

GGU · Am Hafen 22 · 38112 Braunschweig

Ausbauverband Nette
Am Thie 1

31188 Holle

- Baugrunderkundung
- Bodenmechanisches Labor
- Gründungsgutachten
und Gründungsberatung
- Altlastenuntersuchung
- Damm- und Deichbau
- Grundwasserhydraulik
- Deponietechnik
- Software für Grundbau
und Grundwasser

Telefon 05 31 / 31 28 95
Telefax 05 31 / 31 30 74
www.ggu.de
E-Mail: post-bs@ggu.de

23.11.2010
St

Hochwasserrückhaltebecken Bornhausen

- Geotechnische Untersuchungen -

Bericht: 6274 / 10

Verteiler: Ingenieurbüro Metzling
Wilhelmshöher Str. 33
38723 Seesen

1-fach
1-fach digital

Inhalt: (s. Verzeichnis folgende Seite)

Anlagen: (s. Verzeichnis folgende Seite)

Ausfertigung:

Inhalt:

1	Vorbemerkung	5
2	Baumaßnahme	5
3	Untergrundverhältnisse.....	6
	3.1 Geologische Übersicht.....	6
	3.2 Erkundung	7
	3.3 Bodenverhältnisse.....	8
	3.4 Grundwasser	8
	3.5 Bodenmechanische Laboruntersuchungen	9
	3.6 Bodenklassen	10
4	Bodenkenngrößen	11
5	Auslaufbauwerk.....	12
	5.1 Allgemeines	12
	5.2 Baugrube.....	12
	5.3 Gründung	13
	5.4 Untergrundhydraulik am Bauwerk	14
	5.5 Materialtransport	14
	5.6 Lagesicherheit.....	15
	5.7 Setzungen	15
	5.8 Grundbautechnische Maßnahmen	16
6	Damm	16
	6.1 Allgemeines	16
	6.2 Untergrundhydraulik	18
	6.3 Gesamtstandsicherheit.....	19
	6.4 Lokale Standsicherheit	19
	6.5 Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch	20
	6.6 Setzungen	20
	6.7 Materialtransport	20
	6.7.1 Böden	20
	6.7.2 Innere Suffosion/Kontaktsuffosion	20
	6.7.3 Rückschreitende Erosion	20
	6.8 Grundbautechnische Maßnahmen	21
	6.9 Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse	22
	6.10Steilböschung am Südhang	23
7	Zusammenfassung	23

Anlagen:

Anlagen 1 Unterlagen

- Anlage 1.1 Übersichtslageplan 1 : 25.000
- Anlage 1.2 Lageplan
- Anlage 1.3 Lageplan Grundwassermessstellen
- Anlage 1.4 Detailplan Auslaufbauwerk
- Anlage 1.5 Schnitt Damm

Anlagen 2 Bodenprofile

- Anlage 2.1 Bodenprofil I
- Anlage 2.2 Bodenprofil II
- Anlage 2.3 Bodenprofil III
- Anlage 2.4 Bodenprofil IV
- Anlage 2.5 Bodenprofil V
- Anlage 2.6 Bodenprofil VI
- Anlage 2.7 Bodenprofil VII
- Anlage 2.8 GWM 1
- Anlage 2.9 GWM 2
- Anlage 2.10 GWM 3
- Anlage 2.11 GWM 4
- Anlage 2.12 GWM 5
- Anlage 2.13 GWM 6

Anlagen 3 Bodenmechanische Laborversuche

- Anlage 3.1 Zusammenstellung der bodenmechanischen Kenngrößen
- Anlagen 3.2 Körnungslinien
- Anlagen 3.3 Zustandsgrenzen
- Anlagen 3.4 Scherversuche
- Anlage 3.5 Wasserdurchlässigkeit

Anlagen 4 Auslaufbauwerk

- Anlage 4.1 Linien gleicher Wasserstände – Endzustand maximaler Einstau
- Anlage 4.2 Lagesicherheit – LF 1: Endzustand maximaler Einstau
- Anlage 4.3 Lagesicherheit – Wasserdruck unter dem Bauwerk – LF 1: Endzustand maximaler Einstau

