



Dr. Ebel & Co. GmbH, St.-Ulrich-Straße 21, 88410 Bad Wurzach

Geotechnik Baugrunduntersuchungen Erdstatik  
Gründungsberatung Hydrogeologie Steine-Erden

RAPP + SCHMID  
Infrastrukturplanung GmbH  
Im Espach 5

Telefon 075 64/94897-10 Telefax 075 64/94897-99  
E-Mail info@geotechnik-ebel.de

**88444 Ummendorf**

Datum: 22.04.2024  
Bearbeiter: Dr.-Ing. Olaf Düser  
☎ 07564 / 94897-13

per E-Mail ullrich@rsi-bc.de

Projekt Nr.: 210805

## Hochwasserrückhalt im Flussgebiet Dürnach-Saubach Hochwasserrückhaltebecken Mittlere Halde

### Geotechnische Stellungnahme Nr. 4 Baugrube Durchlassbauwerk

#### Inhalt

- 1 Vorgang und Veranlassung
- 2 Grundlagen
- 3 Geohydraulische Betrachtungen
- 4 Sohldruckentspannung
- 5 Baugrubenumschließung
- 6 Ergänzende Empfehlungen

#### Anlagen

- |       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 1     | Lageplan mit Erkundungspunkten   | M 1:1.000 |
| 2     | Schnitte   |           |
| 2.1   | Geotechnischer Längsschnitt  | M 1:100   |
| 2.2   | Geotechnischer Querschnitt Durchlass   | M 1:100   |
| 2.3   | Geotechnischer Querschnitt Tosbecken   | M 1:100   |
| 3.1-8 | Geohydraulische zweidimensionale stationäre Strömungsbetrachtungen                 |           |
| 4.1-3 | Auftriebs- und hydraulische Grundbruchsicherheit                                   |           |
| 5.1-5 | Vordimensionierung Baugrubenumschließung   |           |
| 6     | Grundwasserganglinien und Flusswasserstände  |           |
| 7     | Geohydraulik Sohldruckentspannung  |           |
| 7.1   | Lageplan mit abgesenktem GwDruckspiegel<br>Umschließung lückenhaft, Brunnenbetrieb | M 1:1.000 |
| 7.2   | Lageplan mit abgesenktem GwDruckspiegel<br>Umschließung dicht                      | M 1:1.000 |

Geschäftsführer:  
Dipl.-Geol. Norbert Dostler  
Dr.-Ing. Olaf Düser  
Dipl.-Ing. Stefan Niefer  
Dr. rer. nat. Michael Strohmenger

Zweigstelle Bayern:  
Leiterberg 5a  
87488 Betzigau  
Tel. 08304 / 9298-26  
Fax. 08304 / 9298-36

Bankverbindung:  
Volksbank Biberach eG  
IBAN:  
DE 74 63 0901 0001 4284 6007  
BIC: ULM VDE 66

Sitz: Bad Wurzach – Arnach  
Gerichtsstand: Leutkirch i. A.  
Handelsregister: HRB 610617  
Steuernummer: 91060/31136



## Unterlagen

- [U1] DR. EBEL & CO. INGENIEURGESELLSCHAFT MBH, Bad Wurzach:
- a) Geotechnischer Grundlagenbericht AZ 210801: Hochwasserrückhalt im Flussgebiet Dürnach-Saubach; 24.09.2021
  - b) Geotechnischer Untersuchungsbericht AZ 210805: Hochwasserrückhalt im Flussgebiet Dürnach-Saubach; Maselheim, Hochwasserrückhaltebecken Mittlere Halde; 31.03.2022
  - c) Geotechnische Stellungnahme Nr. 1 AZ 210805: Hochwasserrückhalt im Flussgebiet Dürnach-Saubach; 13.09.2022
  - d) Geotechnische Stellungnahme Nr. 2 AZ 210805: Hochwasserrückhalt im Flussgebiet Dürnach-Saubach, Sonderbetrachtungen zur Dammüberströmung; 31.01.2023
  - e) Geotechnische Stellungnahme Nr. 3 AZ 210805: Hochwasserrückhalt im Flussgebiet Dürnach-Saubach, Sonderbetrachtungen zum Überlauf der Hochwasserentlastung; 13.03.2023
- [U2] Lageplan und Systemschnitte, HRB Mittlere Halde - Vordimensionierung Baugrube, per E-Mail von RSI, Ummendorf, am 25.03.2024 erhalten
- [U3] [DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, Berlin:
- a) DIN 1054: Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, 12/2010 mit Änderungen/Ergänzungen A1 (08.2012) und A2 (11.2015)
  - b) DIN 4084; Baugrund – Geländebruchberechnungen, 01/2009
  - c) DIN EN 1537 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verpressanker
  - d) DIN EN 1997-1; Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013, 03/2014
  - e) DIN 18311; VOB Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV), Nassbaggerarbeiten, Beuth-Verlag, Berlin 09.2019
  - f) DIN 19700; Stauanlagen, Stand 07.2004, Teile 10 (gemeinsame Festlegungen), 11 (Talsperren) und 12 (Hochwasserrückhaltebecken)
  - g) DIN 19712; Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, 01/2013
- [U4] Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben" (EAB), 5. Aufl., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2012
- [U5] WICHTER, L. & MEINIGER, W. (2022): Verankerungen, Vernagelungen und Mikropfähle in der Geotechnik; 2. Aufl., Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [U6] RAPP + SCHMID INFRASTRUKTURPLANUNG GMBH, Ummendorf:  
Hochwasserrückhaltebecken Mittlere Halde in Wenedach, Genehmigungsplanung, Lageplan Bauablauf M 1:500; Vorabzug 12.04.2024



## 1 Vorgang und Veranlassung

Für das Durchlassbauwerk wird die Erstellung einer Baugrube erforderlich. Eine frei geböschte Ausführung kommt aus Platzgründen und wegen der ungünstigen geohydraulischen Verhältnisse (enormer Grundwasserzutritt in die Baugrube aus den Talkiesen) nicht in Frage. Es kommt voraussichtlich eine gering wasserdurchlässige, wandförmige Umschließung zur Ausführung. Von Seiten des planenden Ingenieurbüros RSI, Ummendorf, wurde mit [U2] um eine zugehörige Vordimensionierung gebeten.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die relevanten Standsicherheitsaspekte behandelt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Durchlassbauwerk und Baugrund

Für die Baugrube ist eine Länge um 50 m und eine Breite im Bereich der Flügelwände von 18 m zu erwarten. Die Gründung erfolgt auf einer massiven Betonbodenplatte. In den Anlagen 2.1÷3 ist das geplante Bauwerk im Längs- und Querschnitt zusammen mit den örtlichen Baugrundverhältnissen dargestellt. Die Gründungsebene liegt im stauraumseitigen Bereich bis zur luftseitigen Dammschulter bei rd. 544,8 mNN, mithin ca. 3,4 m unter mittlerem Geländeniveau (Annahme bei 548,2 mNN). Die Gründungsebene im anschließenden Tosbeckenbereich liegt bei rd. 543,4 mNN, also ca. 4,8 m unter Geländeniveau.

Die Gründung wird voraussichtlich fast vollständig in der Molasse (Sande und Mergel) liegen. Vereinzelt Reste von Talkies sind im Bereich der höheren Baugrubensohle zu erwarten. Die Molasse besteht aus eng gestuften Sanden, in die dezimeterdicke Molassemergellagen eingeschaltet sind. Im Bereich um 540 bis 539,5 mNN stehen zur weiteren Tiefe zunächst Molassemergel und darunter Molassemergelstein an. Die Sande sind verflüssigungswillig und nur schwer entwässerbar. Die geologischen und geotechnischen Angaben in [U1b] und [U1c] sind zu beachten

Aussagen zum Grundwasser zu den bodenmechanischen und den geohydraulischen Eigenschaften des Baugrunds sind den vorliegenden Unterlagen [U1b] und [U1c] zu entnehmen.

### 2.2 Bauwerksklasse und Geotechnische Kategorie

Die Baugrubenumschließung ist mit der zu erwartenden Wasserdruckbelastung und der Baugrubentiefe in die Geotechnische Kategorie 2 einzuordnen. Bauwerke dieser Kategorie erfordern eine ingenieurmäßige Bearbeitung und einen rechnerischen Nachweis der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit.

### 2.3 Berechnungsmodell

Für die nachfolgenden Berechnungen wird das Baugrundmodell in idealisierter Form zugrunde gelegt. Je nach der Fragestellung werden die Baugrundverhältnisse auf die Seite der ungünstigen Wirkungen gestellt.

Generell werden die erdstatischen Berechnungen nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß [U3a] und [U3d] durchgeführt. Näheres dazu wurde in [U1b] erläutert.



Folgende Bemessungssituationen werden berücksichtigt:

- BS-P (ständige Bemessungssituation)  
Normale Grundwasserverhältnisse (Normalwasserstand) um einen Meter unter Geländeneiveau ( bei ca. 547,2 mNN).
- BS-T (vorübergehende Bemessungssituation)  
Bordvoller Wasserstand im Gewässer (Wasserstand im Gelände bei ca. 548,2 mNN).

### 3 Geohydraulische Betrachtungen

#### **Stationäre Strömungsbetrachtungen**

Für die zweidimensionalen, vertikal-ebenen Simulationen wurde ein Finite-Elemente-Programm der Fa. GGU, Braunschweig, verwendet. Es wird ein vergleichsweise engmaschiges Dreieck-Elemente-Netz eingesetzt, um eine hinreichende Systemgenauigkeit zu erreichen. Es gilt das Gesetz nach DARCY mit laminarer Strömung; das Potenzialfeld  $\bar{u}$  ist quellen- und senkenfrei mit  $\text{div grad } \bar{u} = 0$ .

Die Baugrubenumschließung soll voraussichtlich aus im Schloss gedichteten Spundbohlen erstellt werden. Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  dieses Systems ist mit etwa  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s abzuschätzen.

Um den Grundwasserzustrom in die Baugrube möglichst stark zu begrenzen, ist die Umschließung bis in den Molassemergel zu führen. Der Übergang ist vorsichtig im Bereich von im Tiefenbereich um 539,5 mNN anzusetzen. Die Einbindung in diese Schicht wird mit 0,5 m berücksichtigt. In der Baugrube wird eine offene Wasserhaltung (Pumpensümpfe, Dränagestränge, Schmutzwasserpumpen, Trübstoffabscheidung, Neutralisationsanlage) betrieben. Die Absenkung des Grundwasserstands unter Baugrubensohle wird auf ein Niveau um  $0,4 \div 0,5$  m angestrebt.

Es werden verschiedene Szenarien für den tiefer liegenden Bereich der Baugrube betrachtet und zwar:

- im Molassesand sind keine sperrenden Zwischenschichten aus Molassemergel eingelagert,
- im Molassesand sind sperrende Zwischenschichten aus Molassemergel enthalten,
- die Spundwandinbindung in den tieferen Molassehorizont ist lückenhaft.

Die nachfolgenden Angaben zu den Wassermengen in der Einheit  $\text{m}^3/(\text{sxm})$  beziehen sich auf einen Meterabschnitt der Baugrubenlänge und –breite.

Ohne Zwischenschichten sind bei normalen Grundwasserverhältnissen zutretende Wassermengen um  $3 \cdot 10^{-6}$   $\text{m}^3/(\text{sxm})$  zu erwarten, s. Anlage 3.1. Bei geländegleichen Wasserstand erhöht sich der Wasserzutritt rechnerisch auf  $5 \cdot 10^{-6}$   $\text{m}^3/(\text{sxm})$ , s. Anlage 3.2. Der Grundwasserstand innerhalb der Baugrube kann auf planmäßigem Niveau gehalten werden.

Mit einer durchgehenden Sperrschicht im Untergrund der Baugrube reduziert sich die zutretende Wassermenge bei Normalwasserstand auf  $2 \cdot 10^{-6}$   $\text{m}^3/(\text{sxm})$ , s. Anlage 3.3. Bei geländegleichem Wasserstand sind Wassermengen um  $3 \cdot 10^{-6}$   $\text{m}^3/(\text{sxm})$  zu erwarten, s. Anlage 3.4. Unter der



Sperrschicht verbleibt in beiden Fällen ein Druckpotenzial, das aber immer noch unter Baugrubensohlniveau liegt. Der Grundwasserstand innerhalb der Baugrube kann auf planmäßigem Niveau gehalten werden.

Wird die Sperrschicht im Bereich der Wasserfassungen durchstoßen, erhöht sich die zu fördernde Wassermenge bei Normalwasserverhältnissen ebenfalls auf  $3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{sxm})$ , s. Anlage 3.5. Das Druckpotenzial unter der Sperrschicht wird abgebaut.

Kann die Spundwand bereichsweise nicht bis in den Grundwasserstauer geführt werden (angenommen wird ein hydraulisches Fenster in einer Breite um einen Meter und einer Höhe um 0,5 m), kommt es bereits bei Normalwasserständen zu kritischen Druckverhältnissen. Bei vollständiger Sperrschicht im Untergrund wirken auf die Unterseite der Sperrschicht Druckpotenziale, die deutlich bis über Baugrubensohlniveau reichen, s. Anlage 3.6. Wird die Sperrschicht in dieser Situation durchstoßen, kommt es zu einer deutlichen Druckentlastung, s. Anlage 3.6. Die abzuführende Wassermenge erhöht sich auf  $2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/(\text{sxm})$ . Das Absenkkniveau innerhalb der Baugrube kann in dieser Situation gerade noch eingehalten werden.

Ohne Sperrschicht kann bei einer fehlerhaften Spundwandeinbindung das Absenkziel nicht eingehalten werden, s. Anlage 3.8.

### **Auftrieb und hydraulischer Grundbruch**

Zunächst werden die Verhältnisse im Molassesand ohne eine Sperrschicht aus Molassemergel betrachtet. Am baugrubenseitigen Spundwandfuß ist in dieser Situation bei einer Mächtigkeit der überdeckenden Molassesandschicht von 3,5 m ein Druckpotenzial möglich, das um 1,6 m über der Baugrubensohle liegt, s. Anlage 4.1. Bei Vergleich mit den zugehörigen Strömungsbildern in den Anlagen 3.1 ff. tritt diese Situation bei einer fehlenden Einbindung der Spundwandsohle in den Grundwasserstauer auf. In dieser Situation liegt gerade noch ausreichende Sicherheit vor.

Mit einer Sperrschicht treten andere Verhältnisse auf. Hier können je nach der Mächtigkeit der Sperrschicht (betrachtet wurden Mächtigkeiten von 0,5 m und von 1 m) maximale Potenzialhöhen über Baugrubensohlniveau von  $0,2 \div 0,45 \text{ m}$  standsicher abgetragen werden, s. Anlagen 4.2÷3. Ausreichende Standsicherheit ist gegeben, wenn planmäßige die Spundwandeinbindung in den Grundwasserstauer vorliegt. Bei mangelhafter Einbindung kann ausreichende Sicherheit nur erreicht werden, wenn die Sperrschicht durchstoßen wird und es somit zu einer Druckentspannung kommen kann, s. Strömungsbilder in den Anlagen 3.6÷7.

### **Zwischenbeurteilung**

Eine Absenkung des Wasserstands innerhalb der Baugrube ist mit offenen Wasserhaltungsmaßnahmen möglich. Es besteht allerdings eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass sperrende geringer wasserdurchlässige Mergelschichten im Untergrund der Baugrube anstehen. Ist in dieser Situation ein Spundwanddefekt im Übergang zum Grundwasserstauer vorhanden, können kritische Standsicherheitssituationen infolge zu hoher Druckpotenziale im baugrubenseitigen Untergrund entstehen. Hier sind vorsorglich Entspannungsbrunnen anzuordnen, um nachweislich für stand-sichere Situationen zu sorgen.



#### 4 Sohlruckentspannung

Zur Untersuchung der Sohlruckentspannung wurde ein dreidimensionales, numerisch-mathematisches Grundwasserströmungsmodell nach der Methode der Finiten Elemente aufgestellt. Bei der eingesetzten Software handelt es sich um das Programm FEFLOW 5.2 (Fa. WASY-DHI, Berlin).

Die Berechnungen sollen die folgenden Rahmenbedingungen betrachten:

- (1) Absenkziel Baugrubensohle Tosbecken:  $\approx 543.6$  m+NN;
- (2) Offene Wasserhaltung innerhalb der Baugrube durch Ringdrainage: Kote 542.8 m+NN;
- (3) Baugrubenumschließung: lückenhaft / geschlossen;
- (4) Entspannungsbrunnen außerhalb der Umschließung: ja / nein;

#### **Geometrien und Diskretisierung**

Das für die geohydraulischen Untersuchungen aufgebaute Finite-Elemente-Netz besteht aus dreieckigen Prismen. Daraus ergibt sich für die horizontale Diskretisierung eine Dreiecksvermaschung, bei der modellrelevante Geometrien wie zum Beispiel geplante Einbauten berücksichtigt werden, sofern sie für die Aufgabenstellung relevant sind.

Die Diskretisierung in vertikaler Richtung orientiert sich am Mehrschichtaufbau des Grundwassersystems sowie an der Tiefenlage der geplanten Einbauten. Eine modelltechnisch definierte Schicht wird durch eine Elementlage repräsentiert und nach oben und unten durch Knotenebenen begrenzt. Die vertikale Diskretisierung des Untersuchungsraums erfolgte in sechs Knotenebenen mit fünf dazwischen liegenden Elementlagen.

