pedo tec

35. Oldenburger Rohrleitungsforum
30. März 2023, Oldenburg

Innovative Kabelverlegetechnik 14

# Vergleich der Verlegeparameter in der herkömmlichen, offenen Bauweise mit der alternativen Verlegung

Dr.-Ing. Norbert Markwardt

## Gliederung

Herkömmliche, offene Bauweise und alternative Verlegung 11 Seiten

Eingebautes Bettungsmaterial mit erhöhten Ton- und Schluffanteilen 3 Seiten

Bodenfeuchteverlauf im Bettungsmaterial 6 Seiten

Bild 1:
Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials in der herkömmlichen, offenen Bauweise

Verdichtung des Bettungs-materials zwischen und neben den Schutzrohren mit kleinen Rüttelplatten **(1. Arbeitsschritt)**; oberhalb der Schutzrohre mit der großen Rüttelplatte **(2. Arbeitsschritt)**

Bild 2:
Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials mit dem Kabelrohrschlitten (KaRoSch)

Dabei wird die Rohrbettung mithilfe der Halbschalen und einer integrierten elektrisch angetriebenen Einheit aus mehreren Vibrationsplatten verdichtet.

Bild 3:
Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials mit KaRoSch und freigelegte Schutzrohre

Verdichtung des Bettungs-materials oberhalb der Schutzrohre wieder mit der großen Rüttelplatte (im Hintergrund zu sehen)

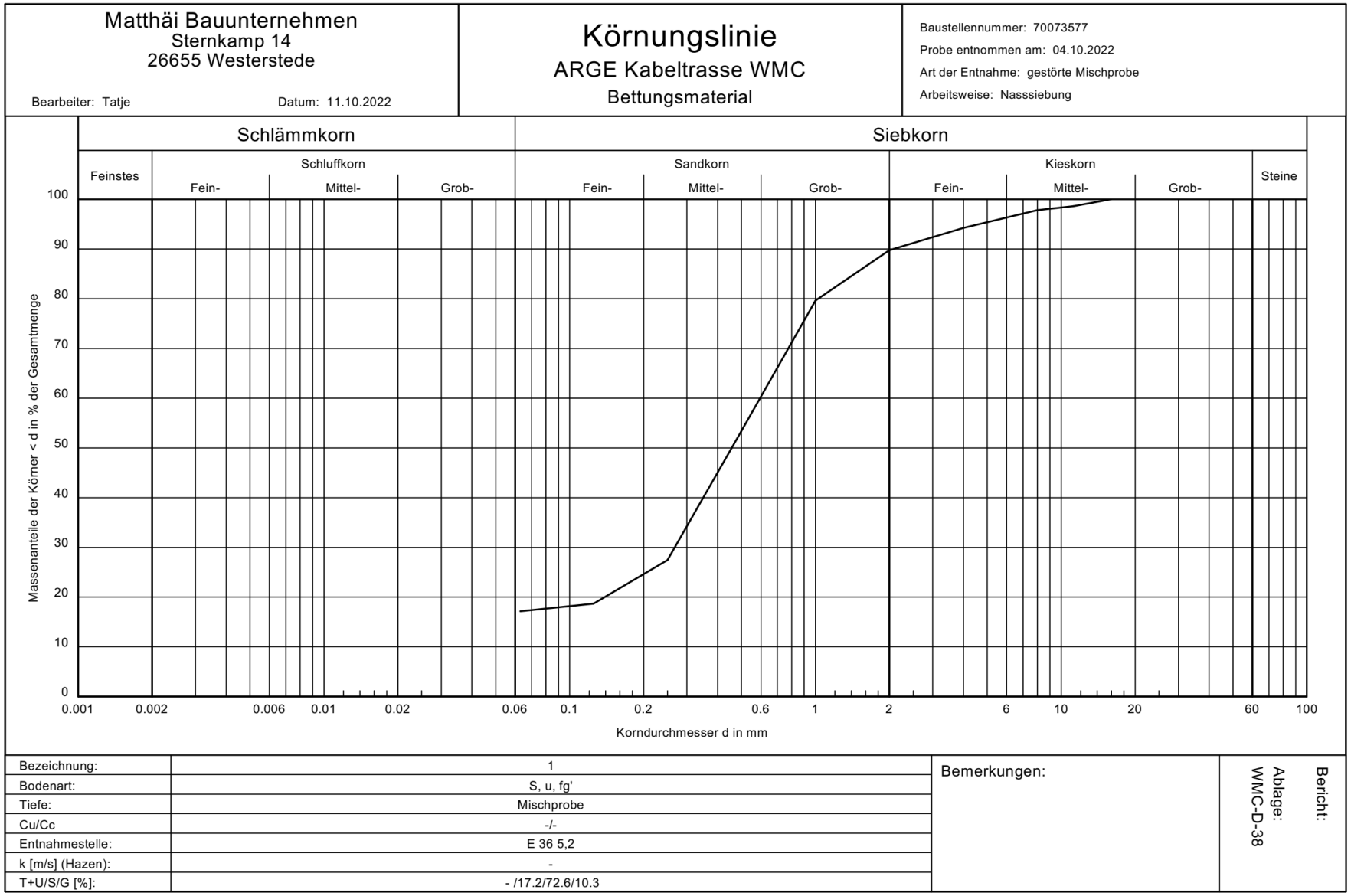
# Maßgebliche Einflussgrößen des Bettungsmaterials auf die Wärmeleitfähigkeit (WLF)

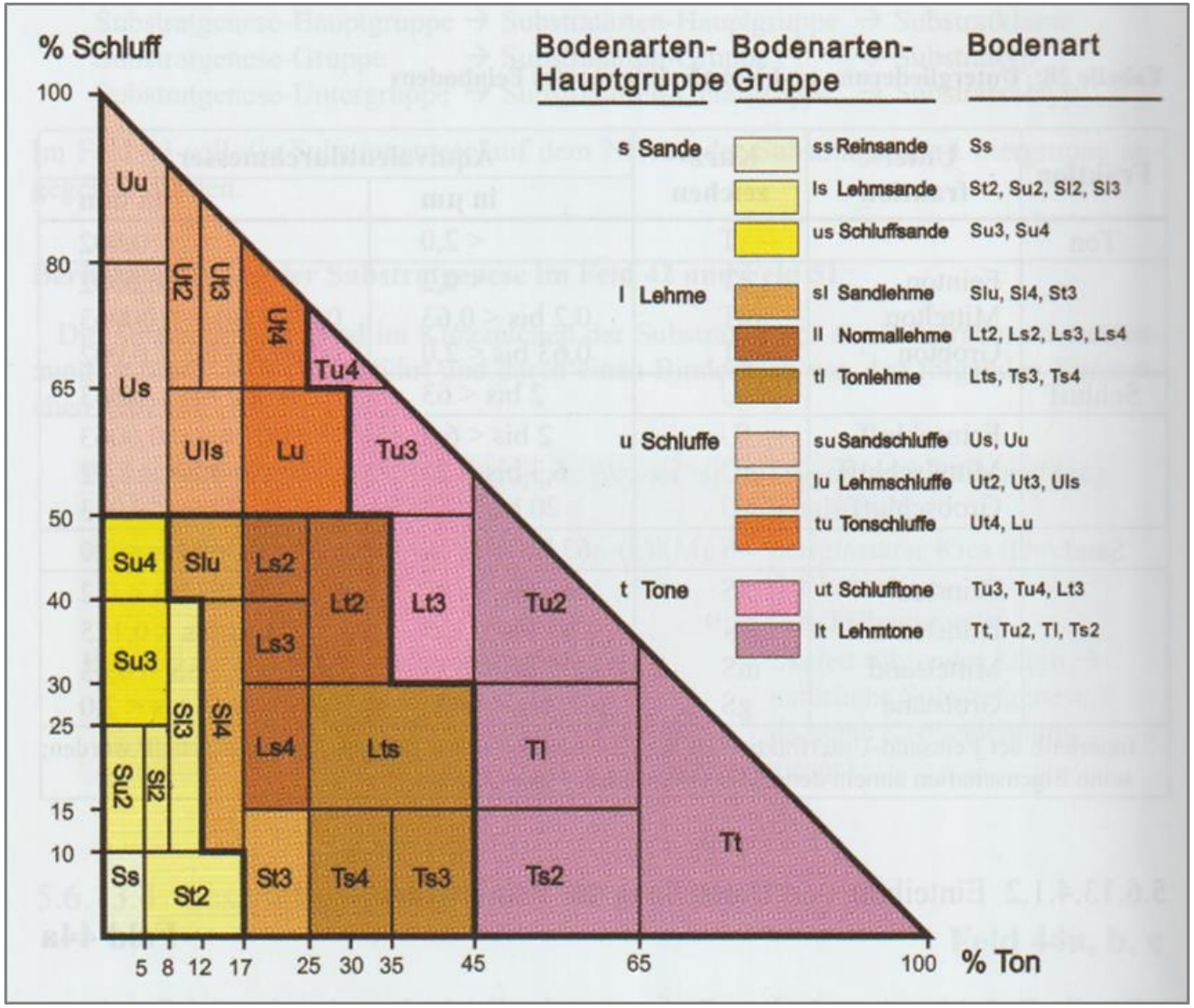
| | |
|---|---|
| Körnung (**T/U/S/G**): | DIN/ISO 11277 |
| Wassergehalte: PWP und FK | DIN/ISO 11274 |
| Trockenrohdichte (TRD): | DIN/ISO 11272 |
| **Proctordichte:** | **DIN 18127** |