- Anlagen 5 Damm
 - Anlage 5.1 Untergrundhydraulik
 - Anlage 5.1.1 System und Randbedingungen
 - Anlage 5.1.2 Linien gleicher Wasserstände – LF 1b „maximaler Einstau“
 - Anlage 5.1.3 LF 2a „Dichtung defekt“
 - Anlage 5.1.4 LF 2b „Ausfall Dränage“
 - Anlage 5.1.5 LF 2c „Kronenstau“
 - Anlage 5.2 Globale Standsicherheit
 - Anlage 5.2.1 LF 1a „Normaler Wasserstand“ – Luftseite
 - Anlage 5.2.2 LF 1b „maximaler Einstau“
 - Anlage 5.2.3 LF 2a „Dichtung defekt“
 - Anlage 5.2.4 LF 2b „Ausfall Dränage“
 - Anlage 5.2.5 LF 2c „Kronenstau“
 - Anlage 5.2.6 LF 1a „Normaler Wasserstand“ – Wasserseite
 - Anlage 5.2.7 LF 2d „Schnelle Wasserspiegelabsenkung“
- Anlagen 6 Grundwasser
 - Anlage 6.1 System und Randbedingungen
 - Anlage 6.1.1 Draufsicht
 - Anlage 6.1.2 Ansicht vom Unterwasser
 - Anlage 6.2 Ist-Zustand - Normaler Abfluss
 - Linien gleicher Grundwasserstände
 - Anlage 6.3 Ist-Zustand - Hochwasser
 - Linien gleicher Grundwasserstände
 - Anlage 6.4 Maximaler Einstau 170,8 m NN
 - Anlage 6.4.1 Wasserstände in Geländehöhe
 - Anlage 6.4.2 Linien gleicher Grundwasserstände
 - Anlage 6.4.3 Veränderung der Grundwasserstände gegenüber Ist-Zustand Normaler Abfluss
 - Anlage 6.4.4 Veränderung der Grundwasserstände gegenüber Ist-Zustand Hochwasser
- Anlage 7 Steilböschung – Standsicherheit

1 Vorbemerkung

Östlich von Bornhausen soll im Flusslauf der Schildau ein Hochwasserrückhaltebecken gebaut werden.

Die GGU wurde mit der Erkundung des Baugrunds und den geotechnischen Nachweisen beauftragt. In diesem Bericht sind die Ergebnisse der Feld- und Laborversuche dargestellt, ein Gründungs- und Baugrubenkonzept für das Auslaufbauwerk wird erarbeitet, für den Damm werden die untergrundhydraulischen und erdstatischen Nachweise erbracht und die Auswirkungen des Beckenbetriebs auf die Grundwasserstände im Hinterland werden untersucht.

2 Baumaßnahme

Das geplante Hochwasserrückhaltebecken liegt östlich von Bornhausen im Flusslauf der Schildau (s. Anlagen 1). Die Schildau verläuft am Fuß eines Hanges, der das Tal im Süden abschließt. Nach Norden hin wird das Tal durch einen Hang nördlich der Neustädter Straße begrenzt.

Das Auslaufbauwerk ist im derzeitigen Verlauf der Schildau geplant. Einen Detailplan enthält Anlage 1.4.

Bei einem Stauvolumen von rd. 810.000 m³ liegt das Stauziel des Beckens auf 170,3 m NN. Die Höhe der Dammkrone wird mit 171,60 m NN angegeben. Damit ergeben sich Dammhöhen von bis zu 8 m. Der Damm soll nach dem derzeitigen Planungsstand Böschungsneigungen von 1 : 5 aufweisen. Er wird als 3-Zonen-Damm mit einer bindigen Außendichtung und einem Dammfußdrän aufgebaut. In Anlage 1.5 ist ein Schnitt durch den Damm dargestellt.