*Knotenebene 1:* Geländeoberfläche (Ansatz: 548.2 m+NN)

**Elementlage 1:** Talkies

*Knotenebene 2:* Unterkante Talkies (aus Aufschlussdaten:  $\varnothing$  544.7 m+NN)

**Elementlage 2:** Molassesand

*Knotenebene 3:* buffer slice (angesetzt: 543.5 m+NN)

**Elementlage 3:** Molassesand

*Knotenebene 4:* buffer slice (angesetzt: 543.0 m+NN)

**Elementlage 4:** Molassesand

*Knotenebene 5:* buffer slice (angesetzt: 540.0 m+NN)

**Elementlage 5:** Molassesand

*Knotenebene 6:* Unterkante Molassesand (aus Aufschlussdaten:  $\varnothing$  539.5 m+NN)

**Elementlage 6:** Molassemergel

*Knotenebene 7:* buffer slice (angesetzt: 539.0 m+NN)

**Elementlage 7:** Molassemergel



Knotenebene 8: Modellbasis (angesetzt: 538.0 m+NN)

### **Rand- und Nebenbedingungen**

Die Berechnung eines Grundwasserströmungsmodells erfordert die Definition von Randbedingungen, die an Knotenpunkten angesetzt werden. Je nach der gewünschten Simulation erfolgt ihre Definition an einzelnen Knoten, in Knotenreihen oder in „Knotenteppichen“. Es wurden die folgenden Randbedingungen definiert:

- Knotenebene 1:  
Randbedingungen erster Art als Knotenteppich für den Dürnachwasserstand; bordvoll (angesetzt:  $h = 548.2 \text{ m+NN}$ );  
Randbedingungen erster Art als Knotenreihe für offene Wasserhaltung innerhalb der Baugrube durch Ringdrainage (angesetzt:  $h = 542.8 \text{ m+NN}$ ; Nebenbedingung:  $Q_{\max} = 0 \text{ m}^3/\text{d}$ );
- Knotenebenen 1 und 2:  
Randbedingungen erster Art als Knotenreihen für den südlichen und nordöstlichen Modellrand. (angesetzt:  $h = 548.2 \text{ m+NN}$ );
- Knotenebenen 3 bis 6:  
Randbedingungen erster Art als Knotenreihe im Modellumgriff für externen Grundwasserspiegel Molassesande;  
Ansatz:  $h = 548.2 \text{ m+NN}$ ;
- Knotenebene 5 (optional):  
Randbedingungen „vierter“ Art zur Simulation eines Brunnenbetriebs an sechs Standorten außerhalb der Baugrubenumschließung; Nebenbedingung:  $h_{\min} = 540 \text{ m+NN}$ ;
- Knotenebene 8:  
Randbedingungen erster Art als Knotenteppich für externen Grundwasserdruckspiegel Molasse;  
Ansatz:  $h = 548.2 \text{ m+NN}$ ;  
Nebenbedingungen zweiter Art als Knotenteppich für externen Grundwasserdruckspiegel Molasse;  
Ansatz:  $Q_{\min} = 0 \text{ m}^3/\text{d}$ ;

Sofern keine Randbedingungen formuliert sind, werden die Begrenzungen des Modellnetzes als undurchlässig angenommen (Spezialfall der Randbedingung zweiter Art).



### Geohydraulische Rechenwerte

In nachfolgender Tabelle sind die geohydraulischen Rechenwerte zusammengestellt.

Tabelle 1: Geohydraulische Rechenwerte (Planung)

		Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ [m/s]	
		$k_{f(x)}$	$k_{f(z)}$
Elementlage 1	Talkies	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$
	Baugrubenumschließung	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Elementlagen 2-4	Molassesand	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
	Baugrubenumschließung	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Elementlage 5	Molassesand	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
	Baugrubenumschließung	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Elementlage 6	Molassemergel	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
	Baugrubenumschließung	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Elementlage 7	Molassemergel	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$

### Ergebnisse

Die geohydraulischen Untersuchungen kommen zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle 2: Berechnungsergebnisse

Variante	Umschließung	Brunnen	Standrohrsiegelhöhe [m+NN] an Beobachtungspunkten <sup>3)</sup>			GwFörderung [l/s]
			1	2	3	
wh0	Lücke <sup>1)</sup>	nein	543.40	543.67	544.62	1,4
wh1	Lücke <sup>1)</sup>	ja <sup>2)</sup>	543.23	543.41	544.06	8,9
wh2	dicht	nein	543.00	543.00	543.00	0,4

<sup>1)</sup>Umschließung reicht im Ostflügel nicht bis in den Stauer, Höhe des „Fensters“: 0,5 m

<sup>2)</sup>Lage der Brunnen: s. Anlage 7.1

<sup>3)</sup>Lage der Beobachtungspunkte: s. Anlagen 7.1-2

Demnach kann bei einer Baugrubenumschließung, die den Molassesand nicht vollständig durchfährt, die erforderliche Sohldruckentspannung nicht bewerkstelligt werden; selbst, wenn die offene Wasserhaltung durch Absenkbrunnen, die außerhalb der Umschließung stehen, unterstützt wird. Die Positionierung von Absenkbrunnen innerhalb der Baugrubenumschließung erscheint uns aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht umsetzbar.

In der Konsequenz ist zu fordern, dass die Baugrubenumschließung zwingend bis in die Grundwassersohlschicht reicht.



## 5 Baugrubenumschließung

### **Einbringhilfen**

Es muss sichergestellt werden, dass die Spundbohlen mindestens 0,5 m in den Grundwasserstauer (Molassemergel) einbinden. Um auf die Tiefe zu kommen, sind Vorbohrungen einzuplanen. Auflockerungsmaßnahmen sind im Baugrund maximal bis 0,5 m über geplante Rammtiefe zu führen; somit bleibt die dichtende Funktion des bindigen Baugrunds zur Tiefe für das Spundwandbauwerk weitestgehend erhalten.

Anm.:

*Aus Erfahrungen zu Rammarbeiten für Baugrubenumschließungen in dicht gelagertem Talkies ist bekannt, dass mit schwerem Rammgerät (RG16T mit einem Hydraulikrüttler MR 150 AVM, Fliehkraft des Rüttlers 1500 kN im Amplitudenmodus) Doppelbohlen AZ 12-700 und PU12 bis in einen größeren Tiefenbereich eingebracht werden können, der durch Schlagzahlen  $N_{10}$  bis um 60 repräsentiert wurde.*

Es ist in jedem Fall ein kräftiges Rammprofil zu wählen.

### **Spundwand-Schlossdichtung**

Die Schlösser der Spundbohlen sind mit einem Dichtungsmittel (z.B. Bitumenverguss) zu versehen.

### **Vordimensionierung Spundwand**

Bei der Ausführung sind u.a. DIN 4124 und [U4] zu beachten. Der statische Nachweis im Rahmen einer exemplarischen Vordimensionierung erfolgt mit den folgenden Randbedingungen:

- Außerhalb der Baugrubenumschließung wird eine Flächenlast von 10 kN/m<sup>2</sup> angesetzt.
- Bemessungsaußenwasserstände werden mit einem Meter unter Gelände (BS-P) bzw. auf Geländeniveau (BS-T) berücksichtigt.
- Die Baugrubensohle liegt 3,4 m bzw. im Tosbeckenbereich 4,8 m unter Geländeniveau.
- Der Wandkörper ist voll im Baugrund eingespannt und besteht aus werksverschweißten Doppelbohlen der Stahlgüte S 355 GP.
- Die Grundwasserabsenkung innerhalb der Baugrube liegt um 0,5 m unter Sohle.
- Es werden beispielhaft kräftige Rammprofile vom Typ TKL605 berücksichtigt.

### **Baugrubentiefe um 3,4 m**

Bereits bei Normalwasserverhältnissen wird ein ungestützter Wandkörper überbelastet und die Kopfverformungen erreichen Werte von fast 130 mm, s. Anlage 5.1. Die rechnerisch erforderliche Einbindetiefe reicht bis weit in den Grundwasserstauer hinein. Erhebliche Einbringsschwierigkeiten sind zu erwarten, da hier felsiger Untergrund ansteht.

Bei Einbau einer Verpressankerlage mit Gurtung (der Ankerkopf liegt ca. 2 m unter Geländeniveau, Ankerneigung um 20 °, Gesamtankerlänge um 12,5 m, Verpresskörperlänge 5 m, Ankerabstand um 1,8 m) kann eine deutlich kürzere Wand ausgeführt werden, s. Anlage 5.2. Der



Wandfuß kann erdstatisch oberhalb des Stauerhorizonts enden, ist aber aus geohydraulischen Gründen mindestens bis 0,5 m in den Stauer einzubringen. Weiterhin werden die Verformungen des Wandkörpers stark reduziert. Auch bei Außenwasserständen auf Geländeneiveau kann mit diesem System ausreichende Standsicherheit nachgewiesen werden, s. Anlage 5.3. In beiden Fällen ist die Sicherheit in der tiefen Gleitfläche gegeben.

### **Baugrubentiefe 4,8 m**

Es werden bei Normalwasserständen zwei Ankerlagen erforderlich. Die obere Ankeranlage wird analog zu zuvor ausgeführt. Die untere Ankerlage (der Ankerkopf liegt ca. 4 m unter Geländeneiveau, Ankerneigung um 25 °, Gesamtankerlänge um 17 m, Verpresskörperlänge 6 m, Ankerabstand um 1,8 m) wird im Bereich des Molassemergels festgelegt. So kann eine standsichere Wandlänge generiert werden, die gerade in den Stauerhorizont einbindet, s. Anlage 5.4

### **Wandstützung**

Die Rückverankerung der Spundwände kann mit Injektionsankern (Verpressankern) erfolgen. Die Anker werden entsprechend der DIN 1054 „neu“, DIN 4125 „Kurzzeitanker und Daueranker“ bzw. DIN EN 1537 (Spezialtiefbau) „Verpressanker“ bemessen, hergestellt und geprüft. Zur Verbesserung der Verbundwirkung sind Nachverpressungen vorzusehen.

Die Verpresskörper der Anker sind in den Molassesand bzw. in den darunter anstehenden Molassemergel oder Molassemergelstein zu legen. Für eine Vorbemessung sind bei üblichen Verpresskörperlängen von 5÷6 m folgende charakteristische Bruchwerte der Mantelreibung  $q_{s,k}$  ansetzbar:

- Molassesand, mitteldicht gelagert: 160 kN/m<sup>2</sup>,
- Molassemergel steif bis halbfest: 125 kN/m<sup>2</sup>,
- Molassemergel fest bzw. Mergelstein: 200 kN/m<sup>2</sup>.

Vor der Herstellung von Bauwerksankern sind die obigen Werte über Eignungsprüfungen (Kap. 9.6, DIN EN 1537) an mindestens drei Ankern nachzuweisen. Höhere Tragfähigkeiten können ggf. über Untersuchungsprüfungen (Kap. 9.5, DIN EN 1537) erzielt werden.

Für die Injektionsanker (Verpressanker) sind ggf. nachbarliche Grunddienstbarkeiten einzuholen. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Verpresskörper mindestens 4 m unterhalb der Geländeoberfläche (bzw. Gewässersohle) zu liegen kommen. Der erforderliche Verpresskörperminderdurchmesser liegt bei 12 cm.

Eine Wandstützung kann ggf. auch mit Aussteifungen bewerkstelligt werden.



## 6 Ergänzende Empfehlungen

Zur Entwässerung der Molassesande im Bereich der Baugrubensohle reicht die Ausführung einer Schwerkraftentwässerung nicht aus. Es werden voraussichtlich Maßnahmen mit Unterdruckentwässerung erforderlich, s. [U1c].

Die Mergelzwischenlagen sind zu perforieren, damit ein rascher Überdruckabbau im Zuge der Entwässerung gewährleistet wird. Die Auftriebssicherheit muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Dies bedarf einer intensiveren Beobachtung und Steuerung im Rahmen der Baubegleitung.

Die Baugrubenumschließung muss gesichert bis in den Grundwasserstauer geführt werden, um ungewollte Unterströmungen verbunden mit Standsicherheitsrisiken zu vermeiden. Es ist nach Fertigstellung der Umschließung die Wirksamkeit der dichten Anbindung durch Probeabsenkungen nachzuweisen. Bestehende Undichtigkeiten sind zu lokalisieren und ggf. durch Abdichtinjektionen o.ä. zu verschließen. Weiterhin kann in der Trasse über Austauschbohrungen ein rammbarer Dichtungsübergang zum Grundwasserstauer geschaffen werden. Eine derartige Ausführung ist vergleichsweise sicher aber auch sehr aufwendig. Diese Variante ist im Zuge der weiteren Planungen ggf. zu konkretisieren.

Nach Fertigstellung der Umschließung wird die Ausführung von Probeabsenkungen empfohlen, um somit ggf. vorhandene Imperfektionen feststellen und weitere erforderliche Maßnahmen einleiten zu können.

Das im Rahmen der Bauwasserhaltung geförderte Wasser ist über einen Absetzcontainer zu führen und nach erfolgter Neutralisation in die Wertach einzuleiten.

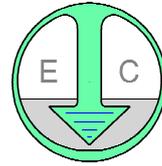
Die Auftriebssicherheit muss auch über die Betriebszeit des Bauwerks sichergestellt sein.

Projektbearbeiter: Dr.-Ing. Olaf Düser

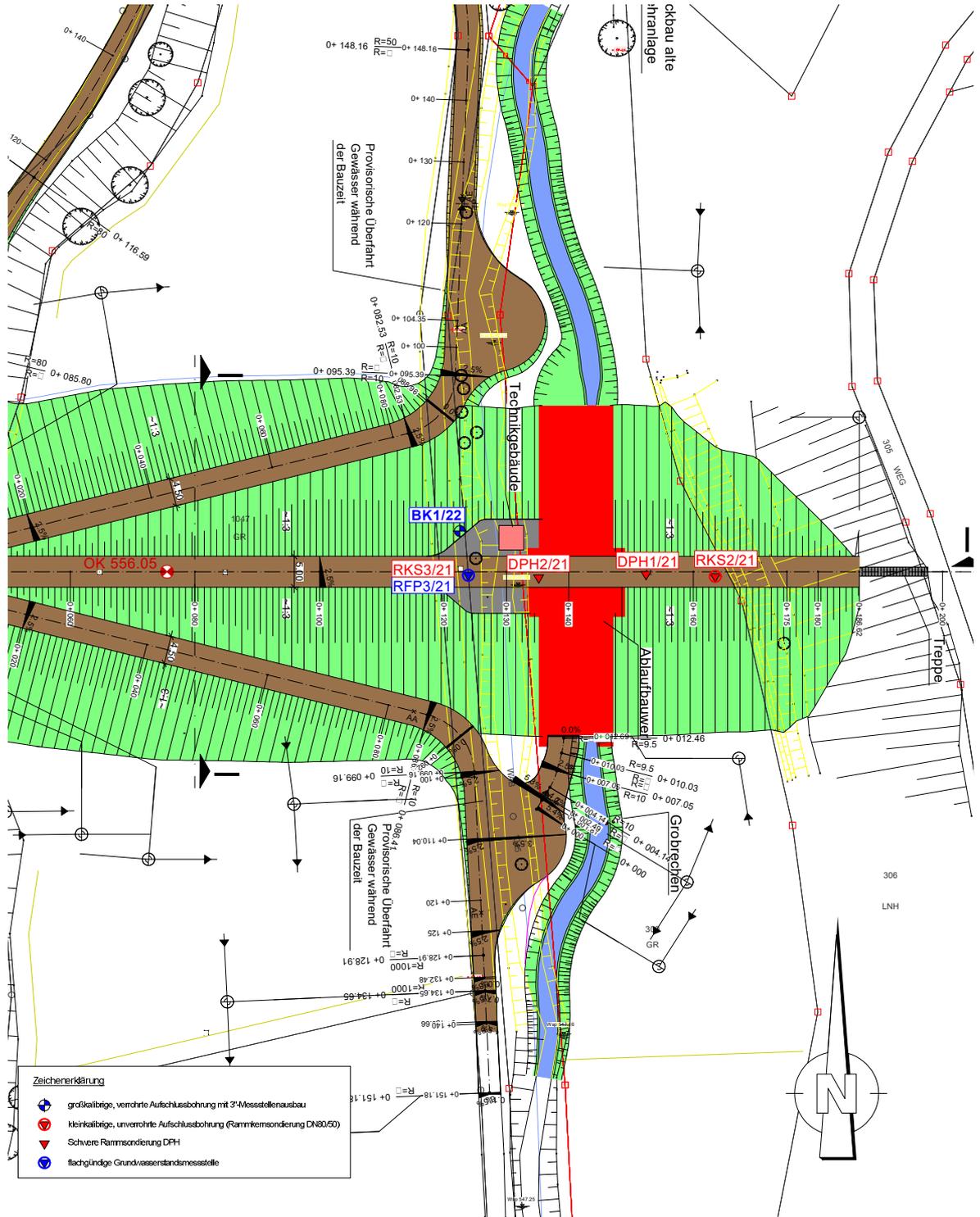
Dr.rer.nat. Michael Strohmenger

Dr. Ebel & Co. GmbH

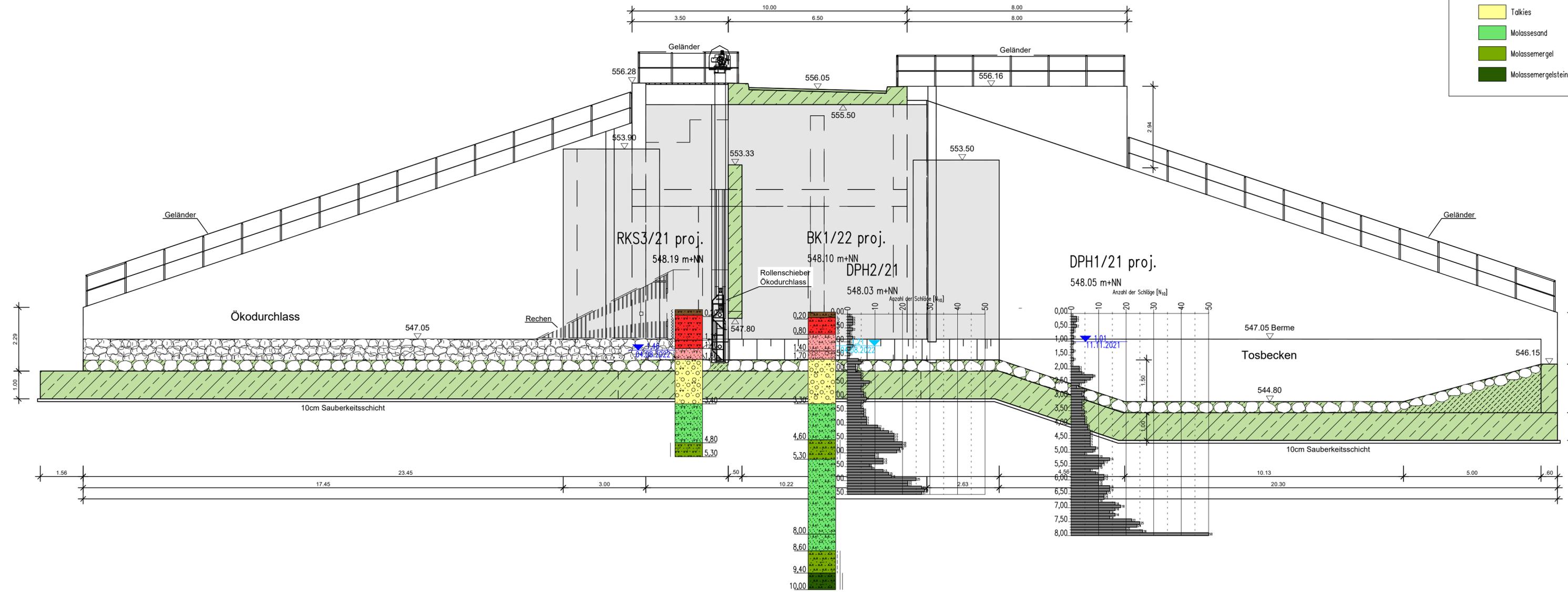




Lageplan M 1:1000



# Schnitt I - I



Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH  
 St. Ulrich-Straße 21, 88410 Bad Wurzach-Amach  
 Telefon 07564/94897-10 Telefax 07564/94897-99  
 eMail geotechnik-ebel@t-online.de