Bild 4:
Messung der Wärmeleitfähigkeit (Nadelsensor), Entnahme eines Stech-zylinders und einer Bodenprobe zur Bestimmung der Trockenrohdichte, des Wassergehalts, der Körnung und der Wärmeleitfähigkeit im Labor

Bild 5: Körnungsliniendiagramm mit Angabe der Kornanteile:

| | |
|---|---|
| Ton | **T** |
| Schluff | **U** |
| Sand | **S** |
| Kies | **G** |






z.B.:

**Su2** = schwach schluffiger Sand
**Uls** = sandig lehmiger Schluff

Hinweis:
das Feinbodenartendiagramm berücksichtigt nicht den Kiesanteil

Bild 6: Feinbodenartendiagramm der Bodenkundlichen Kartieranleitung 2005 **(KA5)** **1.**

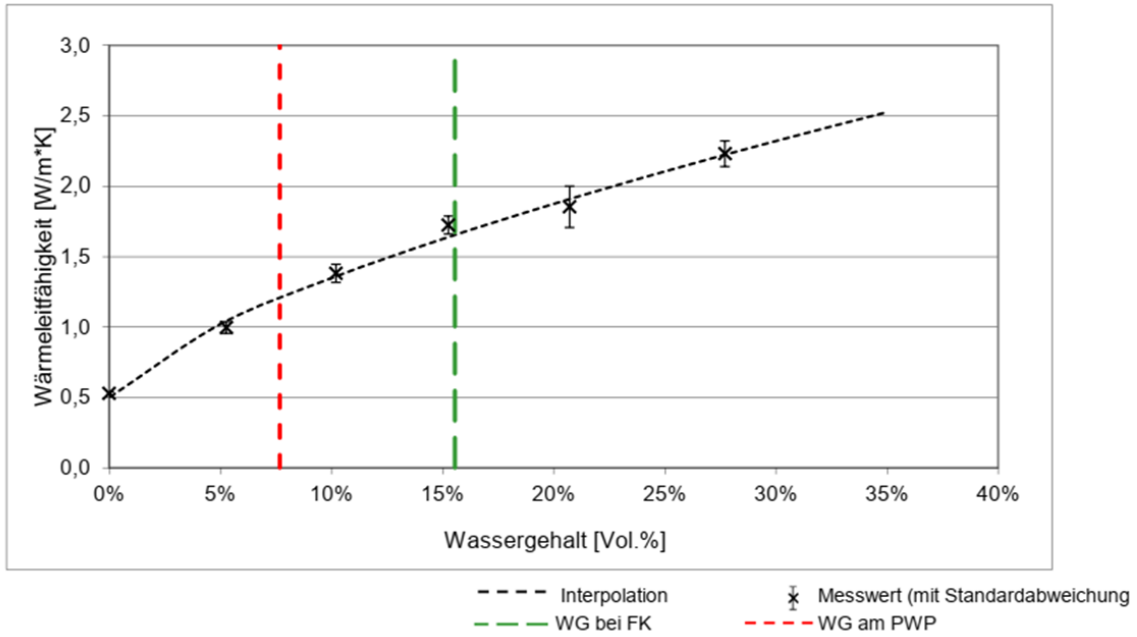
- Der **permanente Welkepunkt PWP** ist gemäß KA5 der Wassergehalt eines Bodens, bei dem landwirtschaftliche Kulturen irreversibel welken. Dieser Wassergehalt kennzeichnet also einen Boden bzw. ein Bettungsmaterial in einem sehr trockenen Zustand. Unter Berücksichtigung der **Trockenrohdichte** (g/cm$^3$) – nachfolgend auch **TRD** genannt – wird der Wassergehalt in **Vol%** (= M% x TRD; s. Seite15) angegeben.
- Die **Feldkapazität FK** ist gemäß KA5 der Wassergehalt eines Bodens, den dieser entgegen der Schwerkraft durch die Bindungskräfte halten kann. Dieser Wassergehalt kennzeichnet also einen Boden bzw. in diesem Fall das Bettungsmaterial in einem feuchten Zustand.

Bild 7: Auswerteprotokoll zur Bestimmung der wassergehalts-abhängigen Wärmeleitfähigkeit WLF eines Bettungsmaterials

**Hinweis:**
WG und WLF im Bereich von PWP bis FK!

Rot markiert sind die Wärmeleitfähigkeiten bei den o.g. Werten des Permanenten Welkepunkts (PWP) und grün markiert die Werte bei der Feldkapazität (FK).

**Ausschnitt**




**Keller &Trinks GbR**
Bodenthermisches Labor Krohnhorst

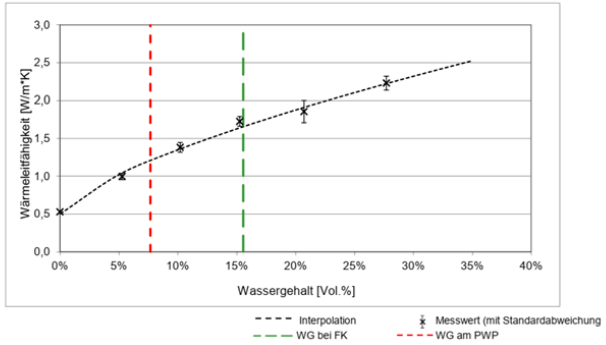
Ort Krohnhorst 4
17268 Gerswalde

Auftraggeber: Tennet
Projekt: WMC

Lieferung und Nr.: 13_2022_4
Datum Eingang: 12. Aug. 2022
Datum Fertigstellung: 14. Sep. 2022

**Auswertung - Messung der Wärmeleitfähigkeit**

**Probe:** **WMC MP E 24**




**Messergebnisse**

| θ | λ | s |
|---|---|---|
| 0,0% | 0,53 | 0,01 |
| 5,3% | 1,00 | 0,04 |
| 10,2% | 1,38 | 0,06 |
| 15,3% | 1,72 | 0,06 |
| 20,7% | 1,85 | 0,15 |
| 27,7% | 2,23 | 0,09 |

| | | |
|---|---|---|
| **TRD:** | 1,78 | g/cm³ |
| **GPV:** | 32,8% | Vol% |
| **Bodenart:** | Sl2/ | |
| **Sand:** | 72,1% | Masse% |
| **Schluff:** | 12,1% | Masse% |
| **Ton:** | 4,9% | Masse% |
| **Grobkorn:** | 10,9% | Masse% |

| | θ (Vol.%) | λ (W/m*K) |
|---|---|---|
| **FK:** | 15,6% | 1,65 |
| **PWP:** | 7,7% | 1,20 |