Folgende Höhen und Abmessungen werden maßgebend:

Auslaufbauwerk

Stauziel:	170,30 m NN
Max. Einstau:	170,80 m NN
OK Dammkrone:	171,60 m NN
GOK:	162,6 m NN
Gewässerbett Schildau OW:	160,8 m NN
Gewässerbett Schildau UW:	160,55 m NN
Gründungssohle:	159,0 m NN

Damm

Stauziel:	170,30 m NN
Max. Einstau:	170,80 m NN
OK Dammkrone:	171,60 m NN
GOK Wasserseite:	rd. 163,15 m NN
GOK Luftseite:	rd. 162,35 m NN
Kronenbreite:	6,0 m
Böschungsneigung Wasserseite:	1 : 5
Böschungsneigung Luftseite:	1 : 5

3 Untergrundverhältnisse

3.1 Geologische Übersicht

Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus der geologischen Übersichtskarte von Niedersachsen. Der Standort des Dammes ist durch eine rote Ellipse gekennzeichnet.

Im tieferen Untergrund stehen schwach verfaltete und von Störungen durchzogene Ablagerungen des Mesozoikums an. Diese werden oberflächlich durch junge quartäre Lockergesteinsbildungen überlagert.

In der Flussaue steht Auelehm an. Der Nordhang des Tals wird demnach aus Schmelzwassersanden gebildet. In der geologischen Karte Blatt Lamspringe (Aufnahme von 1908) sind diese als Geschiebelehm ausgezeichnet.

Am Südhang sind Folgen des Unteren Buntsandsteins ausgewiesen, die auch zur Tiefe als Grundgebirge zu vermuten sind.

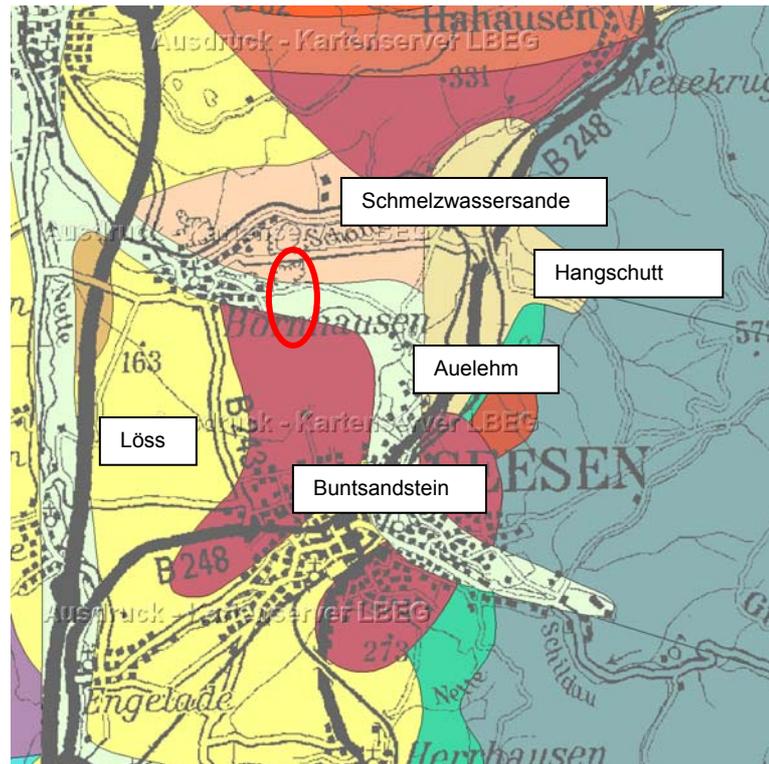


Abbildung 1: Ausschnitt aus der geologischen Karte

(Quelle: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie, <http://.lbeg.de/>)

3.2 Erkundung

Die Untergrundverhältnisse im Bereich des Dammes wurden durch

26 Kleinrammbohrungen (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1) bis 8 m,

erkundet. Die Bohrungen wurden von der GGU ausgeführt. Die Lage der Bohransatzpunkte ist in dem Lageplan (Anlage 1.2) dargestellt. Die Bodenansprache erfolgte vor Ort durch Fingerprobe und durch ergänzende Untersuchungen im bodenmechanischen Labor der GGU.