Vorhaben: Maselheim, HRB Mittlere Halde Durchlassbauwerk

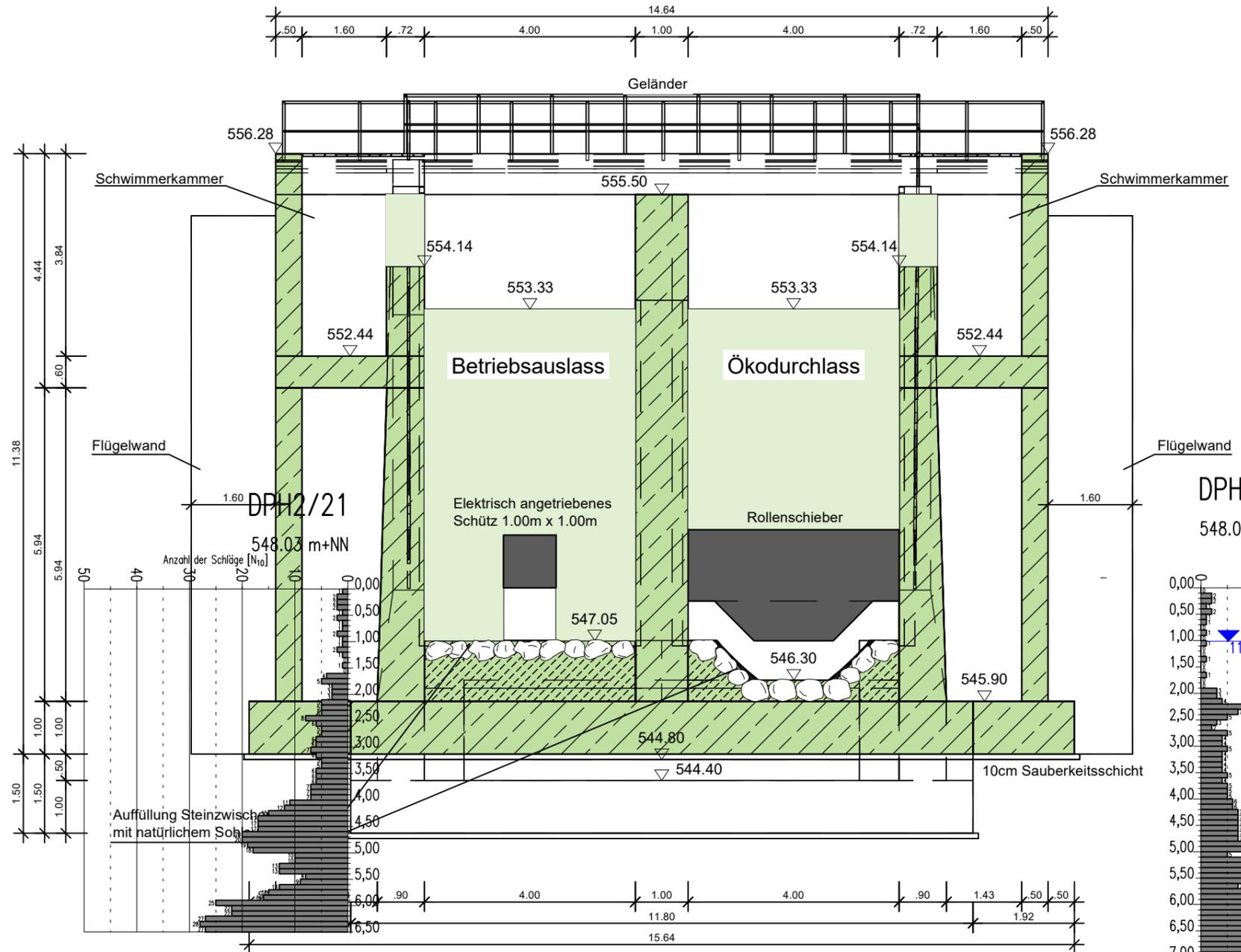
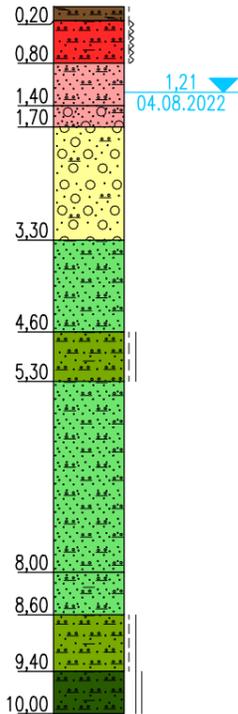
Plan: Geotechnischer Längsschnitt

Aktenzeichen: 210805

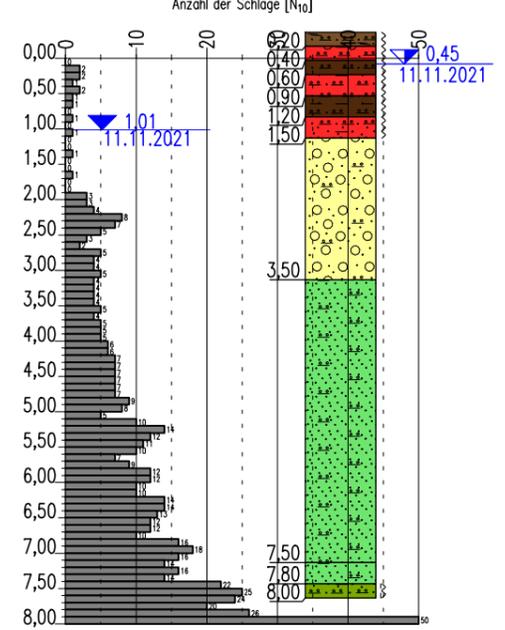
Anlage: 2.1

Maßstab: 1:100  
 gezeichnet: Str  
 Datum: 12.04.2024  
 geprüft: Datum

BK1/22 proj.  
548.10 m+NN



RKS2/21 proj.  
548.39 m+NN  
DPH1/21  
548.05 m+NN



Geologie	Konsistenz	Grundwassersystem
Mutterboden	breiig bis weich	Grundwasser nach Arbeitsende
Auelehm	weich	Grundwasserruhepegel
Auesand	weich bis steif	Grundwassersystem
Anmoor	steif	Grundwassersystem
Talkies	steif bis halbfest	Grundwassersystem
Molassesand	halbfest	Grundwassersystem
Molassemergel	halbfest bis fest	
Molassemergelstein		

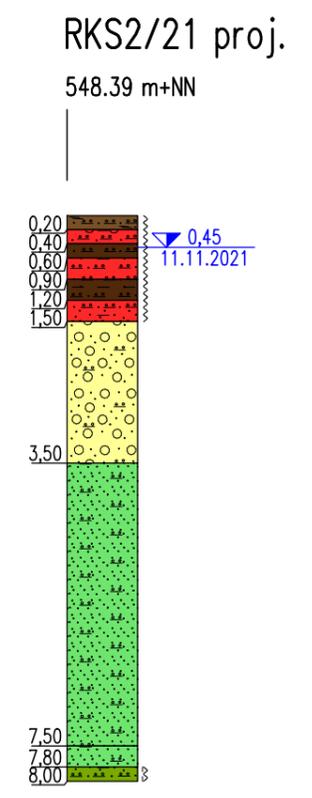
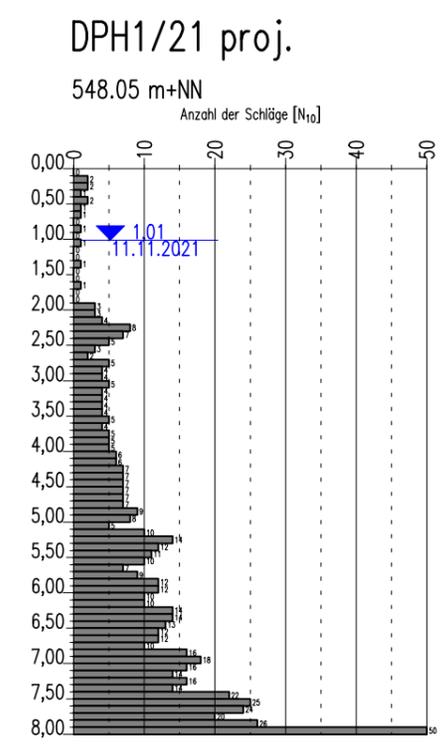
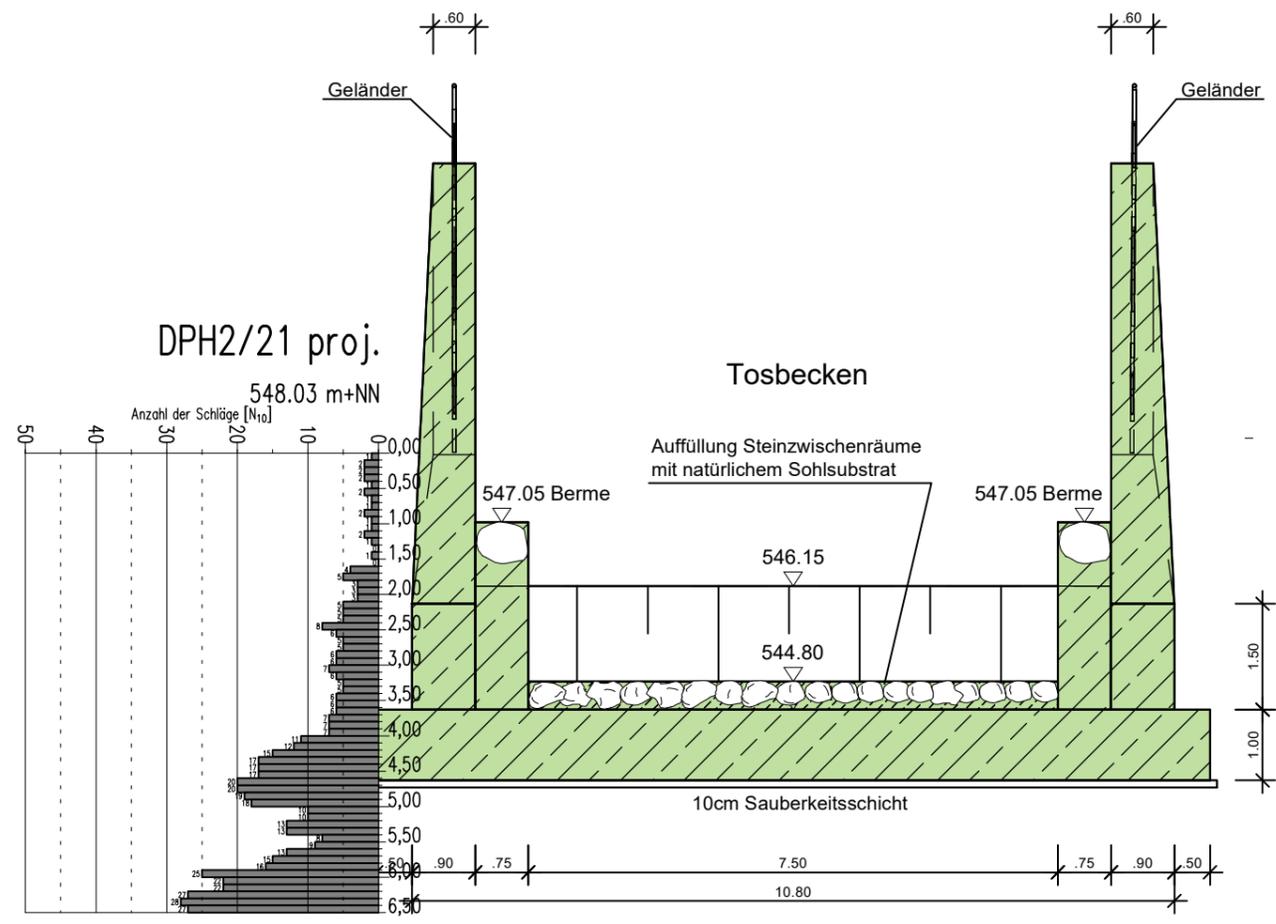
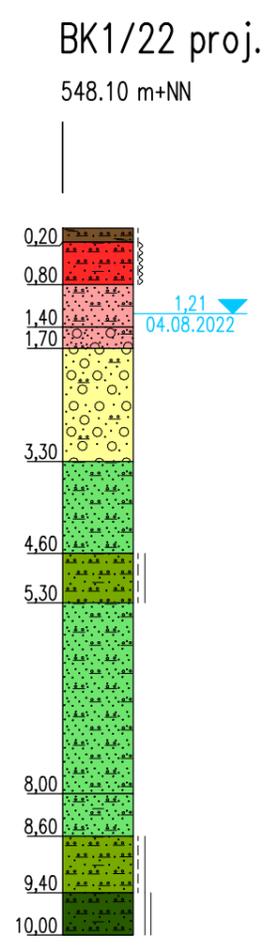
Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH  
St. Ulrich-Straße 21, 88410 Bad Wurzach-Arnach  
Telefon 07564/94897-10 Telefax 07564/94897-99  
eMail geotechnik-ebel@t-online.de

Vorhaben: Maselheim, HRB Mittlere Halde Durchlassbauwerk

Plan: Geotechnischer Querschnitt Durchlass

Aktenzeichen: 210805      Anlage: 2.2

Maßstab: 1:100  
gezeichnet: Str  
Datum: 12.04.2024  
geprüft:  
Datum:



Geologie	Konsistenz	Grundwassersystem
Mutterboden	breiig bis weich	Grundwasser nach Arbeitende
Auelehm	weich	Grundwasserruhepegel
Auesand	weich bis steif	Grundwasserruhepegel
Anmoor	steif	
Talkies	steif bis halbfest	
Molassesand	halbfest	
Molassemergel	halbfest bis fest	
Molassemergelstein		

Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH  
St. Ulrich-Straße 21, 88410 Bad Wurzach-Arnach  
Telefon 07564/94897-10 Telefax 07564/94897-99  
eMail geotechnik-ebel@t-online.de

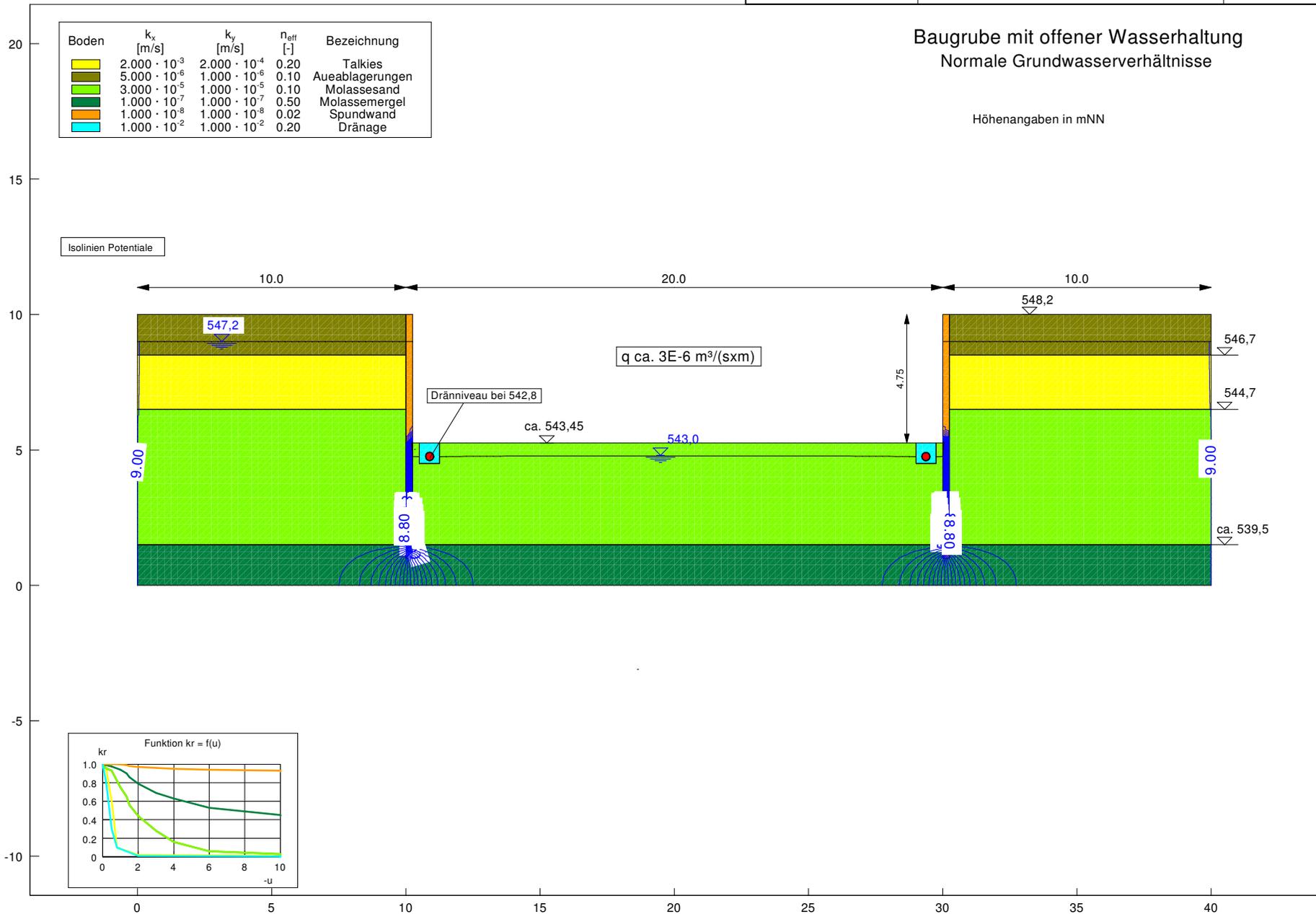
Vorhaben	Maßstab
<b>Maselheim, HRB Mittlere Halde Durchlassbauwerk</b>	1:100
	gezeichnet
	Str
	Datum
	12.04.2024
Plan Geotechnischer Querschnitt	geprüft
	Datum
Aktenzeichen	Anlage
210805	2.3