θ - Wassergehalt [Vol.%]
λ - Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]
s - Standardabweichung von vier Wiederholungen
Einstufung der Bodenart anhand der Partikelgrößen nach KA5
TRD - Trockenrohdichte
GPV - Gesamtporenvolumen
FK - Wassergehalt bei Feldkapazität (feuchter Boden)
PWP - Wassergehalt am permanenten Welkepunkt (trockener Boden)

| **Wassergehalt** [Vol.%] | 0% | 5% | 10% | 15% | 25% | 33% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Wärmeleitfähigkeit** [W/m*K] | 0,48 | 1,02 | 1,35 | 1,62 | 2,10 | 2,44 |

Bild 8: Trockenrohdichten und Wärmeleitfähigkeiten beim permanenten Welkepunkt des konventionell eingebauten Bettungsmaterials

**T+U**: 11-35 Masse%

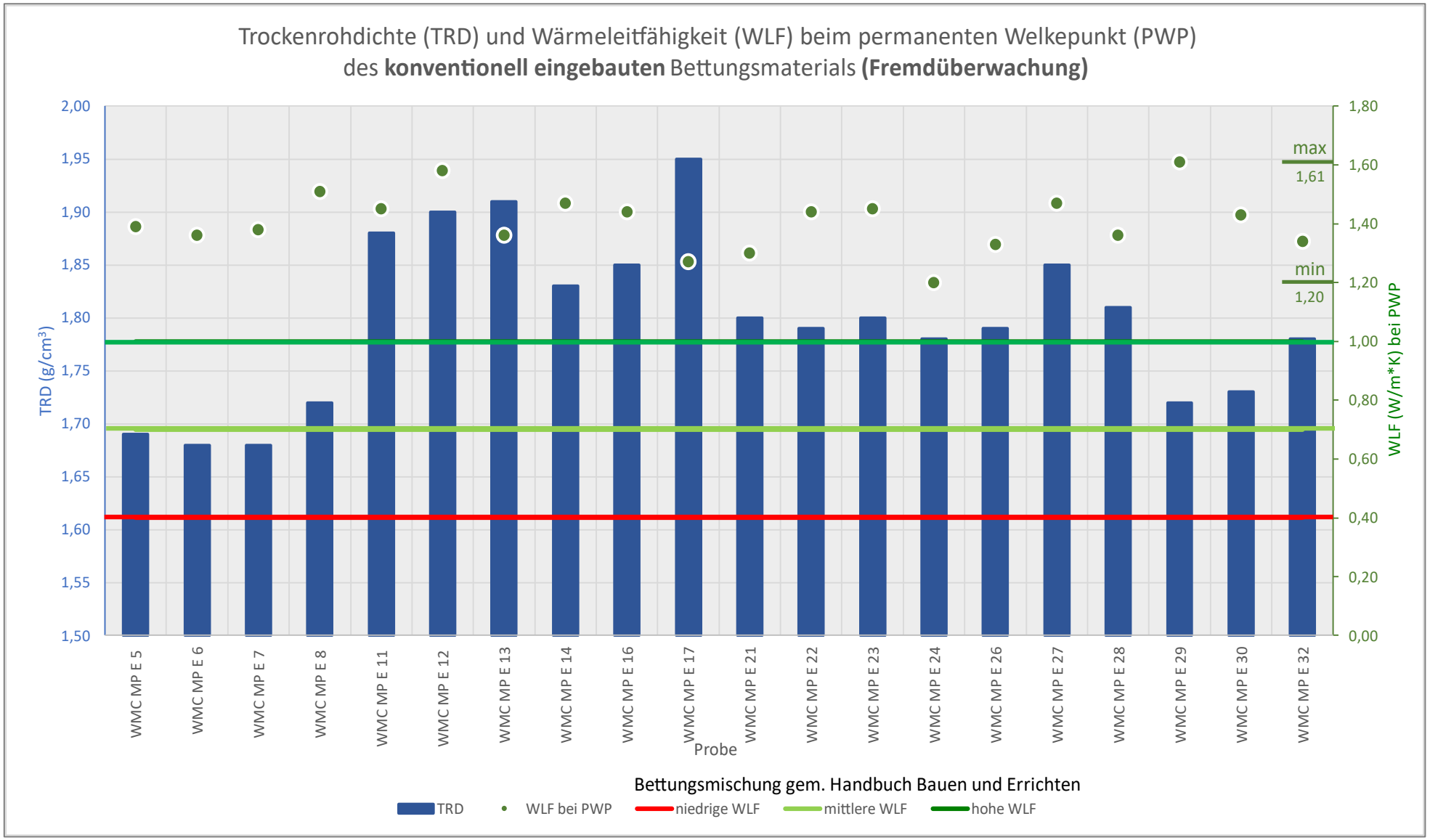
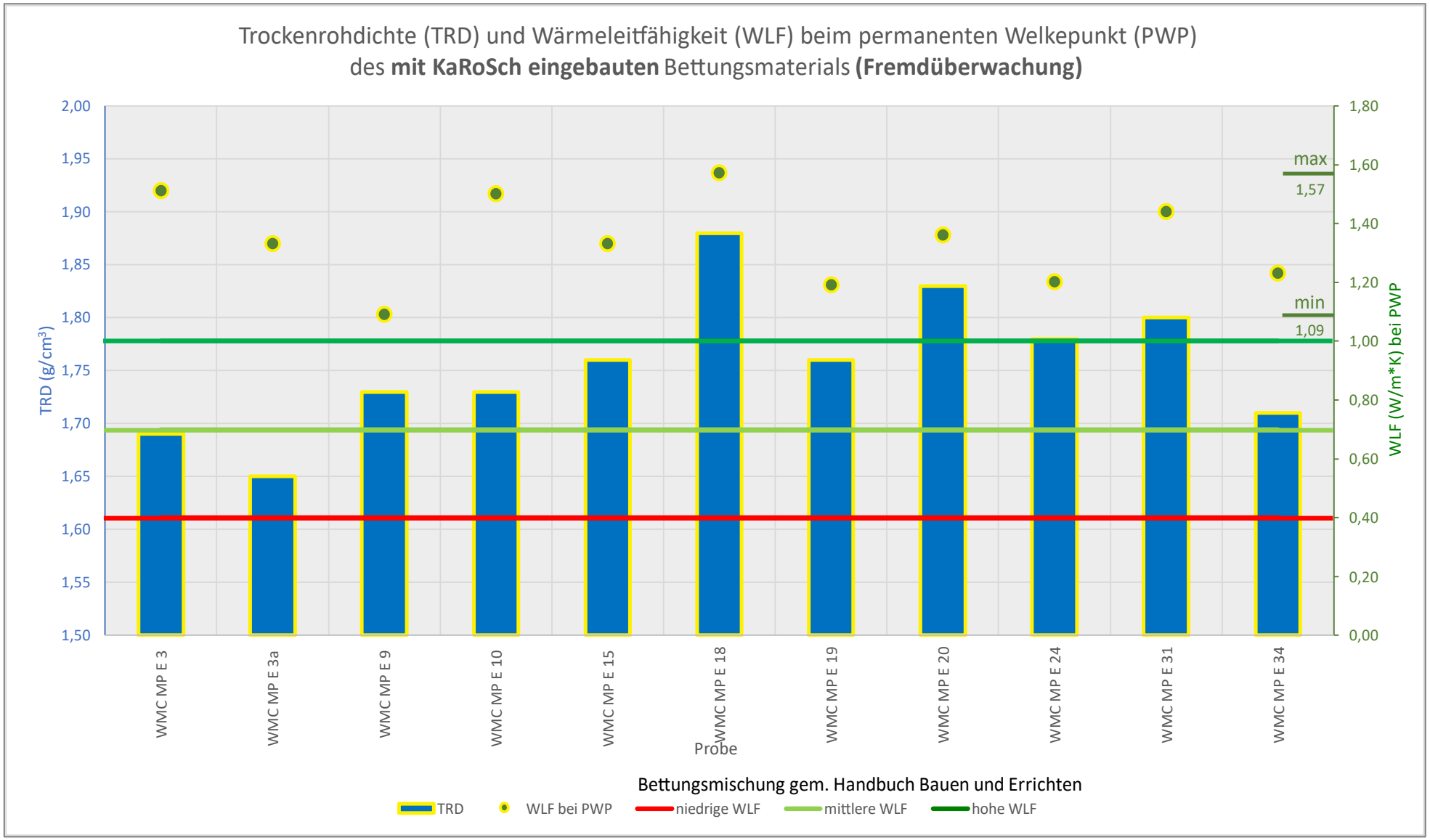


