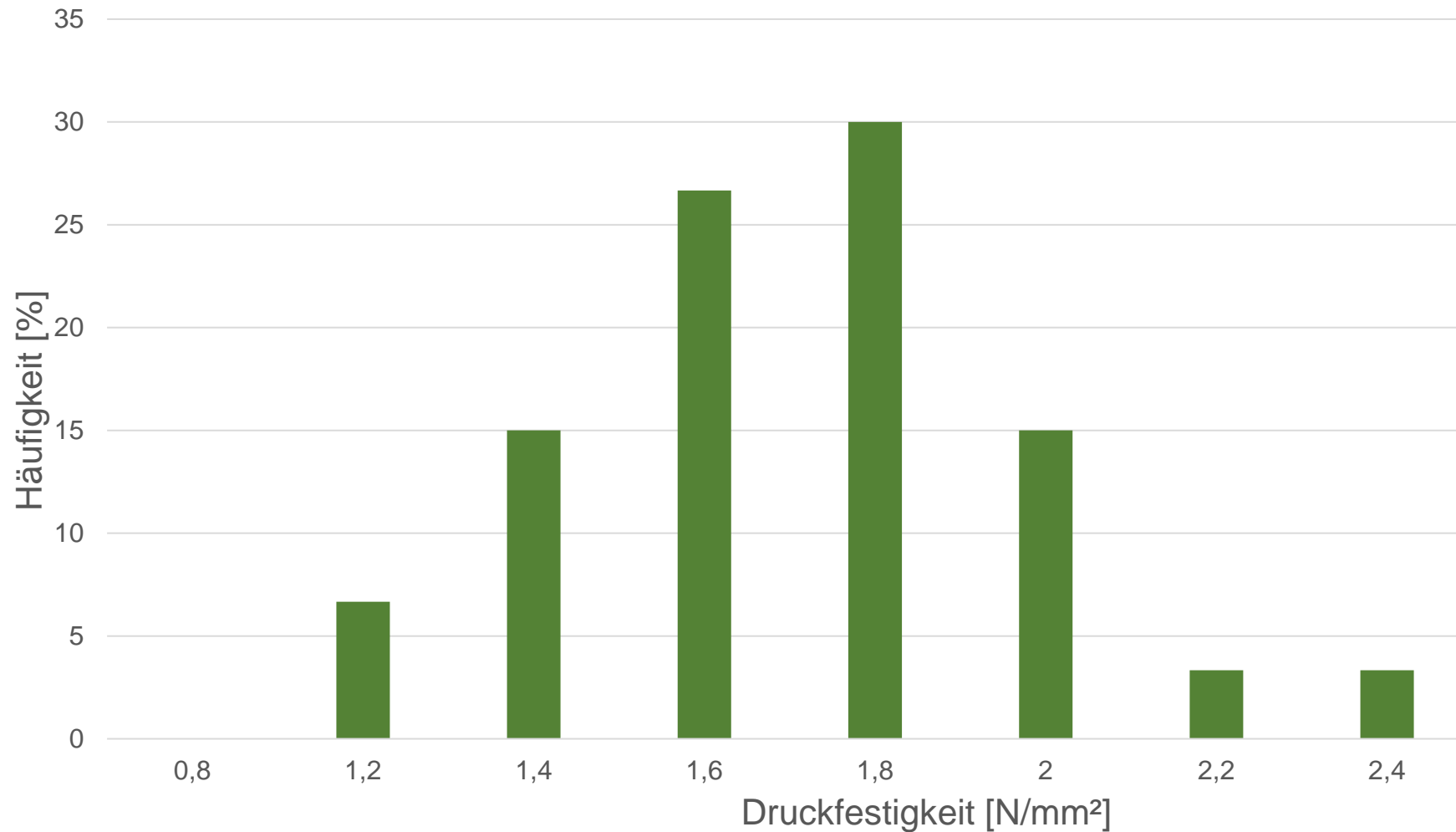
Qualitätssicherung während der Ausführung: Verdichtung

Häufigkeitsverteilung: Verdichtungsgrad Boden-Blindemittelgemisch 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!