# Geohydraulik, stationär

## Baugrube mit offener Wasserhaltung Normale Grundwasserverhältnisse

Höhenangaben in mNN

Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage



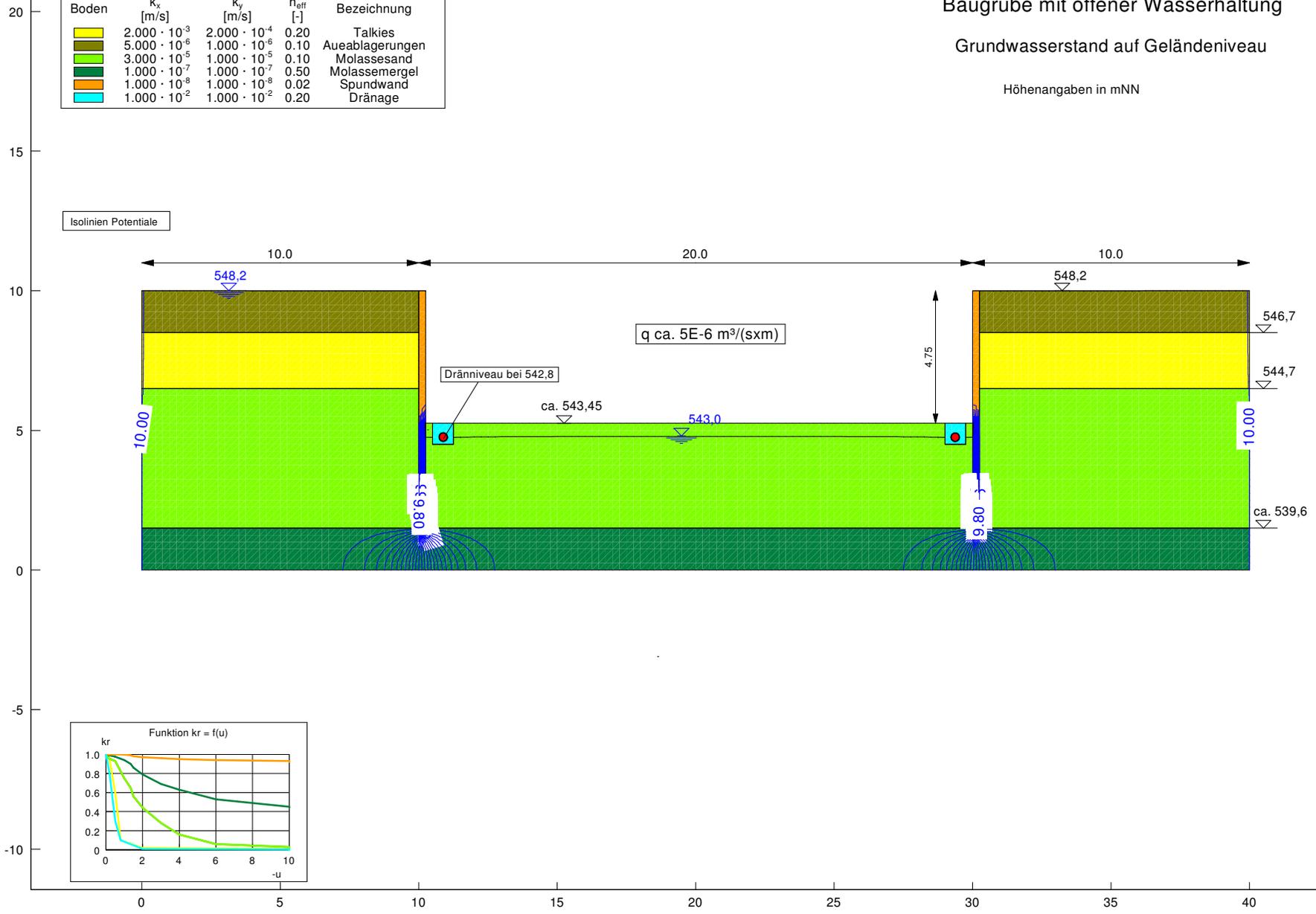
# Geohydraulik, stationär

Baugrube mit offener Wasserhaltung

Grundwasserstand auf Geländeniveau

Höhenangaben in mNN

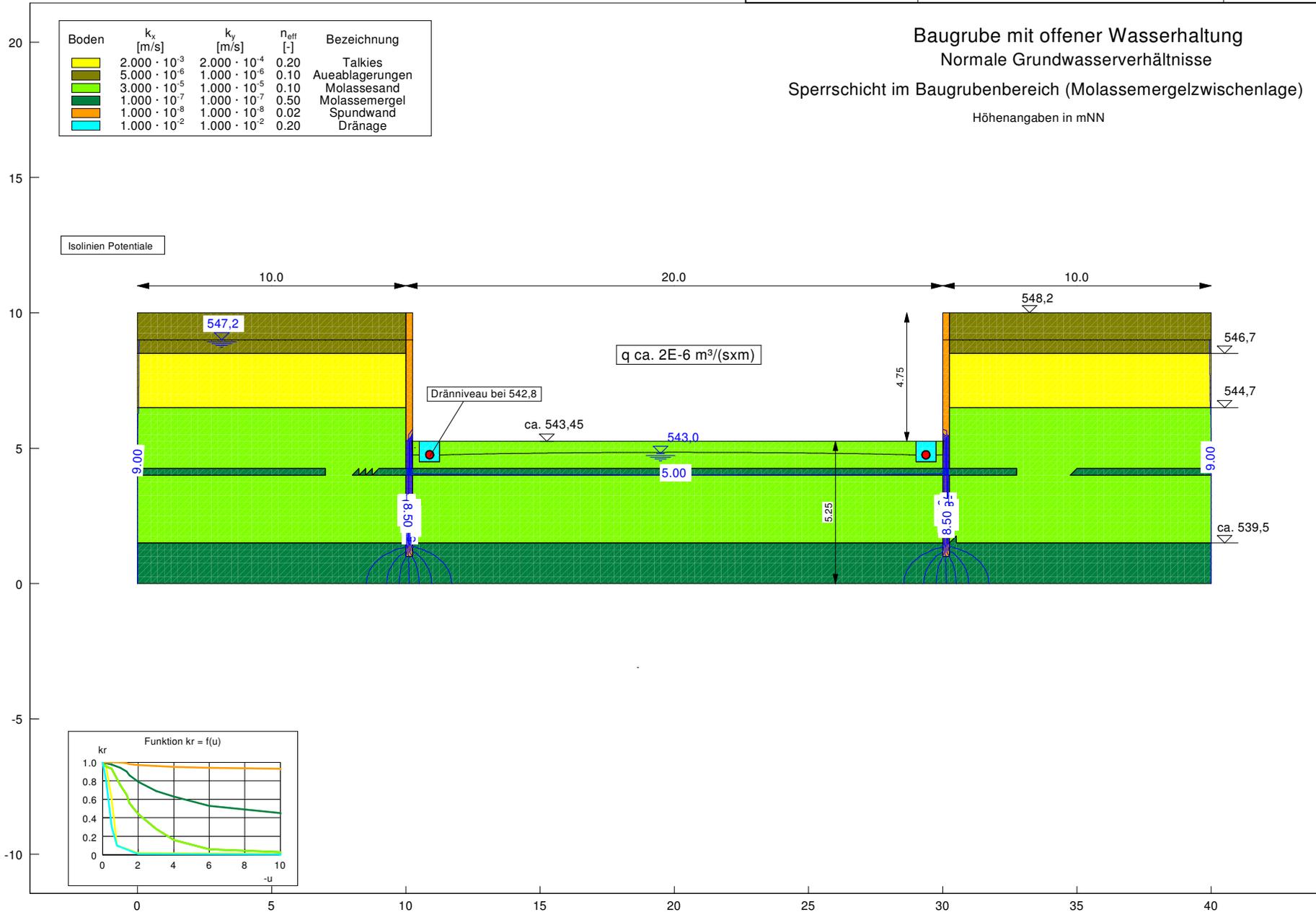
Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage



# Geohydraulik, stationär

Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage

Baugrube mit offener Wasserhaltung  
 Normale Grundwasserverhältnisse  
 Sperrschicht im Baugrubenbereich (Molassemergelzwischenlage)  
 Höhenangaben in mNN

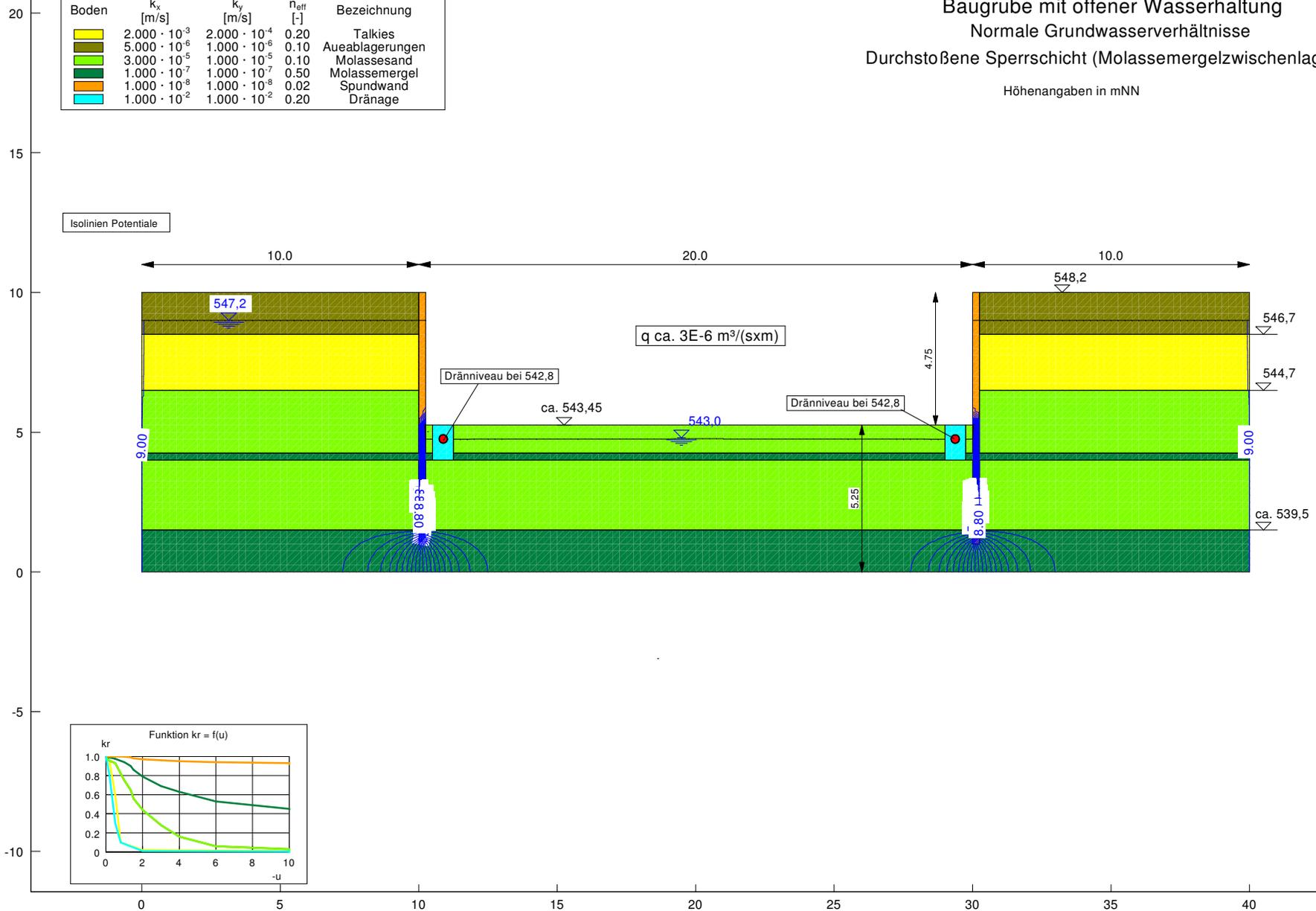




# Geohydraulik, stationär

**Baugrube mit offener Wasserhaltung**  
 Normale Grundwasserverhältnisse  
 Durchstoßene Sperrschicht (Molassemergelzwischenlage)  
 Höhenangaben in mNN

Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage



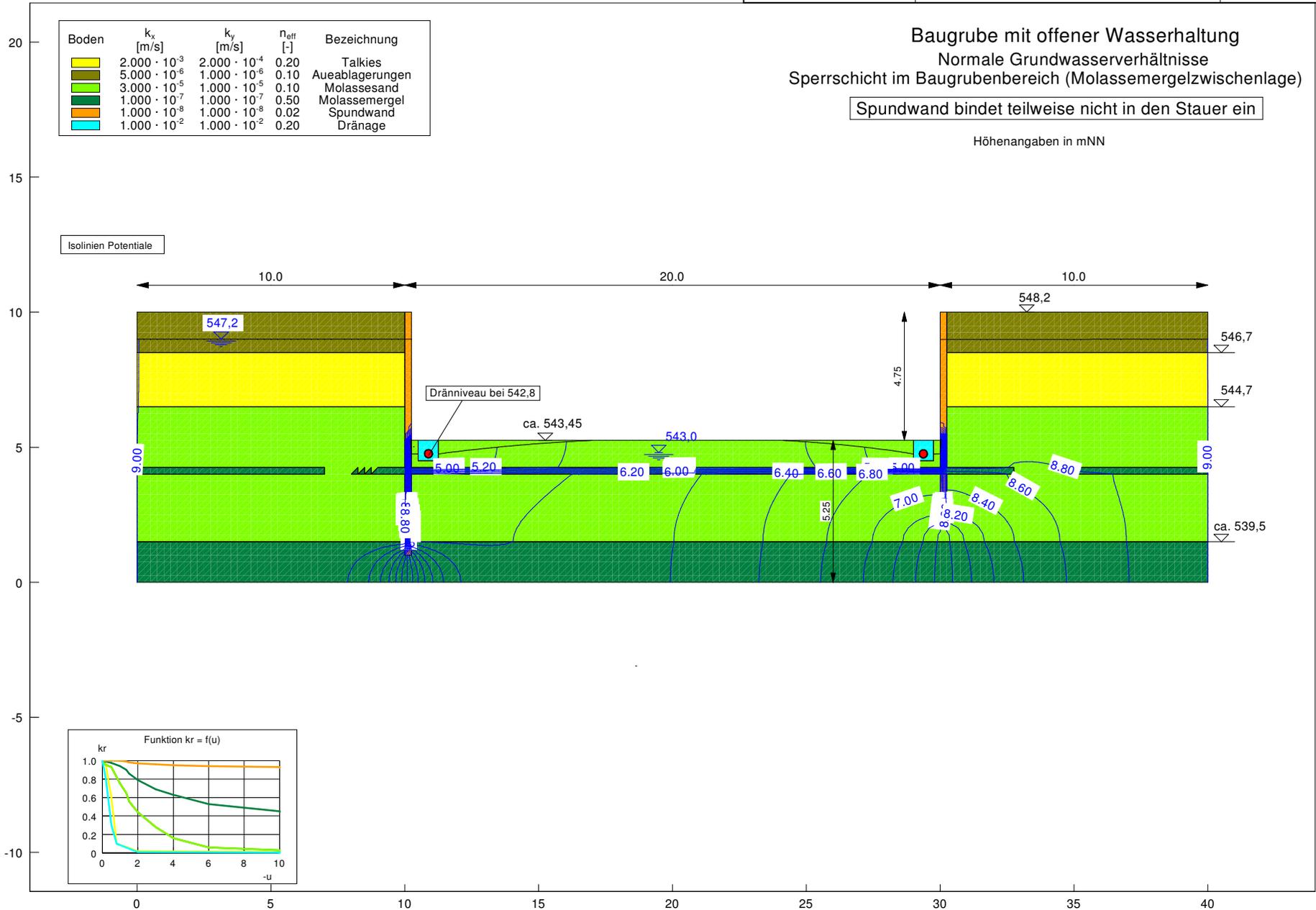
# Geohydraulik, stationär

Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage

Baugrube mit offener Wasserhaltung  
Normale Grundwasserverhältnisse  
Sperrschicht im Baugrubenbereich (Molassemergelzwischenlage)