Bild 9: Trockenrohdichten und Wärmeleitfähigkeiten beim permanenten Welkepunkt des mit KaRoSch eingebauten Bettungsmaterials

**T+U**: 11-35 Masse%



- Vergleichbare Wärmeleitfähigkeiten für die herkömmliche offene Bauweise und die alternative Verlegung mit KaRoSch
- Aktuell erfolgt eine ausführliche Auswertung aller von der Fremd- und Eigenüberwachung gemessenen Verlegeparameter (Trockenrohdichten, **Proctordichten**, Körnungslinien und Wärmeleitfähigkeiten) für eine abschließende Bewertung.

# Partikelgrößenverteilung

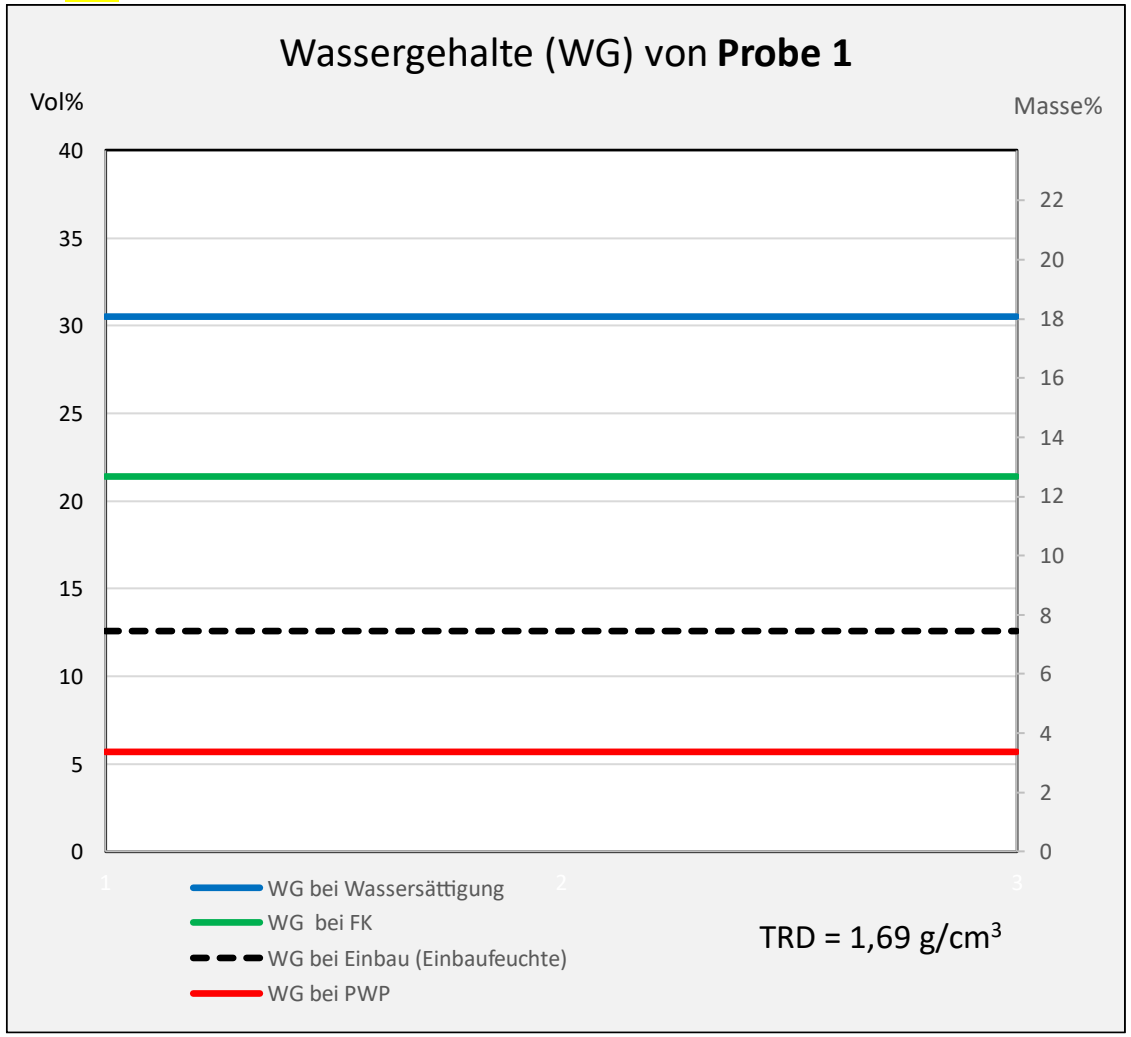
| Probe | Ton < 0.002 | Schluff 0,002 - 0.063 | Feinsand 0.063-0.2 | Mittelsand 0.2-0.63 | Grobsand 0.63-2.0 | Sand gesamt | Bodenart (nach KA5) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (Masse %) | | | | | | |
| Probe 1 | 3,3 | 23,1 | 30,9 | 34,4 | 8,3 | 73,6 | Su2 |
| Probe 2 | 8,4 | 55,0 | 25,6 | 8,8 | 2,3 | 36,7 | Uls |

# Partikelgrößenverteilung bezogen auf den Gesamtboden

| Probe | **Ton < 0.002** | **Schluff 0,002 - 0.063** | Feinsand 0.063 - 0.2 | Mittelsand 0.2 - 0.63 | Grobsand 0.63 - 2.0 | **Sand gesamt** | **Kies > 2.0 mm** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (Masse %) | | | | | | |
| Probe 1 | 3,3 | 22,5 | 30,2 | 33,6 | 8,1 | 71,8 | 2,4 |
| Probe 2 | 8,3 | 54,5 | 25,3 | 8,7 | 2,2 | 36,3 | 0,9 |