Am östlichen Ortsrand von Bornhausen wurden

6 Trockenbohrungen (\varnothing 324 mm) zu Grundwassermessstellen ausgebaut.

Wegen der im Grundwasserleiter enthaltenen Steine und Blöcke wurde das Bohrvorgang von einem Bohrdurchmesser von 219 mm auf 324 mm umgestellt. Aus den Bohrungen wurden gestörten Proben entnommen. Die Bohrungen für die Grundwassermessstellen wurden bis in den Verwitterungshorizont des Grundgebirges geführt und im Grundwasserleiter verfiltert. Die Lage der Grundwassermessstellen ist in Anlage 1.3 aufgetragen. Die Bohrungen und Grundwassermessstellen wurden von der Fa. Kressebuch, Braunschweig, hergestellt.

Nach Abschluss der Bohrarbeiten wurden die Grundwasserstände mit dem Lichtlot gemessen. Die Bohransatzpunkte wurden höhenmäßig eingemessen.

Weiter wurden die in der Bohrdatenbank des LBEG hinterlegten Bohrungen in der weiteren Umgebung der Baumaßnahme ausgewertet. Diese liegen vor allem im nördlich des Beckens aufgehenden Hang.

3.3 Bodenverhältnisse

Die Bodenprofile der Kleinrammbohrungen sind in den Anlagen 2.1 bis 2.6 zusammengestellt. Die Bodenprofile und Ausbaupläne der Grundwassermessstellen enthalten die Anlagen 2.7 bis 2.12.

Der Baugrundaufbau ist verhältnismäßig einheitlich. Unter

Mutterboden

folgt

schluffiger Feinsand und sandiger Schluff (Auelehm)

in einer Schichtdicke von etwa 1 m. Örtlich sind Fehlstellen in dieser bindigen Deckschicht möglich. Darunter wurde

Kies

angetroffen. Diese Schicht wurde wegen der begrenzten Erkundungstiefe nicht an allen Stellen durchörtert. Unter dem Kies folgt der

Ton aus dem Verwitterungshorizont des Buntsandsteins

Zum Hangenden ist dieses Gestein entfestigt und darunter als Ton, mit allen Übergängen vom Fest- zum Lockergestein, ausgebildet.

3.4 Grundwasser

Nach Beendigung der Bohrarbeiten wurden in den Bohrlöchern die Grundwasserstände gemessen. Die Grundwasserstände sind in den Anlagen 2.1 bis 2.12 an die entsprechenden Bohrungen angetragen.

Der Grundwasserspiegel liegt in den Talflanken etwas höher und fällt in Richtung Flusslauf der Schildau ab. Im November 2010 lag der Wasserstand der Schildau in Höhe des Auslaufbauwerks nach ergiebigen Regenfällen in der Region bei 161,66 m NN. Die Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet sind vom Wasserstand der Schildau beeinflusst.

3.5 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

An ausgewählten Bodenproben wurden Laborversuche zur bodenmechanischen Klassifikation, zur Scherfestigkeit und zur Wasserdurchlässigkeit durchgeführt. Eine tabellarische Übersicht über die Versuchsergebnisse enthält Anlage 3.1.

Die Kornverteilungen sind in den Anlagen 3.2.1 bis 3.2.4 dargestellt. Die Auelehme liegen in einem für diese Böden relativ engen Körnungsband (Abbildung 2). Von dem Kies wurde nur eine Körnungslinie an einer Probe aus der Bohrung GWM 3 ermittelt. Das Größtkorn hatte einen Korndurchmesser von rd. 150 mm. Größere Körner konnten bei dem gewählten Bohrdurchmesser nicht mehr geborgen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in dem Grundwasserleiter größere Steine und Blöcke vorkommen.