Spundwand bindet teilweise nicht in den Stauer ein

Höhenangaben in mNN



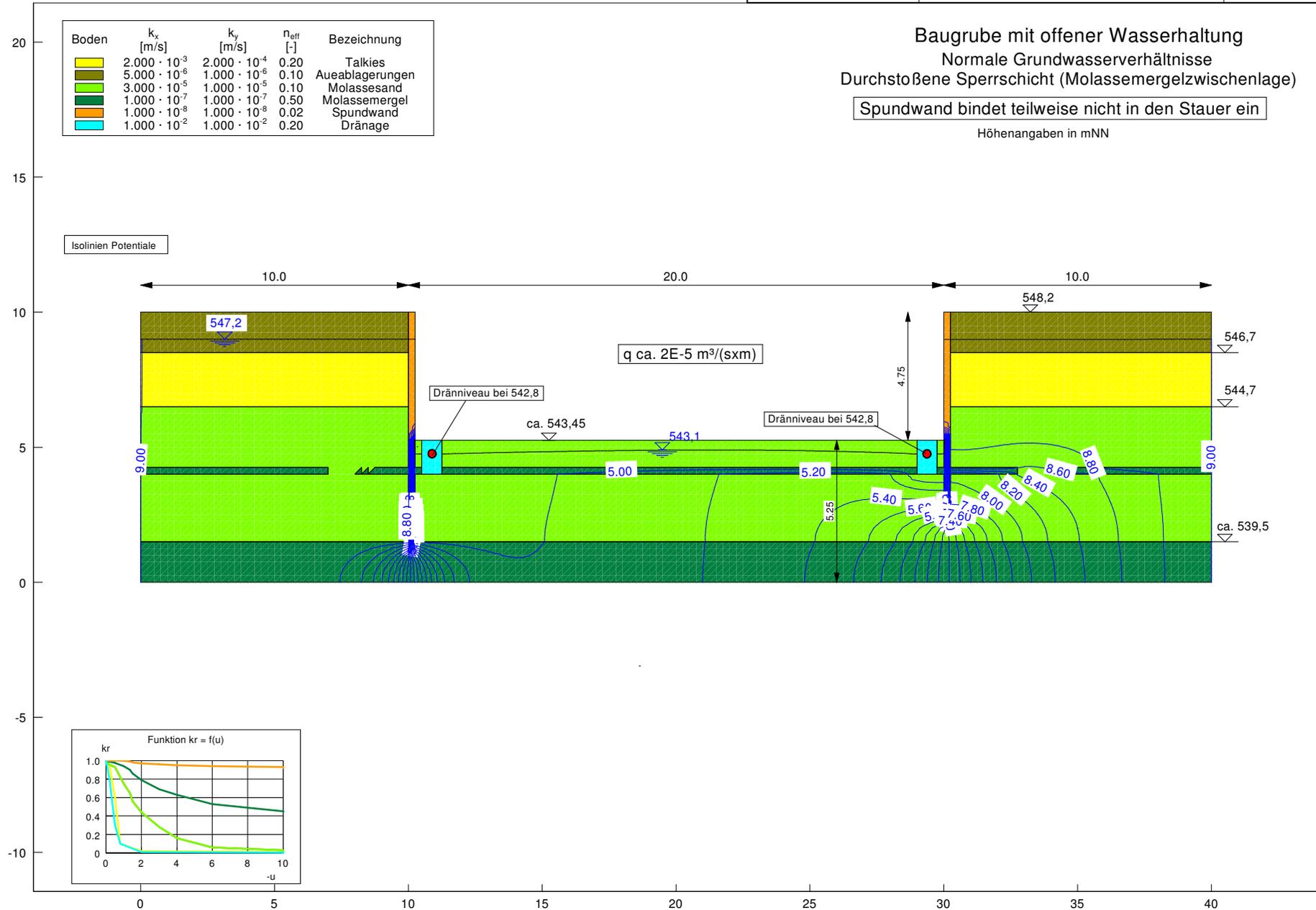
# Geohydraulik, stationär

Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage

Baugrube mit offener Wasserhaltung  
Normale Grundwasserverhältnisse  
Durchstoßene Sperrschicht (Molassemergelzwischenlage)

Spundwand bindet teilweise nicht in den Stauer ein

Höhenangaben in mNN

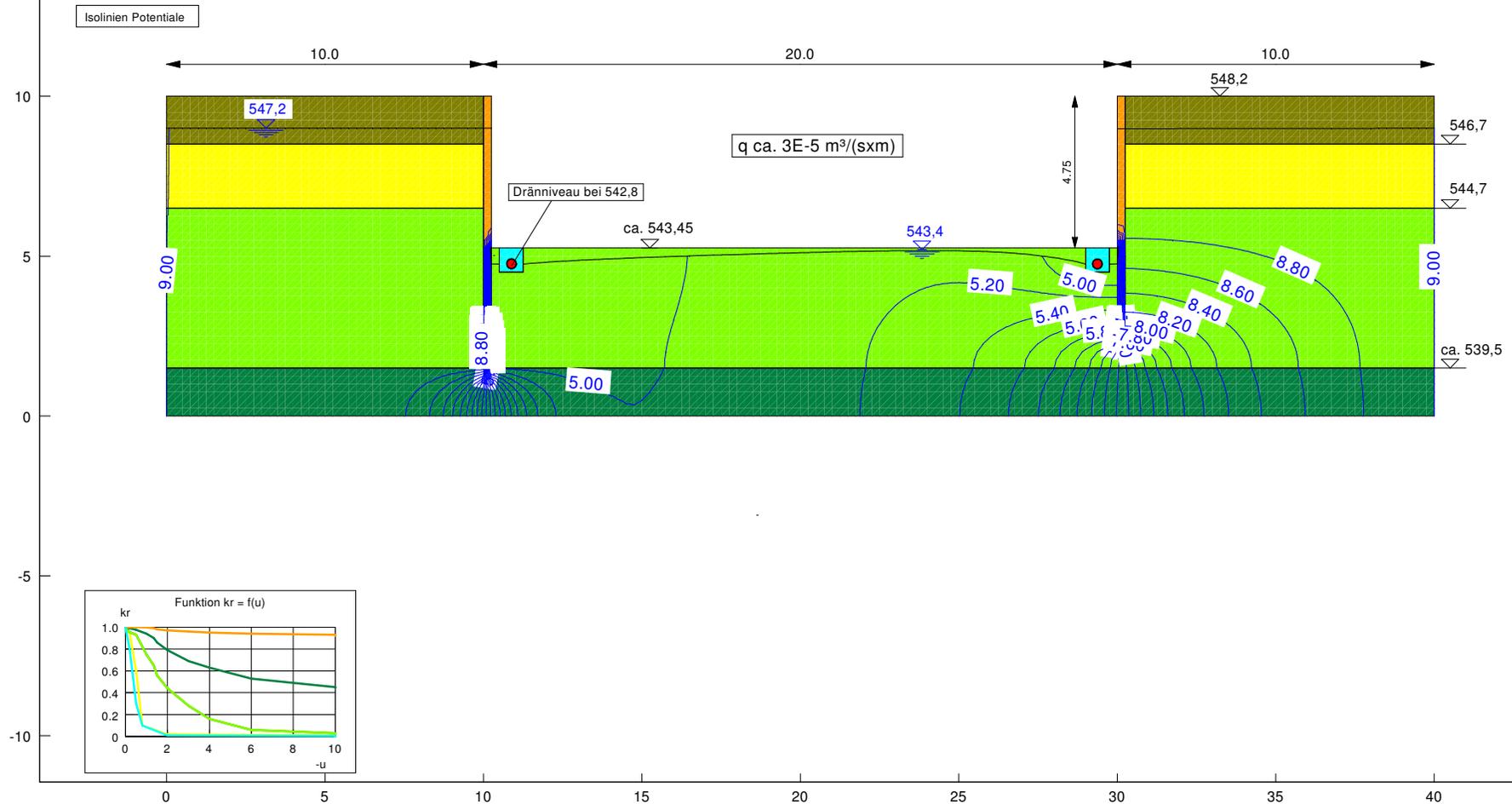


# Geohydraulik, stationär

Boden	$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]	$n_{eff}$ [-]	Bezeichnung
	$2.000 \cdot 10^{-3}$	$2.000 \cdot 10^{-4}$	0.20	Talkies
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.10	Aueablagerungen
	$3.000 \cdot 10^{-5}$	$1.000 \cdot 10^{-5}$	0.10	Molassesand
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.50	Molassemergel
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.02	Spundwand
	$1.000 \cdot 10^{-2}$	$1.000 \cdot 10^{-2}$	0.20	Dränage

Baugrube mit offener Wasserhaltung  
Normale Grundwasserverhältnisse  
Spundwand bindet teilweise nicht in den Stauer ein

Höhenangaben in mNN



Dr. Ebel & Co. GmbH  
 Bad Wurzach - Arnach  
 Betzigau b. Kempten

Maselheim, HRB Mittlere Halde  
 Baugrube Durchlassbauwerk  
 Hydraulischer Grundbruch

AZ	210805
Anlage	4.1

### Molassesand ohne sperrende Zwischenschicht

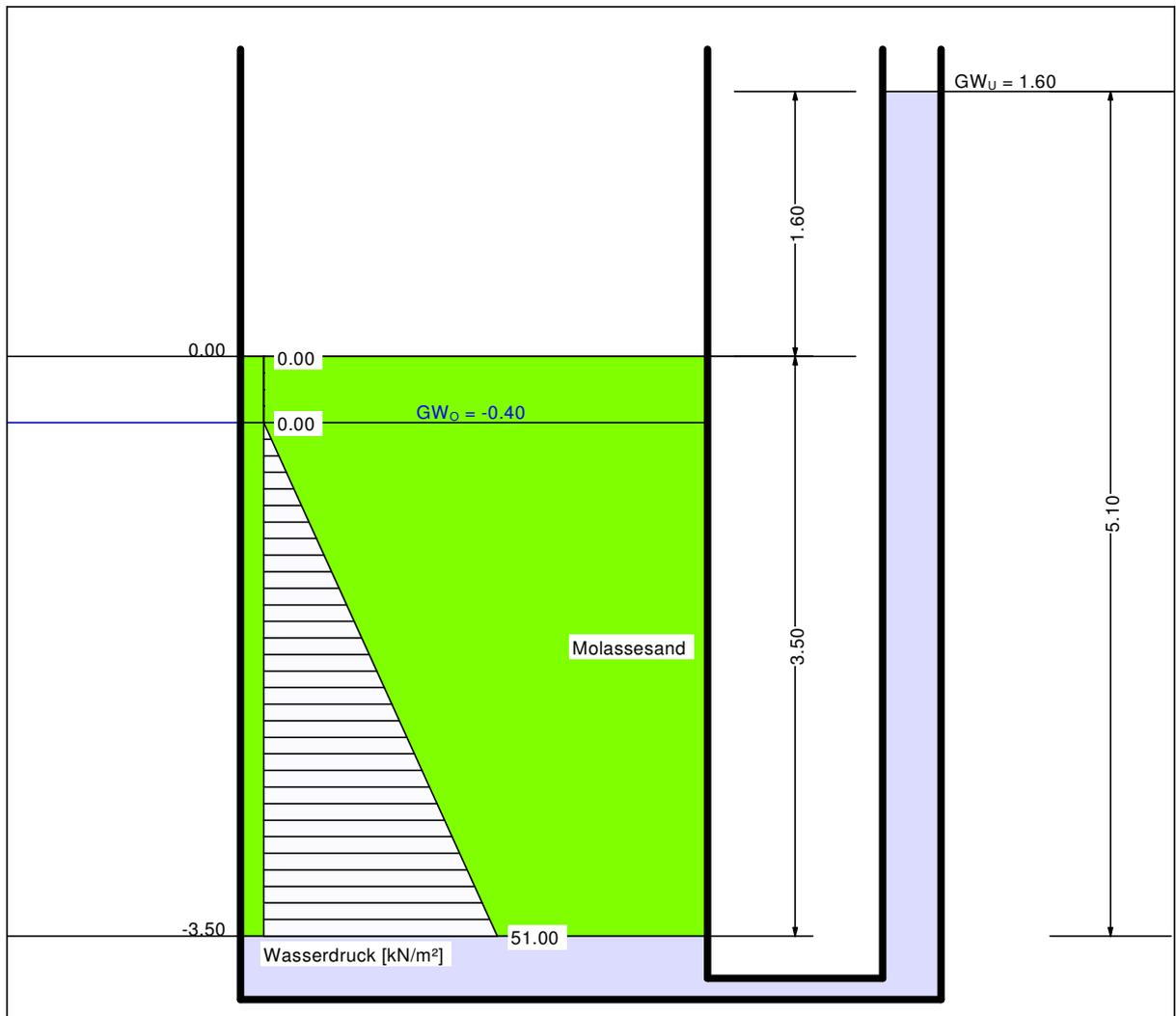
Baugrubensohle bei 543,3 mNN

Maximal zulässiger Sohldruck im Bereich der Baugrubenmitte

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P

Norm: EC 7  
 Teilsicherheiten:  
 $\gamma_{G,dst} = 1.050$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.950$   
 $\gamma_H = 1.900$

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	k [m/s]	Bezeichnung
	20.00	11.00	$2.0 \cdot 10^{-5}$	Molassesand



**Auftriebssicherheit**  
 Ausnutzungsgrad  $\mu = 0.771$   
 bei = -3.500 mNHN  
 Gewicht = 73.100 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$  (Gewicht) = 0.950  
 PW-Druck = 51.000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,dst} = \gamma$  (PW-Druck) = 1.050  
 $\mu = 1.050 \cdot 51.000 / (0.950 \cdot 73.100)$

**Hydraulische Grundbruchsicherheit**  
 Ausnutzungsgrad  $\mu = 0.950$   
 bei = -3.500 mNHN  
 Gewicht = 42.100 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$  (Gewicht) = 0.950  
 Strömungskraft = 20.000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_H = \gamma$  (Strömungskraft) = 1.900  
 $\mu = 1.900 \cdot 20.000 / (0.950 \cdot 42.100)$

Molassemergelsperrschicht im Molassesand

Stärke der Sperrschicht: um 0,5 m

Baugrubensohle bei 543,3 mNN

Maximal zulässiger Sohldruck im Bereich der Baugrubenmitte

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P

Norm: EC 7

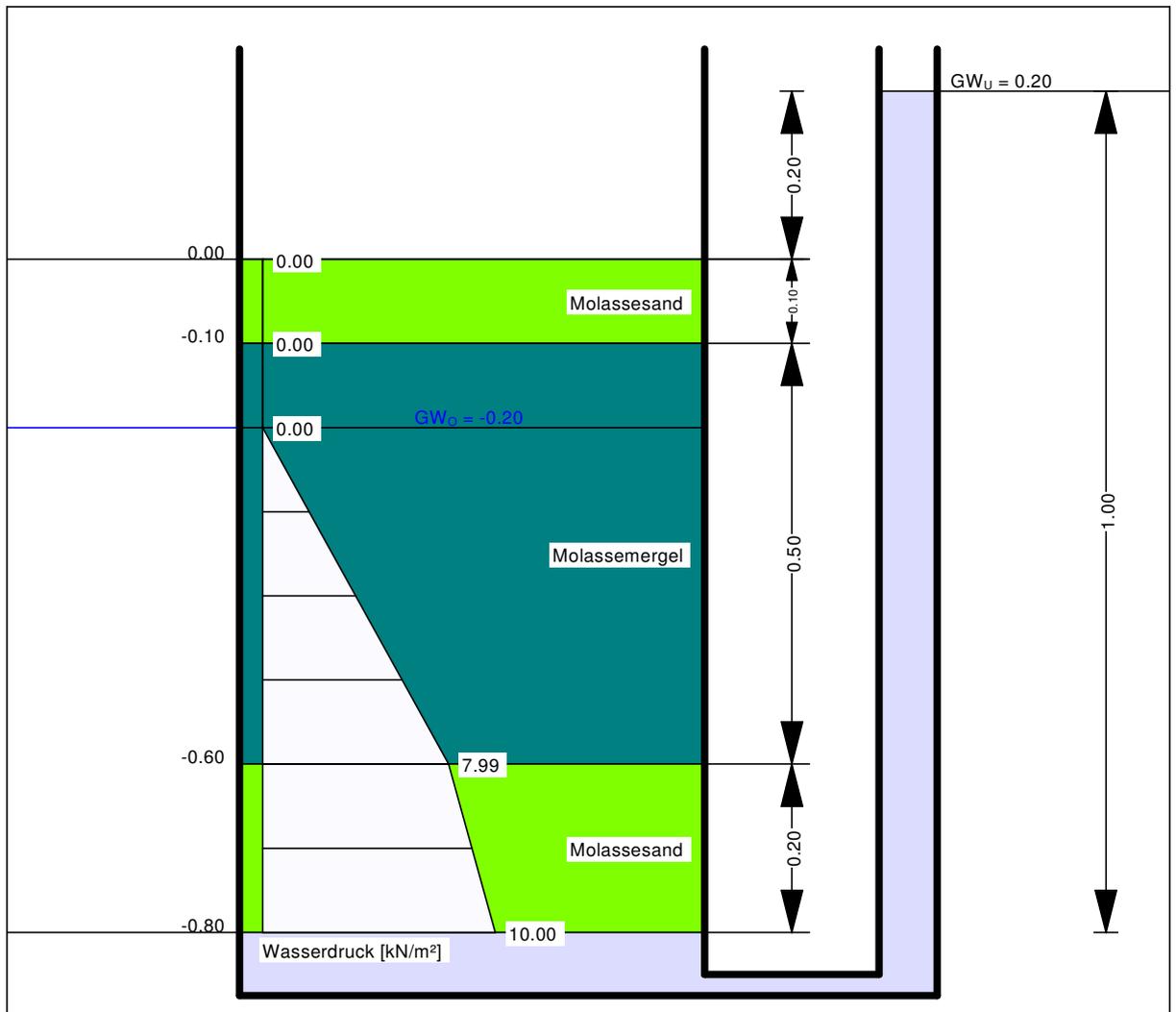
Teilsicherheiten:

$$\gamma_{G,dst} = 1.050$$

$$\gamma_{G,stab} = 0.950$$

$$\gamma_H = 1.900$$

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	k [m/s]	Bezeichnung
	20.00	11.00	$2.0 \cdot 10^{-5}$	Molassesand
	20.00	10.00	$1.0 \cdot 10^{-7}$	Molassemergel
	20.00	11.00	$2.0 \cdot 10^{-5}$	Molassesand



**Auftriebssicherheit**  
Ausnutzungsgrad  $\mu = 0.736$   
bei = -0.600 mNHN  
Gewicht = 12.000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$  (Gewicht) = 0.950  
PW-Druck = 7.990 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,dst} = \gamma$  (PW-Druck) = 1.050  
 $\mu = 1.050 \cdot 7.990 / (0.950 \cdot 12.000)$