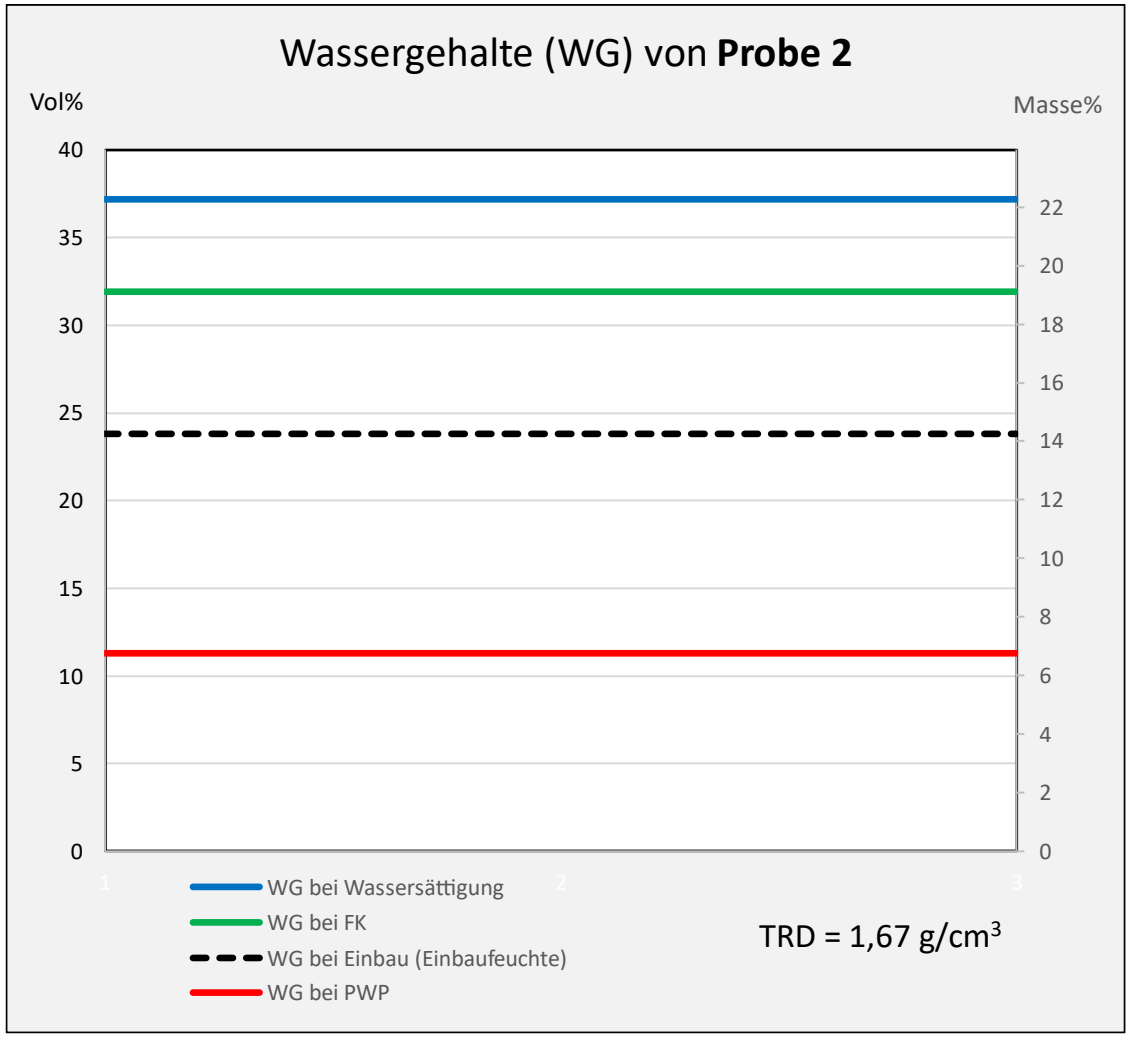
Bild10: Probe 1: T+U = 26 Masse %

**2.**

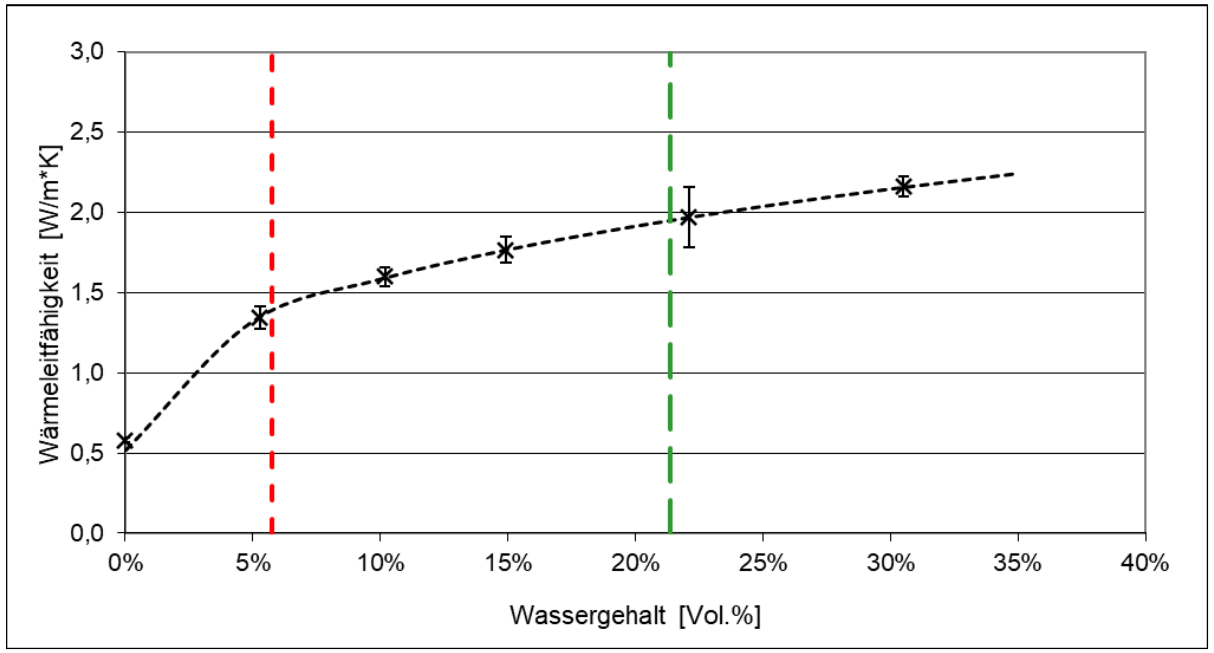



Probe 2: T+U = 63 Masse %

Achtung: Einbaufeuchte!



## Bild 11: Probe 1



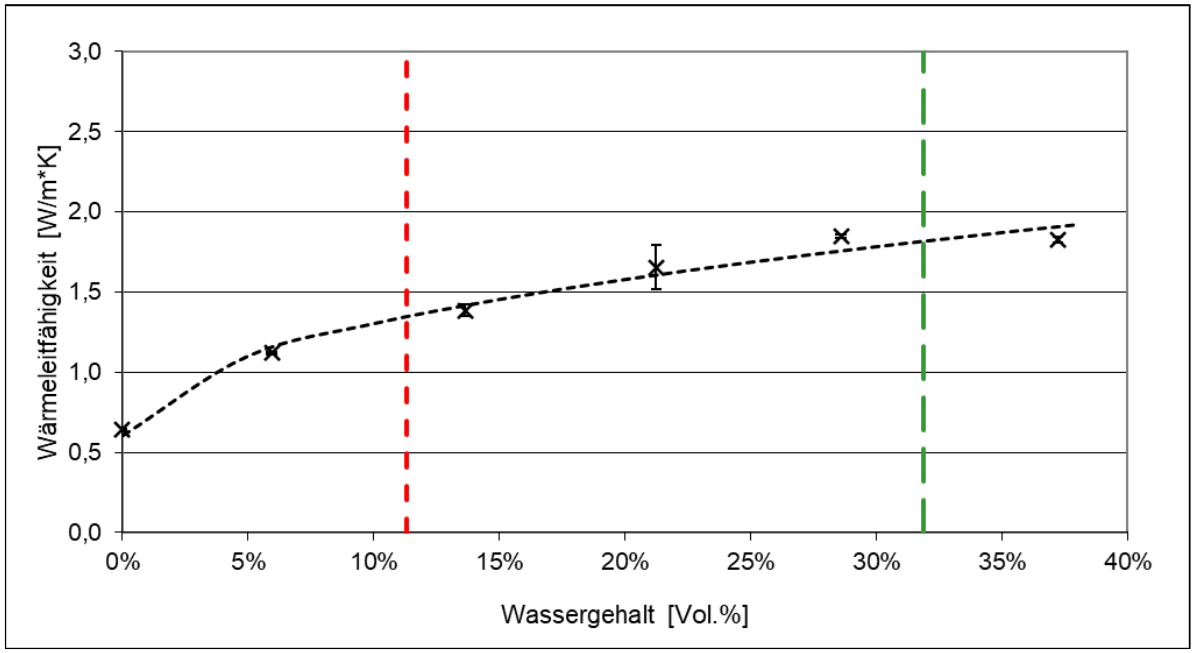

Interpolation
Messwert (mit Standardabweichung
WG bei FK
WG am PWP

| | | |
|---|---|---|
| **TRD:** | 1,69 | g/cm³ |
| **GPV:** | 36,1% | Vol% |
| **Bodenart:** | Su2 | |
| **Sand:** | 71,8% | Masse% |
| **Schluff:** | 22,5% | Masse% |
| **Ton:** | 3,3% | Masse% |
| **Grobkorn:** | 2,4% | Masse% |

| | **θ** (Vol.%) | **λ** (W/m*K) |
|---|---|---|
| **FK:** | 21,4% | 1,95 |
| **PWP:** | 5,7% | 1,37 |