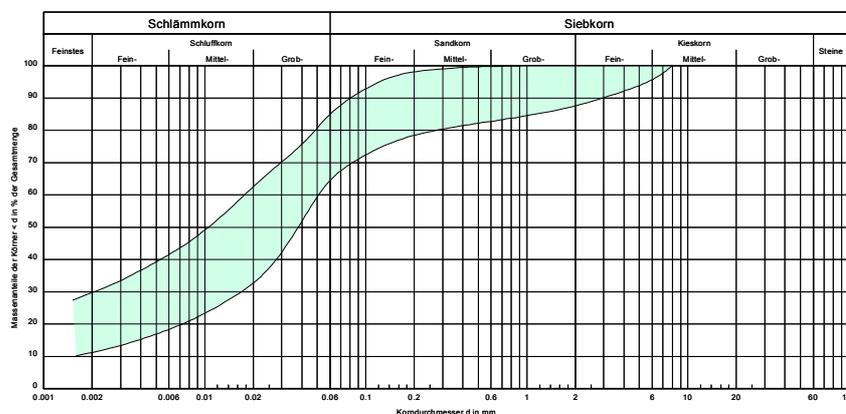


Abbildung 2: Körnungsband Auelehm

An den Sonderproben der bindigen Deckschicht aus den Schürfen wurden weitergehende Untersuchungen zur bodenmechanischen Klassifikation, Wasserdurchlässigkeit und Scherfestigkeit durchgeführt. An zwei Proben wurden die Zustandsgrenzen ermittelt. Nach den Plastizitätsdiagrammen in den Anlagen 3.3.1 und 3.3.2 handelt es sich um leicht plastische Tone von steifer Konsistenz.

Der Boden zeigt im Rahmenscherversuch das Verhalten eines erstbelasteten Bodens (Anlagen 3.4.1 und 3.4.2). Bei der Festlegung der charakteristischen Scherparameter ist ein Gesamtreibungswinkel ohne Ansatz einer Kohäsion festzulegen. Diese sind in Abschnitt 4 angegeben.

Der Wasserdurchlässigversuch im Triaxialgerät ergab einen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von $k = 1,2 \cdot 10^{-7}$ m/s (Anlage 3.5). Die hohe Wasserdurchlässigkeit ist teilweise auf Störung der Probe durch Wurzelgänge zurückzuführen. Für verdichtet eingebautes Material sind geringere Wasserdurchlässigkeiten zu erwarten.

Nach unseren Erfahrungen mit gleichartigen Böden ist der anstehende Auelehm als Dichtungsmaterial geeignet. Zu beachten ist die Wasserempfindlichkeit des Bodens.

3.6 Bodenklassen

Die im Untersuchungsgebiet angetroffenen Böden werden nach

- DIN 18196 Erdbau, Bodenklassifizierung für bautechnische Zwecke,
- DIN 18300 Erdarbeiten, Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (VOB Teil C) und
- ZTVE-StB 09 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau

klassifiziert. Die Bodenklassen sind in Tabelle 1 zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 1: Bodenklassifikation

Bodenart	Bodengruppe nach DIN 18 196	Bodenklasse nach DIN 18 300	Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09
Mutterboden	OH	1	—
Auelehm	TL	4 (2)	F 3
Kies	GW	3 – 4	F 1
Ton (Buntsandstein)	TM	4 (6 – 7)	F 3

Der Auelehm ist wasser- und strukturempfindlich. Er neigt bei dynamischer Beanspruchung und Wasserzutritt zum Fließen und ist dann der Bodenklasse 2 zuzuordnen. Der Verwitterungshorizont des Buntsandsteins geht zur Tiefe in Fels der Bodenklassen 6 und 7 über.