**Hydraulische Grundbruchsicherheit**  
Ausnutzungsgrad  $\mu = 0.998$   
bei = -0.600 mNHN  
Gewicht = 8.000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$  (Gewicht) = 0.950  
Strömungskraft = 3.990 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_H = \gamma$  (Strömungskraft) = 1.900  
 $\mu = 1.900 \cdot 3.990 / (0.950 \cdot 8.000)$

Dr. Ebel & Co. GmbH  
 Bad Wurzach - Arnach  
 Betzigau b. Kempten

Maselheim, HRB Mittlere Halde  
 Baugrube Durchlassbauwerk  
 Hydraulischer Grundbruch

AZ 210805  
 Anlage 4.3

**Molasseemergelsperrschicht im Molassesand**

Stärke der Sperrschicht: um 1 m

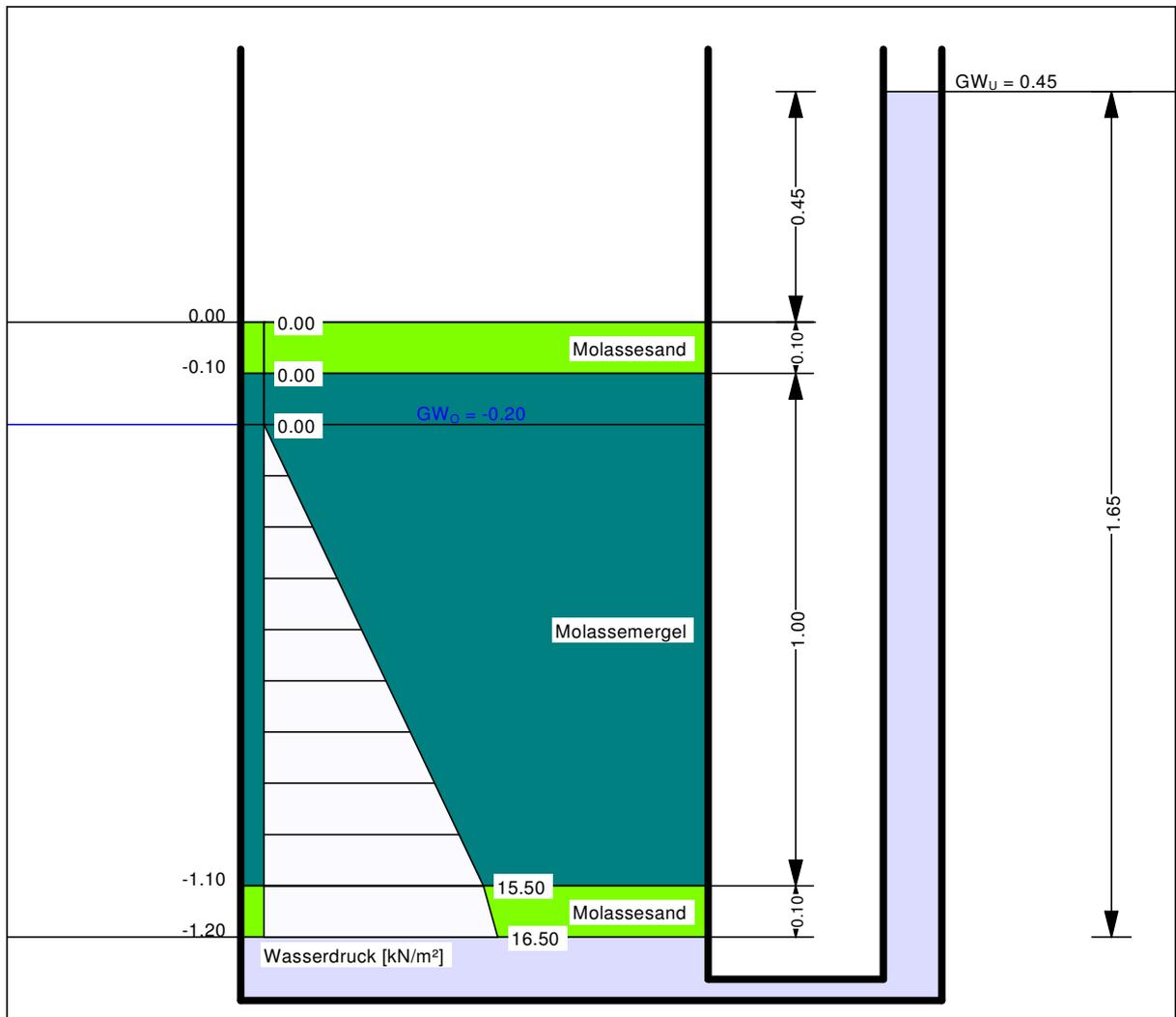
Baugrubensohle bei 543,3 mNN

Maximal zulässiger Sohldruck im Bereich der Baugrubenmitte

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P

Norm: EC 7  
 Teilsicherheiten:  
 $\gamma_{G,dst} = 1.050$   
 $\gamma_{G,stab} = 0.950$   
 $\gamma_H = 1.900$

Boden	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	k [m/s]	Bezeichnung
	20.00	11.00	$2.0 \cdot 10^{-5}$	Molassesand
	20.00	10.00	$1.0 \cdot 10^{-7}$	Molassemergel
	20.00	11.00	$2.0 \cdot 10^{-5}$	Molassesand



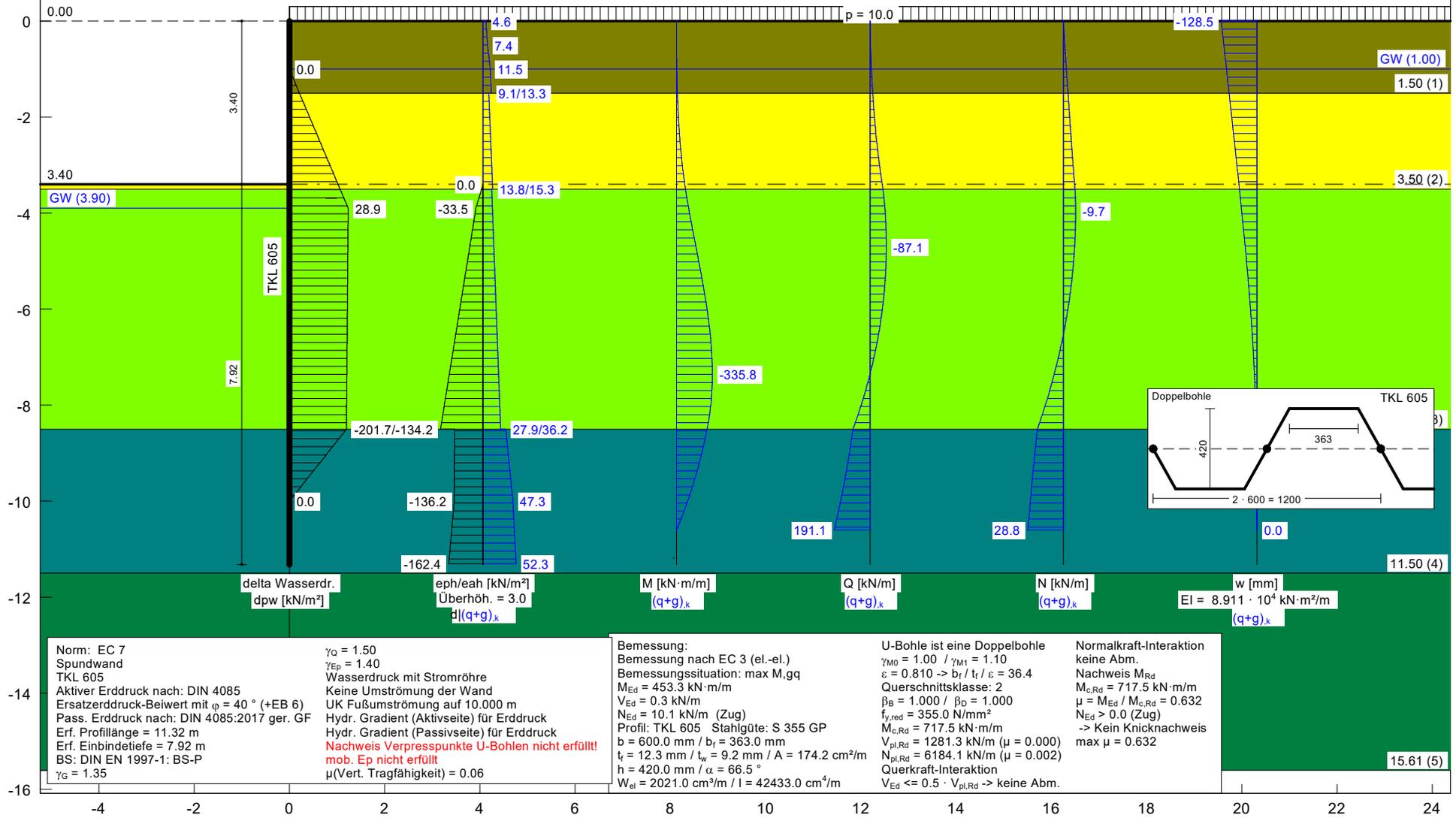
**Auftriebssicherheit**  
 Ausnutzungsgrad  $\mu = 0.779$   
 bei = -1.100 mNHN  
 Gewicht = 22.000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$  (Gewicht) = 0.950  
 PW-Druck = 15.496 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,dst} = \gamma$  (PW-Druck) = 1.050  
 $\mu = 1.050 \cdot 15.496 / (0.950 \cdot 22.000)$

**Hydraulische Grundbruchsicherheit**  
 Ausnutzungsgrad  $\mu = 0.999$   
 bei = -1.100 mNHN  
 Gewicht = 13.000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$  (Gewicht) = 0.950  
 Strömungskraft = 6.496 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma_H = \gamma$  (Strömungskraft) = 1.900  
 $\mu = 1.900 \cdot 6.496 / (0.950 \cdot 13.000)$

# Vordimensionierung Baugrubenumschließung

Baugrubentiefe 3,4 m  
Außenwasserstand 1m unter Geländeneiveau  
Ohne Wandstützung  
Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054, BS-P

Boden	$\gamma_k$ [kN/m³]	$\gamma'_{k,k}$ [kN/m³]	$\varphi_k$ [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$\delta/\varphi$ passiv	$\delta/\varphi$ aktiv	$q_c$ [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
0-1.50	18.0	8.0	20.0	1.0	1.0	-0.333	0.333	0.00	30.00	Aueablagerungen
1.50-3.50	20.0	11.0	32.5	0.0	0.0	-0.200	0.200	10.00	0.00	Talkies
3.50-7.92	20.0	11.0	35.0	0.0	0.0	-0.200	0.200	15.00	0.00	Molassesand
7.92-11.50	20.0	10.0	25.0	5.0	5.0	-0.200	0.200	15.00	0.00	Molassemergel
11.50-15.61	22.0	12.0	27.5	15.0	15.0	-0.200	0.200	25.00	0.00	Mergel, fest



Norm: EC 7  
Spundwand  
TKL 605  
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085  
Ersatzerddruck-Beiwert mit  $\varphi = 40^\circ$  (+EB 6)  
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017 ger. GF  
Erf. Profillänge = 11,32 m  
Erf. Einbindtiefe = 7,92 m  
BS: DIN EN 1997-1: BS-P  
 $\gamma_G = 1.35$

$\gamma_G = 1.50$   
 $\gamma_{Ep} = 1.40$   
Wasserdruck mit Stromröhre  
Keine Umströmung der Wand  
UK Fußumströmung auf 10.000 m  
Hydr. Gradient (Aktivseite) für Erddruck  
Hydr. Gradient (Passivseite) für Erddruck  
**Nachweis Verpresspunkte U-Bohlen nicht erfüllt!**  
**mob. Ep nicht erfüllt**  
 $\mu(\text{Vert. Tragfähigkeit}) = 0.06$

Bemessung:  
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)  
Bemessungssituation: max M,gq  
 $M_{Ed} = 453.3 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$   
 $V_{Ed} = 0.3 \text{ kN/m}$   
 $N_{Ed} = 10.1 \text{ kN/m}$  (Zug)  
Profil: TKL 605 Stahlgüte: S 355 GP  
 $b = 600.0 \text{ mm} / b_f = 363.0 \text{ mm}$   
 $t_f = 12.3 \text{ mm} / t_{wf} = 9.2 \text{ mm} / A = 174.2 \text{ cm}^2/\text{m}$   
 $h = 420.0 \text{ mm} / \alpha = 66.5^\circ$   
 $W_{el} = 2021.0 \text{ cm}^3/\text{m} / I = 42433.0 \text{ cm}^4/\text{m}$

U-Bohle ist eine Doppelbohle  
 $\gamma_{M0} = 1.00 / \gamma_{M1} = 1.10$   
 $\epsilon = 0.810 \rightarrow b_f / t_f / \epsilon = 36.4$   
Querschnittsklasse: 2  
 $\beta_B = 1.000 / \beta_D = 1.000$   
 $f_{y,red} = 355.0 \text{ N/mm}^2$   
 $M_{c,Rd} = 717.5 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$   
 $V_{pl,Rd} = 1281.3 \text{ kN/m}$  ( $\mu = 0.000$ )  
 $N_{pl,Rd} = 6184.1 \text{ kN/m}$  ( $\mu = 0.002$ )  
Querkraft-Interaktion  
 $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,Rd} \rightarrow$  keine Abm.

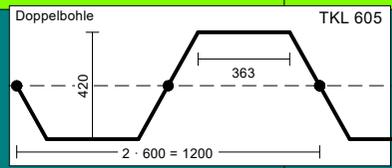
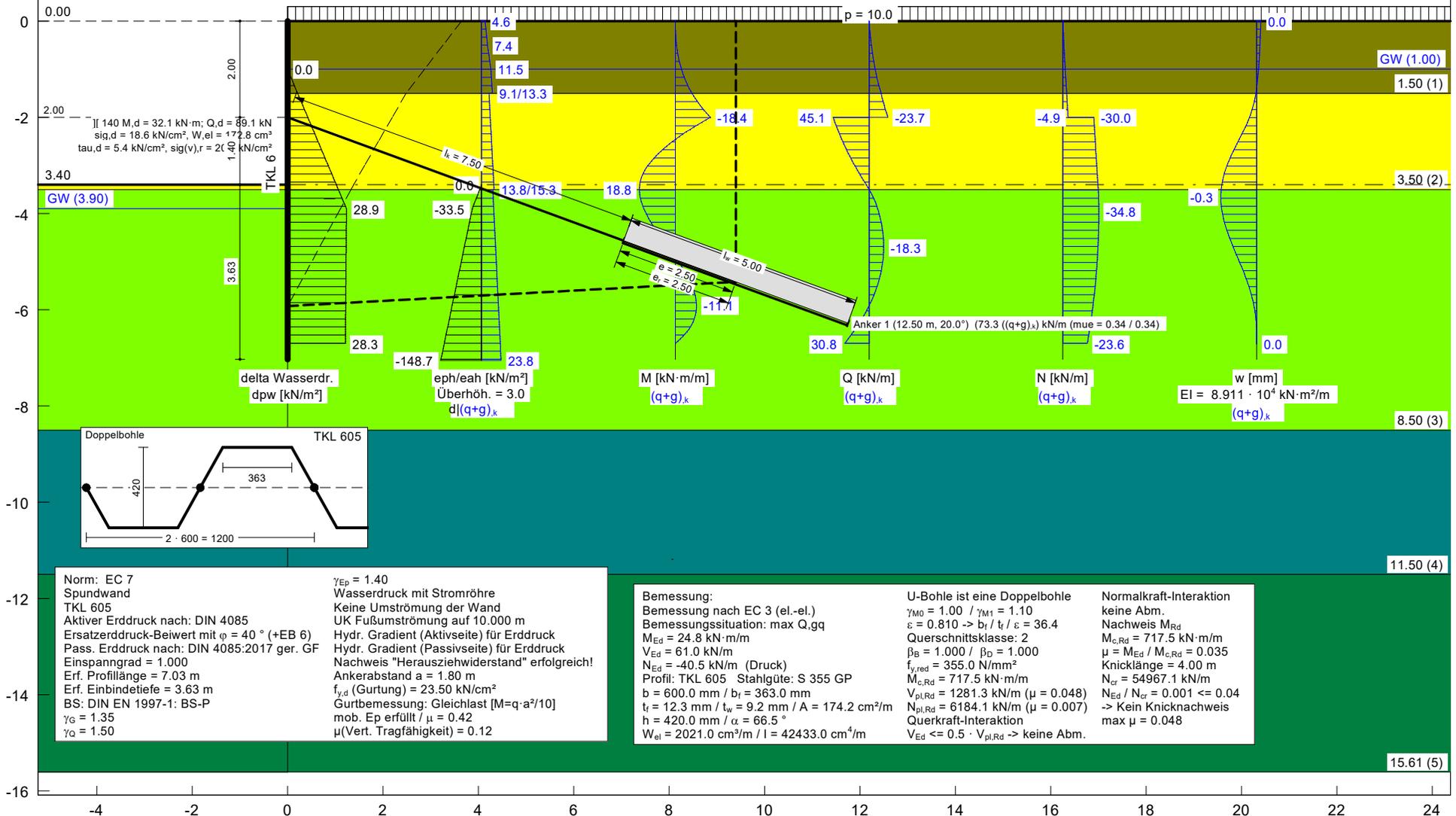
Normalkraft-Interaktion  
keine Abm.  
Nachweis  $M_{Rd}$   
 $M_{c,Rd} = 717.5 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$   
 $\mu = M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.632$   
 $N_{Ed} > 0.0$  (Zug)  
 $\rightarrow$  Kein Knicknachweis  
max  $\mu = 0.632$

$EI = 8.911 \cdot 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}^2/\text{m}$   
 $w$  [mm]  
 $(q+g)_k$