θ - Wassergehalt [Vol.%]
λ - Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]

## Bild 12: Probe 2




Interpolation
Messwert (mit Standardabweichung
WG bei FK
WG am PWP

| | | |
|---|---|---|
| **TRD:** | 1,67 | g/cm³ |
| **GPV:** | 37,2% | Vol% |
| **Bodenart:** | Uls | |
| **Sand:** | 36,3% | Masse% |
| **Schluff:** | 54,5% | Masse% |
| **Ton:** | 8,3% | Masse% |
| **Grobkorn:** | 0,9% | Masse% |

| | **θ** (Vol.%) | **λ** (W/m*K) |
|---|---|---|
| **FK:** | 31,9% | 1,82 |
| **PWP:** | 11,3% | 1,35 |

θ - Wassergehalt [Vol.%]
λ - Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]

Bild 13:
Anordnung der Sensoren (S1-S8) zur Messung der Bodenfeuchte und der Bodentemperaturen (Angaben in cm):

S1-S3: im Bettungsmaterial
S4-S5: oberhalb des Bettungsmaterials

S6-S8: seitlich des Bettungsmaterials

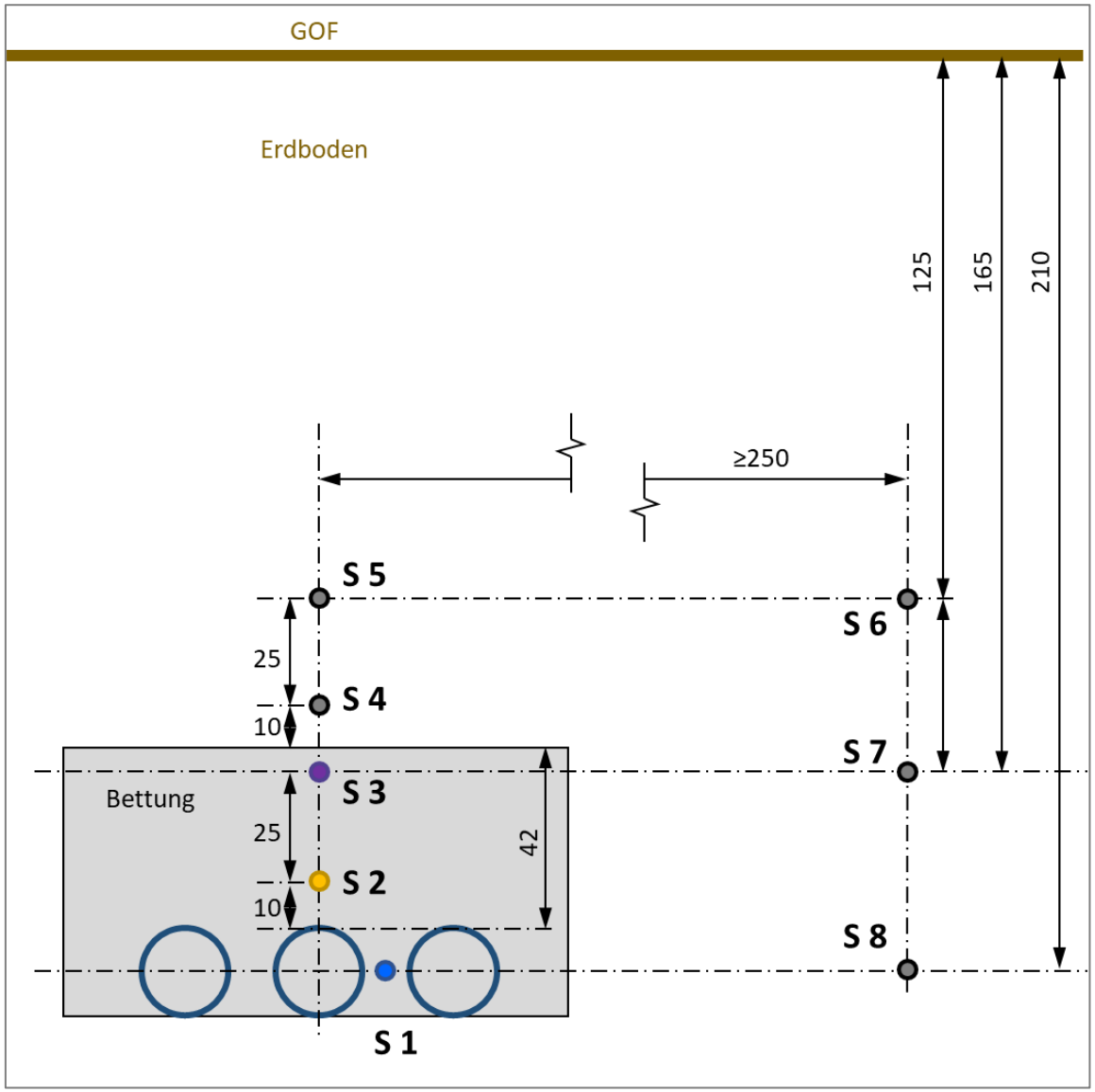


Bild 14:
Sensor 1 zwischen den Schutzrohren 2 und 3

Einbau der Sensoren im Dezember 2021

Bild 15:
Verfüllen/Abdichten der Verteilerbox für die 8 Kabel mit Vergussmasse

Bild 16:
Sensordaten (S1-S3) der Bodenfeuchte vom 15.03. bis 15.10.2022 im Bereich des Bettungsmaterials sowie Laborwerte der Feldkapazität (FK) und des permanenten Welkepunkts (PWP) in Vol% an diesem Standort

Allmähliche Abnahme der Bodenfeuchte im Bettungsmaterial; geringste Bodenfeuchte ist deutlich größer als beim permanen-ten Welkepunkt PWP

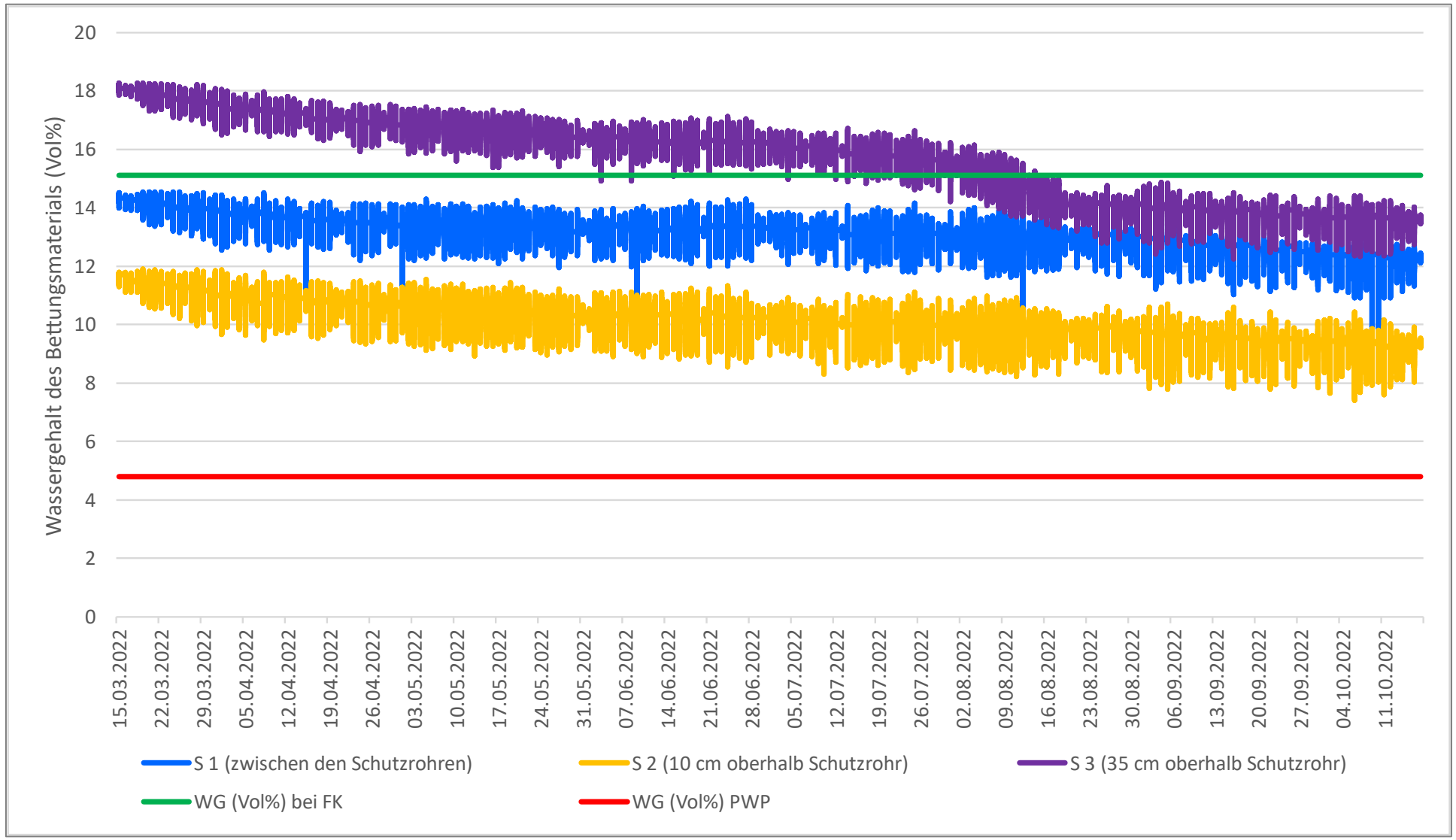


Bild 17:
Sensordaten der Bodenfeuchte am 04.09.2022
im Bereich des Bettungsmaterials sowie Laborwerte der Feldkapazität (FK) und des permanenten Welkepunkts (PWP) in Vol% an diesem Standort

Bei den sehr hohen Strömen in den Mittagsstunden beeinflusst das Magnetfeld die 3 Sensoren;
keine Abnahme der Bodenfeuchte

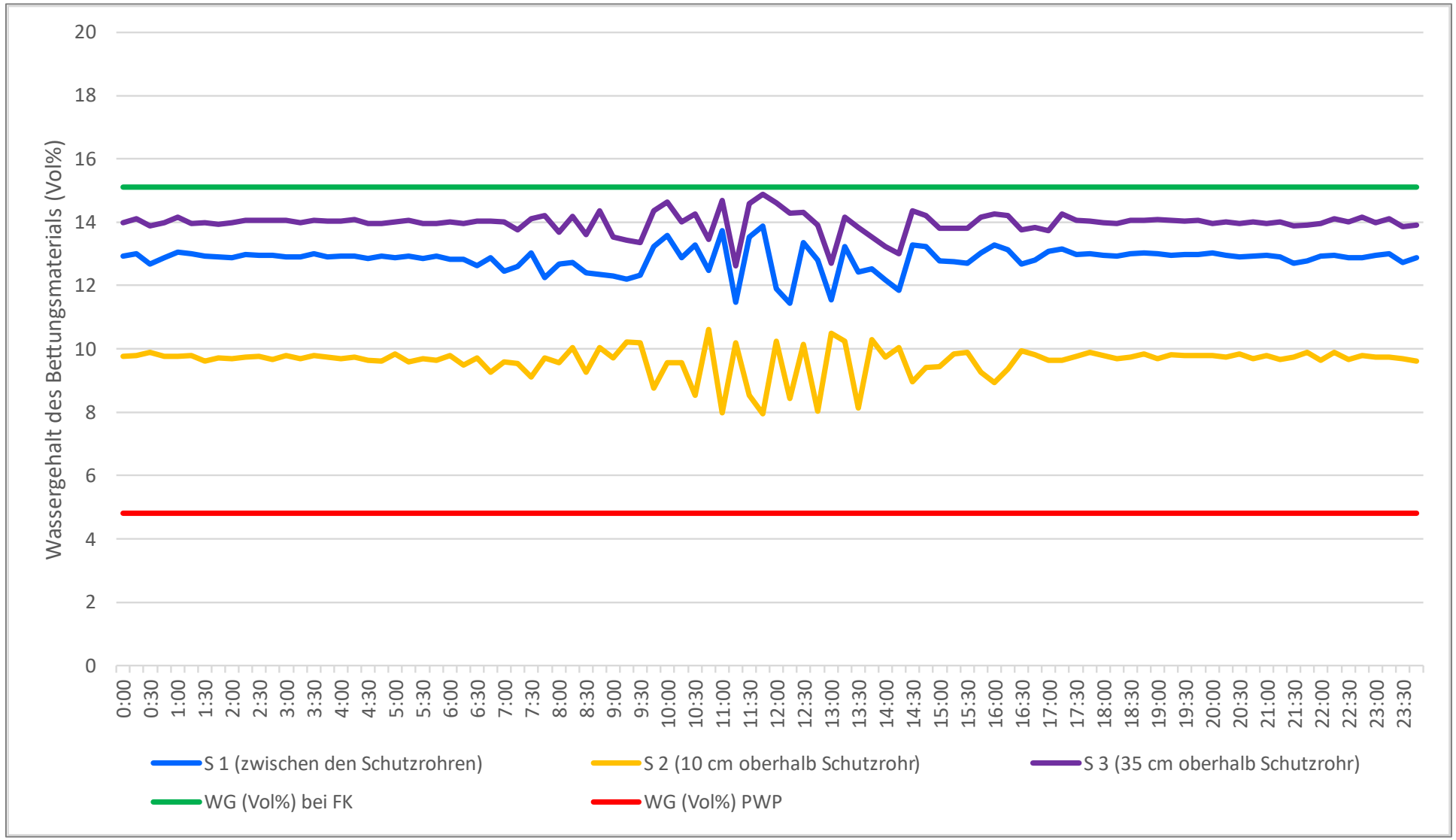


Bild 18:
Sensordaten der Bodenfeuchte vom 01.09. bis 07.09.2022 im Bereich des Bettungsmaterials sowie Laborwerte der Feldkapazität (FK) und des permanenten Welkepunkts (PWP) in Vol% an diesem Standort

Innerhalb des 7-tägigen Zeitraums ist nur eine sehr geringe Abnahme der Bodenfeuchte vorhanden