# Vordimensionierung Baugrubenumschließung

Boden	$\gamma_k$ [kN/m³]	$\gamma'_{k,k}$ [kN/m³]	$\varphi_k$ [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$\delta/\varphi$ passiv	$\delta/\varphi$ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_c$ [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
0-2 m	18.0	8.0	20.0	1.0	1.0	-0.333	0.333	100.00	0.00	30.00	Aueablagerungen
2-3 m	20.0	11.0	32.5	0.0	0.0	-0.200	0.200	100.00	10.00	0.00	Talkies
3-4 m	20.0	11.0	35.0	0.0	0.0	-0.200	0.200	160.00	15.00	0.00	Molassesand
4-6 m	20.0	10.0	25.0	5.0	5.0	-0.200	0.200	125.00	15.00	0.00	Molassemergel
6-16 m	22.0	12.0	27.5	15.0	15.0	-0.200	0.200	200.00	25.00	0.00	Mergel, fest

Baugrubentiefe 3,4 m  
Außenwasserstand 1 m unter Geländeniveau  
einfache Rückverankerung mit Gurtung  
Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054, BS-P



Norm: EC 7  
Spundwand  
TKL 605  
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085  
Ersatzerddruck-Beiwert mit  $\varphi = 40^\circ$  (+EB 6)  
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017 ger. GF  
Einspanngrad = 1.000  
Erf. Profillänge = 7.03 m  
Erf. Einbindtiefe = 3.63 m  
BS: DIN EN 1997-1: BS-P  
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$

$\gamma_{Ep} = 1.40$   
Wasserdruck mit Stromröhre  
Keine Umströmung der Wand  
UK Fußumströmung auf 10.000 m  
Hydr. Gradient (Aktivseite) für Erddruck  
Hydr. Gradient (Passivseite) für Erddruck  
Nachweis "Herausziehwiderstand" erfolgreich!  
Ankerabstand  $a = 1.80$  m  
 $f_{y,d}$  (Gürtung) = 23.50 kN/cm²  
Gürtbemessung: Gleichlast  $[M=q \cdot a^2/10]$   
mob.  $E_p$  erfüllt /  $\mu = 0.42$   
 $\mu$  (Vert. Tragfähigkeit) = 0.12

Bemessung:  
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)  
Bemessungssituation: max Q, q, q<sub>g</sub>  
 $M_{Ed} = 24.8$  kN·m/m  
 $V_{Ed} = 61.0$  kN/m  
 $N_{Ed} = -40.5$  kN/m (Druck)  
Profil: TKL 605 Stahlgüte: S 355 GP  
 $b = 600.0$  mm /  $b_f = 363.0$  mm  
 $t_f = 12.3$  mm /  $t_w = 9.2$  mm /  $A = 174.2$  cm²/m  
 $h = 420.0$  mm /  $\alpha = 66.5^\circ$   
 $W_{el} = 2021.0$  cm³/m /  $I = 42433.0$  cm⁴/m

U-Bohle ist eine Doppelbohle  
 $\gamma_{M0} = 1.00$  /  $\gamma_{M1} = 1.10$   
 $\varepsilon = 0.810 \rightarrow b_f / t_f / \varepsilon = 36.4$   
Querschnittsklasse: 2  
 $\beta_B = 1.000$  /  $\beta_D = 1.000$   
 $f_{y,red} = 355.0$  N/mm²  
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN·m/m  
 $V_{pl,Rd} = 1281.3$  kN/m ( $\mu = 0.048$ )  
 $N_{pl,Rd} = 6184.1$  kN/m ( $\mu = 0.007$ )  
Querkraft-Interaktion  
 $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,Rd} \rightarrow$  keine Abm.

Normalkraft-Interaktion  
keine Abm.  
Nachweis  $M_{Rd}$   
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN·m/m  
 $\mu = M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.035$   
Knicklänge = 4.00 m  
 $N_{cr} = 54967.1$  kN/m  
 $N_{Ed} / N_{cr} = 0.001 \leq 0.04$   
 $\rightarrow$  Kein Knicknachweis  
max  $\mu = 0.048$

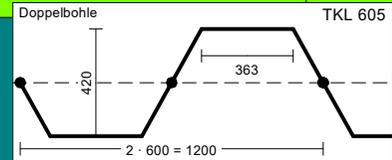
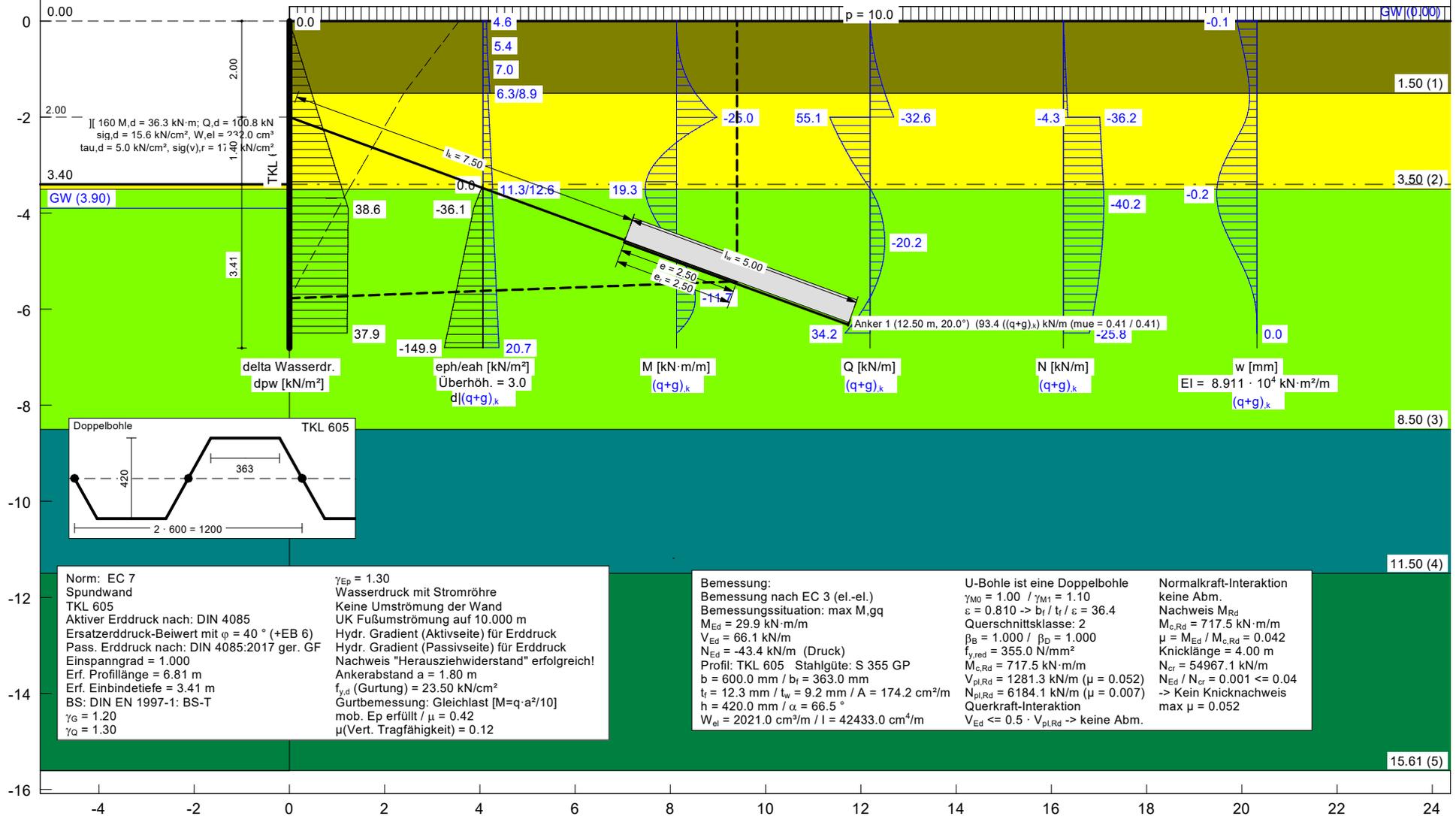
11.50 (4)

15.61 (5)

# Vordimensionierung Baugrubenumschließung

Baugrubentiefe 3,4 m  
Außenwasserstand auf Geländeneiveau  
einfache Rückverankerung mit Gurtung  
Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054, BS-T

Boden	$\gamma_k$ [kN/m³]	$\gamma'_{k,k}$ [kN/m³]	$\varphi_k$ [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$\delta/\varphi$ passiv	$\delta/\varphi$ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_c$ [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
0-2.00	18.0	8.0	20.0	1.0	1.0	-0.333	0.333	100.00	0.00	30.00	Aueablagerungen
2.00-3.40	20.0	11.0	32.5	0.0	0.0	-0.200	0.200	100.00	10.00	0.00	Talkies
3.40-4.60	20.0	11.0	35.0	0.0	0.0	-0.200	0.200	160.00	15.00	0.00	Molassesand
4.60-5.40	20.0	10.0	25.0	5.0	5.0	-0.200	0.200	125.00	15.00	0.00	Molassemergel
5.40-16.00	22.0	12.0	27.5	15.0	15.0	-0.200	0.200	200.00	25.00	0.00	Mergel, fest



Norm: EC 7  
Spundwand  
TKL 605  
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085  
Ersatzerddruck-Beiwert mit  $\varphi = 40^\circ$  (+EB 6)  
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017 ger. GF  
Einspanngrad = 1.000  
Erf. Profillänge = 6.81 m  
Erf. Einbindtiefe = 3.41 m  
BS: DIN EN 1997-1: BS-T  
 $\gamma_G = 1.20$   
 $\gamma_Q = 1.30$

$\gamma_{Ep} = 1.30$   
Wasserdruck mit Stromröhre  
Keine Umströmung der Wand  
UK Fußumströmung auf 10.000 m  
Hydr. Gradient (Aktivseite) für Erddruck  
Hydr. Gradient (Passivseite) für Erddruck  
Nachweis "Herausziehwiderstand" erfolgreich!  
Ankerabstand  $a = 1.80$  m  
 $f_{y,d}$  (Gürtung) = 23.50 kN/cm²  
Gürtelbemessung: Gleichlast  $[M=q \cdot a^2/10]$   
mob. Ep erfüllt /  $\mu = 0.42$   
 $\mu$  (Vert. Tragfähigkeit) = 0.12

Bemessung:  
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)  
Bemessungssituation: max M,qg  
 $M_{Ed} = 29.9$  kN·m/m  
 $V_{Ed} = 66.1$  kN/m  
 $N_{Ed} = -43.4$  kN/m (Druck)  
Profil: TKL 605 Stahlgüte: S 355 GP  
 $b = 600.0$  mm /  $b_f = 363.0$  mm  
 $t_f = 12.3$  mm /  $t_w = 9.2$  mm /  $A = 174.2$  cm²/m  
 $h = 420.0$  mm /  $\alpha = 66.5^\circ$   
 $W_{el} = 2021.0$  cm³/m /  $I = 42433.0$  cm⁴/m

U-Bohle ist eine Doppelbohle  
 $\gamma_{M0} = 1.00$  /  $\gamma_{M1} = 1.10$   
 $\varepsilon = 0.810 \rightarrow b_f / t_f / \varepsilon = 36.4$   
Querschnittsklasse: 2  
 $\beta_B = 1.000$  /  $\beta_D = 1.000$   
 $f_{y,red} = 355.0$  N/mm²  
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN·m/m  
 $V_{pl,Rd} = 1281.3$  kN/m ( $\mu = 0.052$ )  
 $N_{pl,Rd} = 6184.1$  kN/m ( $\mu = 0.007$ )  
Querkraft-Interaktion  
 $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,Rd} \rightarrow$  keine Abm.

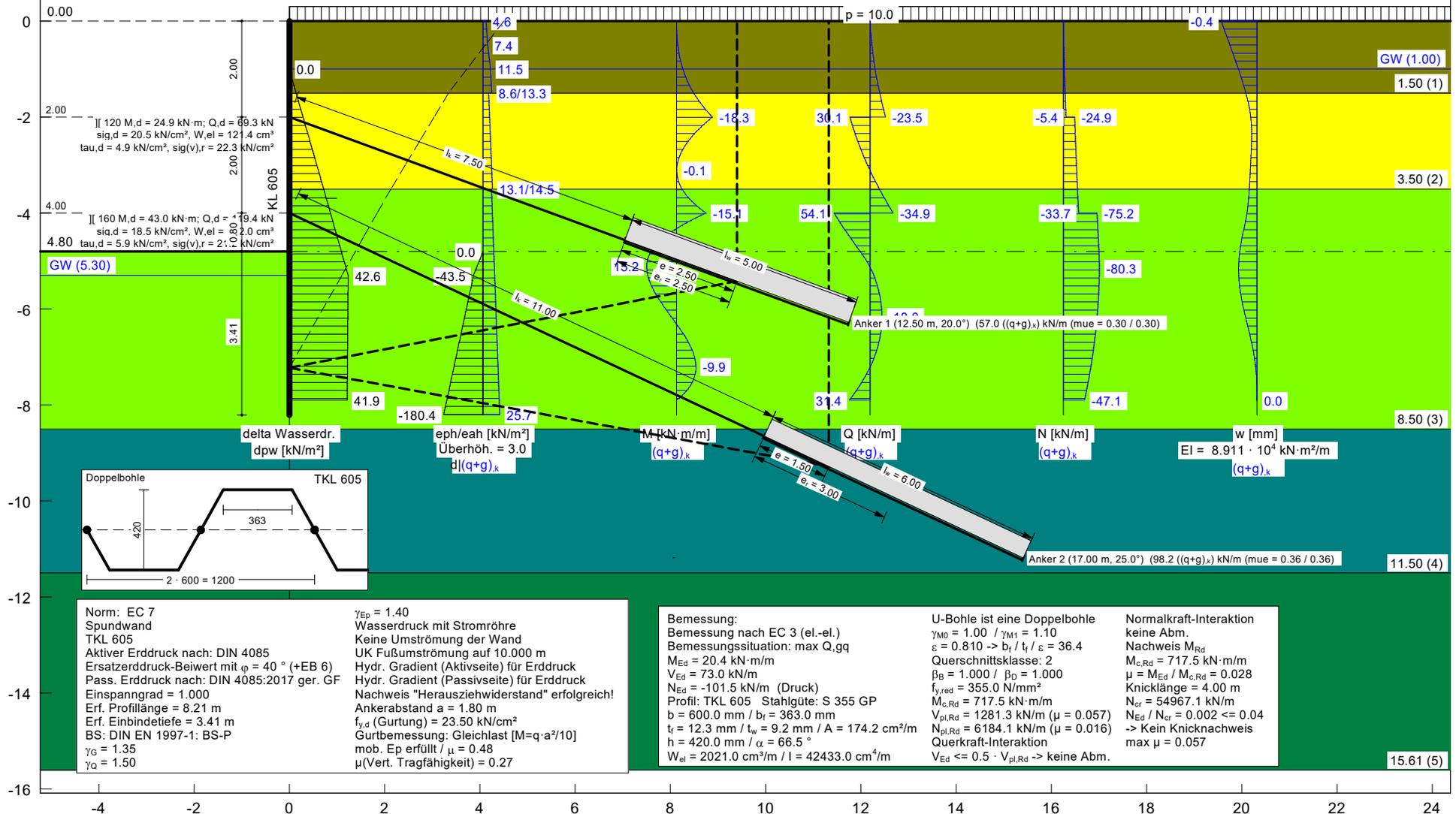
Normalkraft-Interaktion  
keine Abm.  
Nachweis  $M_{Rd}$   
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN·m/m  
 $\mu = M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.042$   
Knicklänge = 4.00 m  
 $N_{cr} = 54967.1$  kN/m  
 $N_{Ed} / N_{cr} = 0.001 \leq 0.04$   
 $\rightarrow$  Kein Knicknachweis  
max  $\mu = 0.052$

15.61 (5)

# Vordimensionierung Baugrubenumschließung

Boden	$\gamma_k$ [kN/m³]	$\gamma'_{k,1}$ [kN/m³]	$\varphi_k$ [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$\delta/\varphi$ passiv	$\delta/\varphi$ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_c$ [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
0.0 - 2.0	18.0	8.0	20.0	1.0	1.0	-0.333	0.333	100.00	0.00	30.00	Aueablagerungen
2.0 - 3.5	20.0	11.0	32.5	0.0	0.0	-0.400	0.400	100.00	10.00	0.00	Talkies
3.5 - 4.8	20.0	11.0	35.0	0.0	0.0	-0.400	0.400	160.00	15.00	0.00	Molassesand
4.8 - 8.5	20.0	10.0	25.0	5.0	5.0	-0.400	0.400	125.00	15.00	0.00	Molassemergel
8.5 - 11.5	22.0	12.0	27.5	15.0	15.0	-0.400	0.400	200.00	25.00	0.00	Mergel, fest

**Baugrubentiefe 4,8 m**  
Außenwasserstand 1 m unter Geländeneiveau  
zweifache Rückverankerung mit Gurtung  
Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054, BS-P



Norm: EC 7  
Spundwand  
TKL 605  
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085  
Ersatzerddruck-Beiwert mit  $\varphi = 40^\circ$  (+EB 6)  
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017 ger. GF  
Einspanngrad = 1.000  
Erf. Profillänge = 8.21 m  
Erf. Einbindtiefe = 3.41 m  
BS: DIN EN 1997-1: BS-P  
 $\gamma_G = 1.35$   
 $\gamma_Q = 1.50$

$\gamma_{Ea} = 1.40$   
Wasserdruck mit Stromröhre  
Keine Umströmung der Wand  
UK Fußumströmung auf 10.000 m  
Hydr. Gradient (Aktivseite) für Erddruck  
Hydr. Gradient (Passivseite) für Erddruck  
Nachweis "Herausziehverstand" erfolgreich!  
Ankerabstand  $a = 1.80$  m  
 $f_{y,d}$  (Gurtung) = 23.50 kN/cm²  
Gurtbemessung: Gleichlast  $[M=q \cdot a^2/10]$   
mob. Ep erfüllt /  $\mu = 0.48$   
 $\mu$  (Vert. Tragfähigkeit) = 0.27

Bemessung:  
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)  
Bemessungssituation: max Q, qg  
 $M_{Ed} = 20.4$  kN-m/m  
 $V_{Ed} = 73.0$  kN/m  
 $N_{Ed} = -101.5$  kN/m (Druck)  
Profil: TKL 605 Stahlgüte: S 355 GP  
 $b = 600.0$  mm /  $b_f = 363.0$  mm  
 $t_f = 12.3$  mm /  $t_w = 9.2$  mm /  $A = 174.2$  cm²/m  
 $h = 420.0$  mm /  $\alpha = 66.5^\circ$   
 $W_{el} = 2021.0$  cm³/m /  $I = 42433.0$  cm⁴/m

U-Bohle ist eine Doppelbohle  
 $\gamma_{M0} = 1.00$  /  $\gamma_{M1} = 1.10$   
 $\varepsilon = 0.810 \rightarrow b_f / t_f / \varepsilon = 36.4$   
Querschnittsklasse: 2  
 $\beta_B = 1.000$  /  $\beta_D = 1.000$   
 $f_{y,red} = 355.0$  N/mm²  
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN-m/m  
 $V_{pl,Rd} = 1281.3$  kN/m ( $\mu = 0.057$ )  
 $N_{pl,Rd} = 6184.1$  kN/m ( $\mu = 0.016$ )  
Querkraft-Interaktion  
 $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,Rd} \rightarrow$  keine Abm.