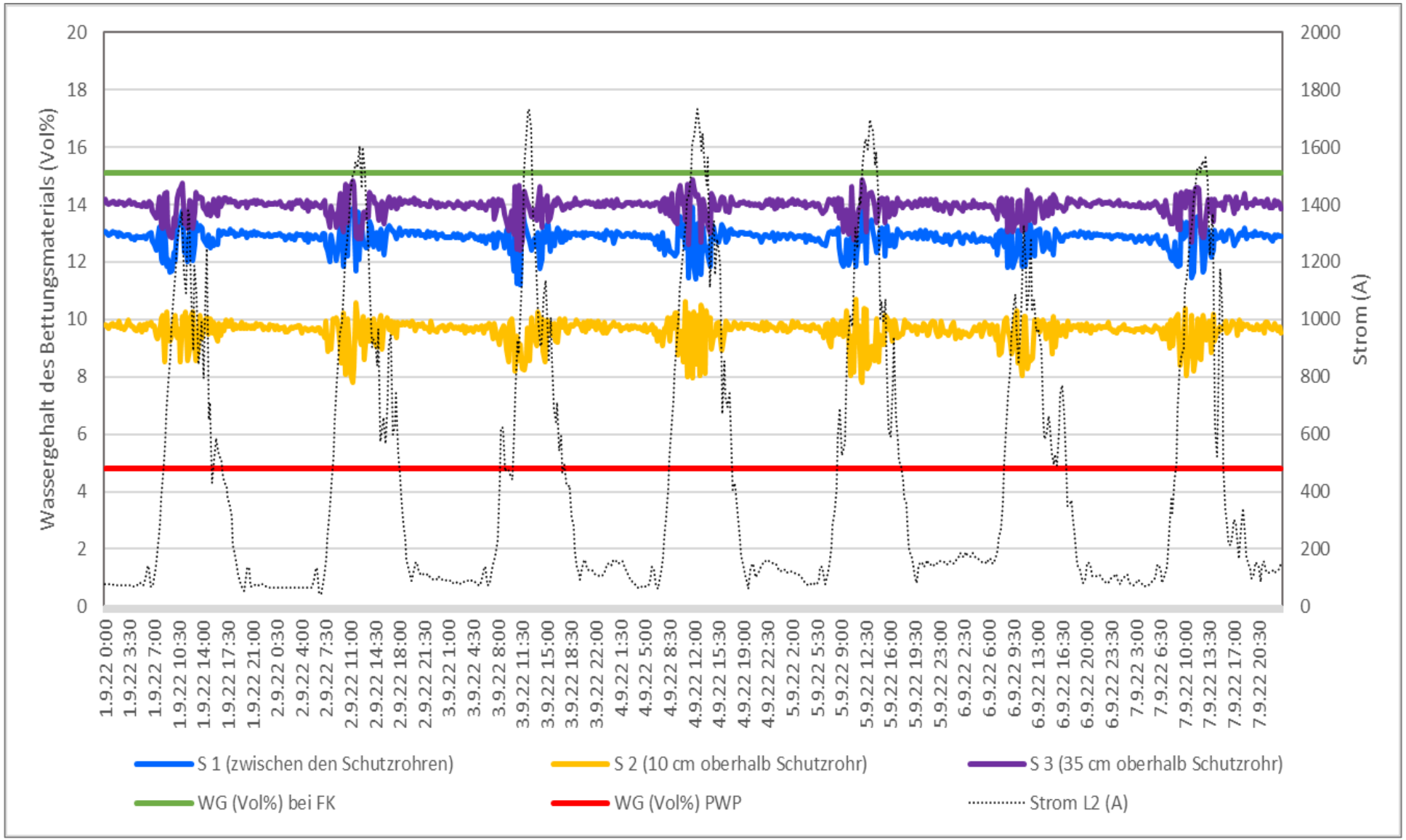
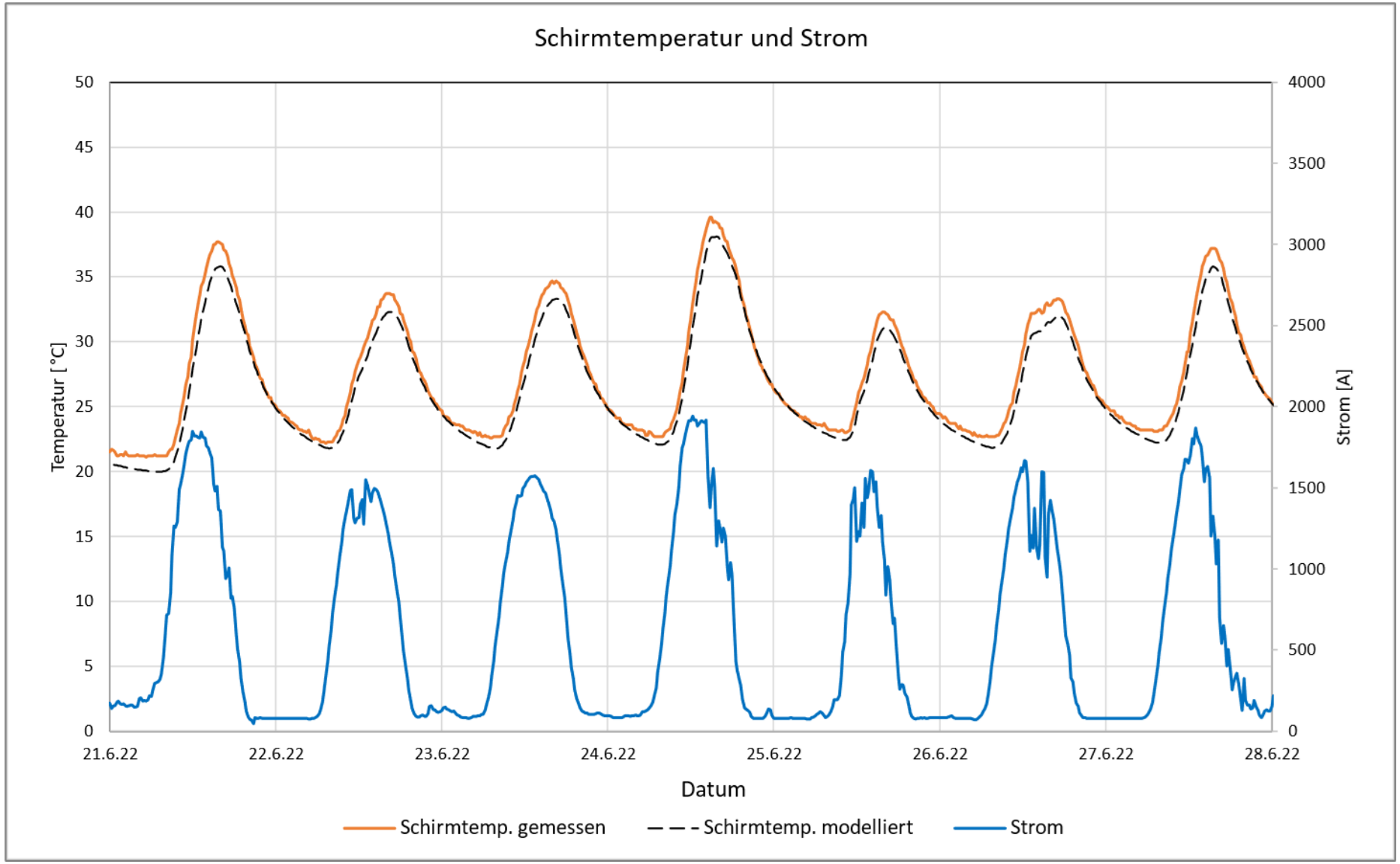


Bild 19:
Strom und Schirmtemperatur (gemessen und mit Cable Earth Modell berechnet) von L2 vom 21.06. bis 28.06.2022 am selben Standort

**3.**



# Fazit

- Vergleichbare Verlegeparameter für die herkömmliche offene Bauweise und die alternative Verlegung mit KaRoSch
- Einbau von Bettungsmaterial mit erhöhten Ton- und Schluffanteilen ist möglich (Achtung: Einbaufeuchte!)
- LWL-Messungen, Bodenfeuchte- und Bodentemperaturmessungen im Bettungsmaterial sowie Berechnungen der Schirm- und Leitertempera-turen mit validierten Simulationsmodellen (z.B. Cable Earth Modell) liefern wertvolle Erkenntnisse in Bezug auf die mögliche erhöhte Strombelastbarkeit von Kabeln

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.pedotec.de