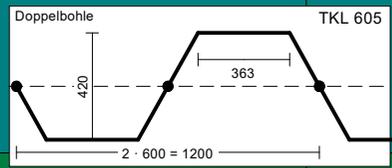
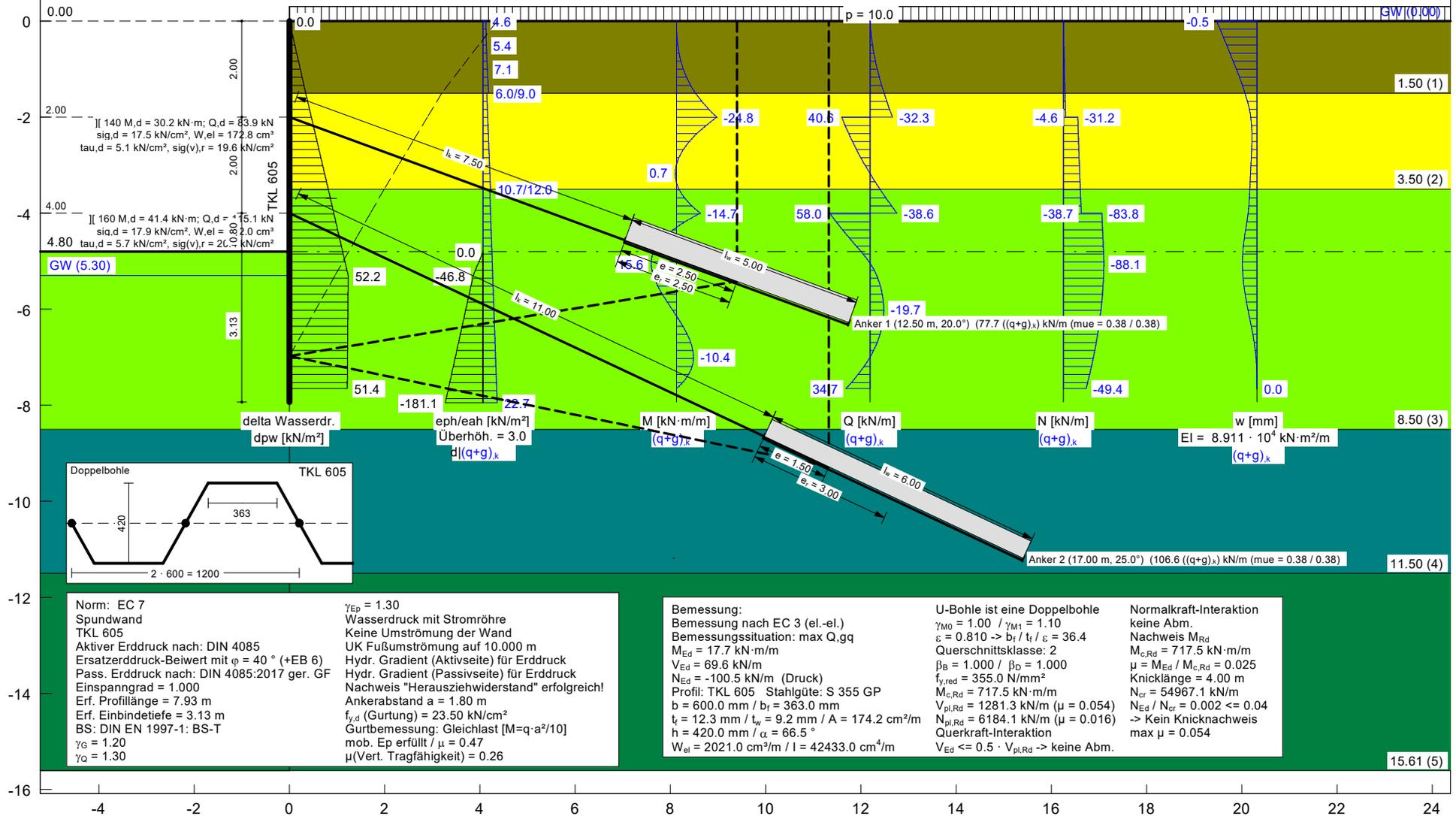
Normalkraft-Interaktion  
keine Abm.  
Nachweis  $M_{Rd}$   
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN-m/m  
 $\mu = M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.028$   
Knicklänge = 4.00 m  
 $N_{cr} = 54967.1$  kN/m  
 $N_{Ed} / N_{cr} = 0.002 \leq 0.04$   
 $\rightarrow$  Kein Knicknachweis  
max  $\mu = 0.057$

15.61 (5)

# Vordimensionierung Baugrubenumschließung

Boden	$\gamma_k$ [kN/m³]	$\gamma'_{k,0}$ [kN/m³]	$\varphi_k$ [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	$\delta/\varphi$ passiv	$\delta/\varphi$ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_c$ [MN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²]	Bezeichnung
0-2 m	18.0	8.0	20.0	1.0	1.0	-0.333	0.333	100.00	0.00	30.00	Aueablagerungen
2-4 m	20.0	11.0	32.5	0.0	0.0	-0.400	0.400	100.00	10.00	0.00	Talkies
4-6 m	20.0	11.0	35.0	0.0	0.0	-0.400	0.400	160.00	15.00	0.00	Molassesand
6-8 m	20.0	10.0	25.0	5.0	5.0	-0.400	0.400	125.00	15.00	0.00	Molassemergel
8-16 m	22.0	12.0	27.5	15.0	15.0	-0.400	0.400	200.00	25.00	0.00	Mergel, fest

Baugrubentiefe 4,8 m  
Außenwasserstand auf Geländeneiveau  
zweifache Rückverankerung mit Gurtung  
Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054, BS-T



Norm: EC 7  
Spundwand  
TKL 605  
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085  
Ersatzerddruck-Beiwert mit  $\varphi = 40^\circ$  (+EB 6)  
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017 ger. GF  
Einspanngrad = 1.000  
Erf. Profillänge = 7.93 m  
Erf. Einbindetiefe = 3.13 m  
BS: DIN EN 1997-1: BS-T  
 $\gamma_G = 1.20$   
 $\gamma_Q = 1.30$

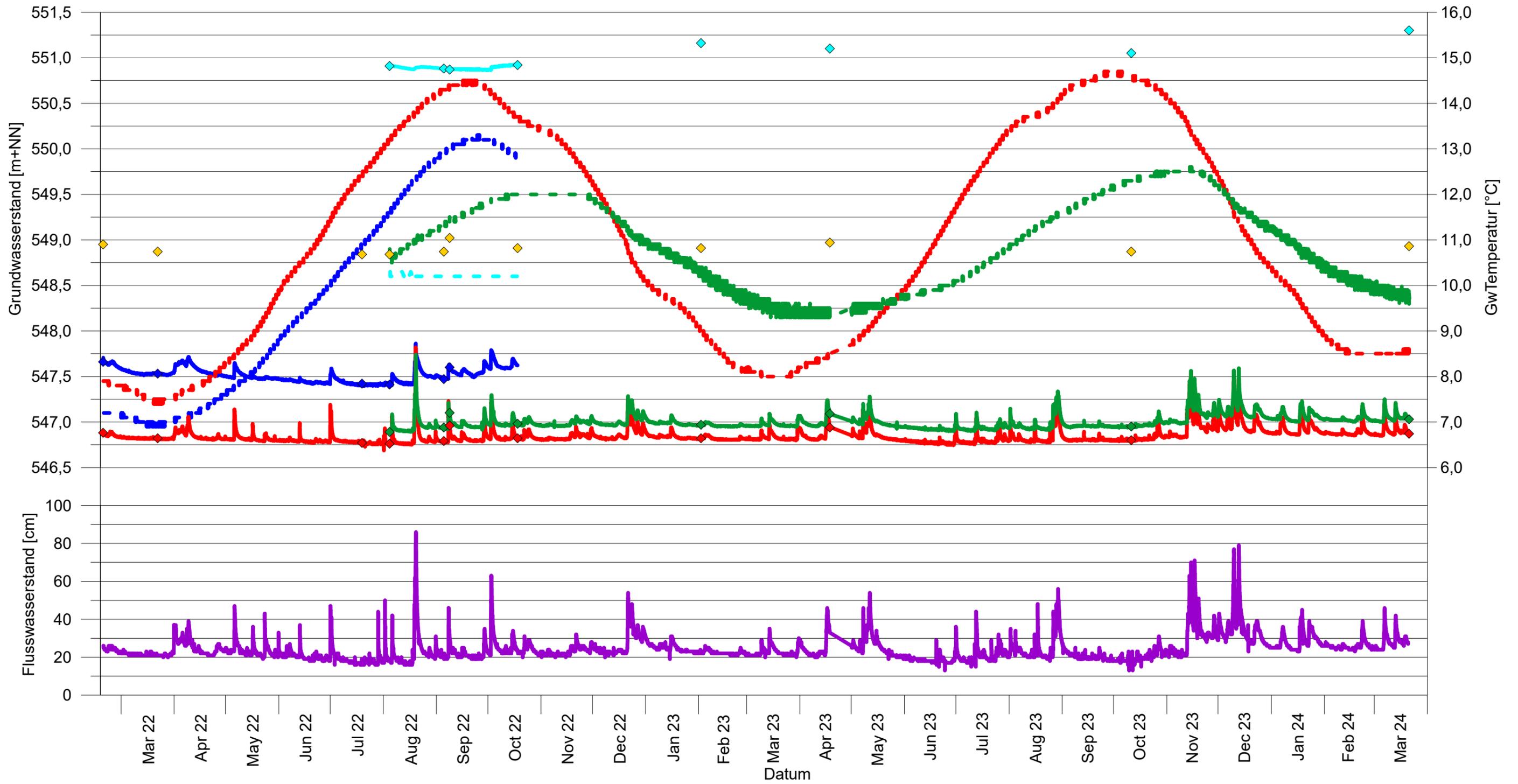
$\gamma_{Ep} = 1.30$   
Wasserdruck mit Stromröhre  
Keine Umströmung der Wand  
UK Fußumströmung auf 10.000 m  
Hydr. Gradient (Aktivseite) für Erddruck  
Hydr. Gradient (Passivseite) für Erddruck  
Nachweis "Herausziehungswiderstand" erfolgreich!  
Ankerabstand a = 1.80 m  
 $f_{y,d}$  (Gurtung) = 23.50 kN/cm²  
Gurtbemessung: Gleichlast [M=q·a²/10]  
mob. Ep erfüllt /  $\mu = 0.47$   
 $\mu$  (Vert. Tragfähigkeit) = 0.26

Bemessung:  
Bemessung nach EC 3 (el.-el.)  
Bemessungssituation: max Q,qg  
 $M_{Ed} = 17.7$  kN·m/m  
 $V_{Ed} = 69.6$  kN/m  
 $N_{Ed} = -100.5$  kN/m (Druck)  
Profil: TKL 605 Stahlgüte: S 355 GP  
b = 600.0 mm /  $b_f = 363.0$  mm  
 $t_f = 12.3$  mm /  $t_w = 9.2$  mm / A = 174.2 cm²/m  
h = 420.0 mm /  $\alpha = 66.5^\circ$   
 $W_{el} = 2021.0$  cm³/m / I = 42433.0 cm⁴/m

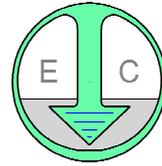
U-Bohle ist eine Doppelbohle  
 $\gamma_{M0} = 1.00$  /  $\gamma_{M1} = 1.10$   
 $\epsilon = 0.810 \rightarrow b_f / t_f / \epsilon = 36.4$   
Querschnittsklasse: 2  
 $\beta_B = 1.000$  /  $\beta_D = 1.000$   
 $f_{y,red} = 355.0$  N/mm²  
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN·m/m  
 $V_{pl,Rd} = 1281.3$  kN/m ( $\mu = 0.054$ )  
 $N_{pl,Rd} = 6184.1$  kN/m ( $\mu = 0.016$ )  
Querkraft-Interaktion  
 $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,Rd} \rightarrow$  keine Abm.

Normalkraft-Interaktion  
keine Abm.  
Nachweis  $M_{Rd}$   
 $M_{c,Rd} = 717.5$  kN·m/m  
 $\mu = M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0.025$   
Knicklänge = 4.00 m  
 $N_{cr} = 54967.1$  kN/m  
 $N_{Ed} / N_{cr} = 0.002 \leq 0.04$   
 $\rightarrow$  Kein Knicknachweis  
max  $\mu = 0.054$

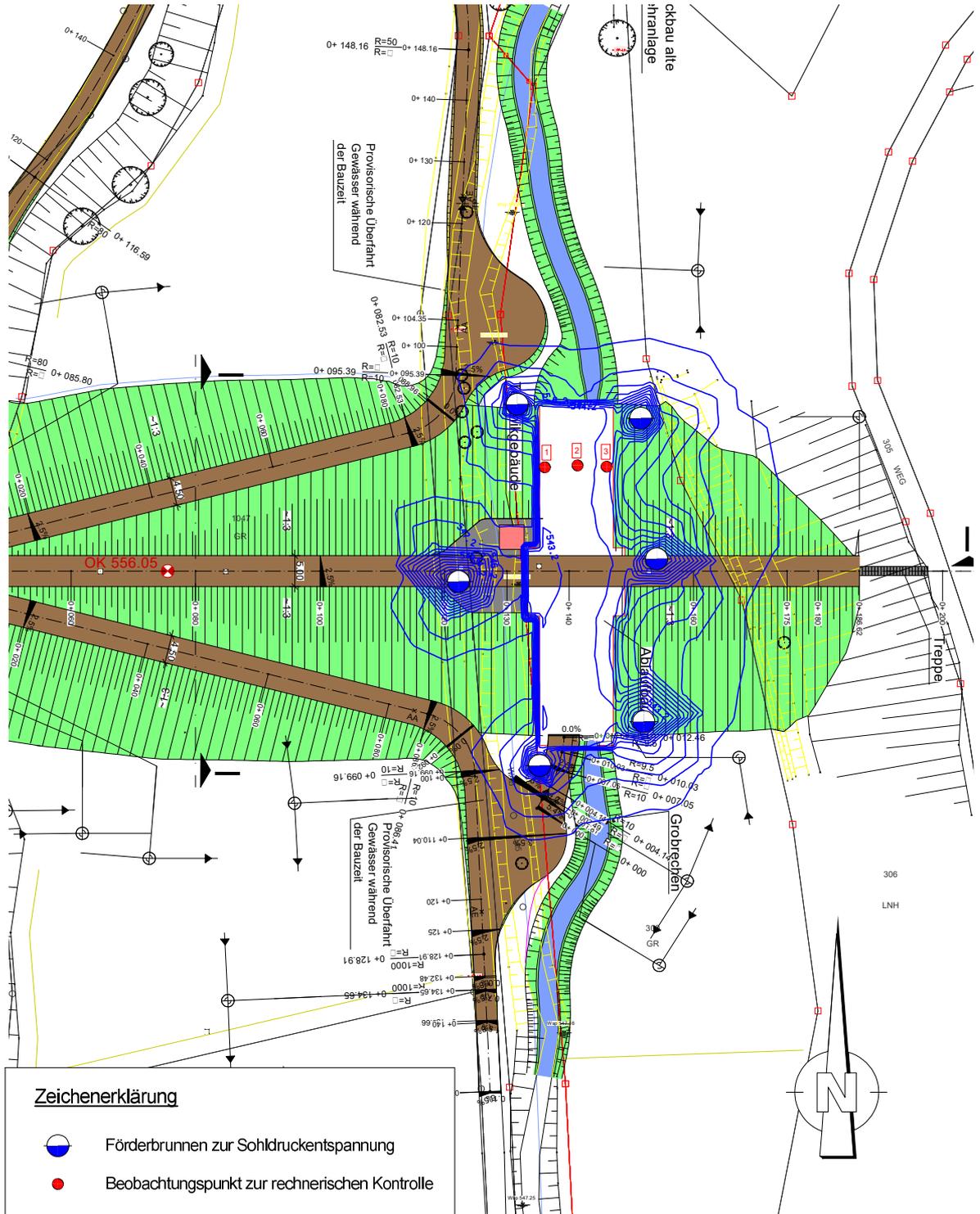
15.61 (5)



◆ GwStand RFP3/21 (Stichtagsmessungen)	— GwStand RFP3/21 (Sondendaten)	- - - GwTemperatur RFP3/21 (Sondendaten)
◆ GwStand RFP4/21 (Stichtagsmessungen)	— GwStand RFP4/21 (Sondendaten)	- - - GwTemperatur RFP4/21 (Sondendaten)
◆ GwStand GWM1/22 (Stichtagsmessungen)	— GwStand GWM1/22 (Sondendaten)	- - - GwTemperatur GWM1/22 (Sondendaten)
◆ GwStand GWM2/22 (Stichtagsmessungen)	— GwStand GWM2/22 (Sondendaten)	- - - GwTemperatur GWM2/22 (Sondendaten)
◆ GwStand RFP2/21 (Stichtagsmessungen)		— Flusswasserstand Dürnach-Pegel Laupheim



Lageplan mit abgesenktem GwDruckspiegel M 1:1.000  
 Umschließung lückenhaft, Brunnenbetrieb



Zeichenerklärung

-  Förderbrunnen zur Sohldruckentspannung
-  Beobachtungspunkt zur rechnerischen Kontrolle