Erläuterung der Bodengruppen nach DIN 18 196:

- [] Auffüllungen aus natürlichen Böden
- OH grob- bis gemischtkörnige Böden mit organischen Beimengungen
- GW Weit gestufte Kies-Sand-Gemische
- TL Leicht plastische Tone
- TM Mittelplastische Tone

Erläuterungen zu den Bodenklassen nach DIN 18 300:

- 1 Oberboden
- 2 fließende Bodenarten
- 3 leicht lösbare Bodenarten
- 4 mittelschwer lösbare Bodenarten
- 5: Schwer lösbare Bodenarten
- 6: Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten
- 7: Schwer lösbarer Fels

Erläuterungen zur Frostempfindlichkeit des Bodens nach ZTVE-StB 94:

- F 1 nicht frostempfindlich
- F 2 gering frostempfindlich
- F 3 sehr frostempfindlich

4 Bodenkenngrößen

Für das Untersuchungsgebiet werden folgende charakteristischen Bodenkenngrößen festgelegt.

Dichtung

Reibungswinkel	$\varphi' = 27,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 5 \text{ kN/m}^2$
Wichten	$\gamma/\gamma' = 19/9 \text{ kN/m}^3$
Steifemodul	$E_s = 8 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Stützkörper

Reibungswinkel	$\varphi' = 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichten	$\gamma/\gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$
Steifemodul	$E_s = 40 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

Drän

Reibungswinkel	$\varphi' = 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichten	$\gamma/\gamma' = 18/10 \text{ kN/m}^3$
Steifemodul	$E_s = 40 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Auelehm

Reibungswinkel	$\varphi_s' = 29^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichten	$\gamma/\gamma' = 18/8 \text{ kN/m}^3$
Steifemodul	$E_s = 8 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$

Kies

Reibungswinkel	$\varphi' = 35^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$
Wichten	$\gamma/\gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$
Steifemodul	$E_s = 80 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

Ton (Verwitterungshorizont)

Reibungswinkel	$\varphi' = 27,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 10 \text{ kN/m}^2$
Wichten	$\gamma/\gamma' = 20/10 \text{ kN/m}^3$
Steifemodul	$E_s = 20 \text{ MN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

Für die Schichten des Buntsandsteines können auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen keine Bodenkennwerte angegeben werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass diese Abfolgen über eine sehr hohe Standfestigkeit verfügen.

5 Auslaufbauwerk

5.1 Allgemeines

Folgende Höhen und Abmessungen werden maßgebend:

Auslaufbauwerk

Stauziel:	170,30 m NN
Max. Einstau:	170,80 m NN
OK Dammkrone:	171,60 m NN
GOK:	162,6 m NN
Gewässerbett Schildau OW:	160,8 m NN
Gewässerbett Schildau UW:	160,55 m NN
Gründungssohle:	159,0 m NN

5.2 Baugrube

Die Baugrubensohle liegt im Verwitterungshorizont des Buntsandsteins bei rd. 159,0 m NN. Das Gewässerbett liegt bei rd. 160,5 m NN in dem sandig-kiesigen Grundwasserleiter. Die Oberkante der geplanten Baugrubenumschließung liegt in Höhe OK Sohlplatte bei 160,5 m NN. Darüber kann die Baugrube mit 1:1,5 geböschet werden.

Am Spundwandkopf ist eine 2 m breite Berme vorzusehen, so dass die Spundwand nicht mehr voll durch die aufgehende Böschung belastet wird und sich somit die Rammtiefe minimieren lässt. Eine Vorbemessung ergab eine Wandlänge von rd. 4 m. Statisch ausreichend ist ein verhältnismäßig kleines Profil. Aus rammtechnischen Gründen sollte mindestens ein Spundwandprofil L 602 oder vergleichbar eingeplant werden. Die endgültigen Spundwandlängen und -profile sind in der Ausführungsstatik festzulegen.

Die Spundwände binden in den Verwitterungshorizont des Festgesteins ein. Sie können noch durch Vibration eingebracht werden, wobei in dem Kies mit Steinen und Blöcken zu rechnen ist. Aus einbringtechnischen Gründen ist ein deutlich stärkeres Profil als das statisch erforderliche zu wählen. Ein Vorbohren kann erforderlich sein, sollte jedoch vermieden werden, da hierdurch Umläufigkeiten an der Spundwand entstehen.

Für die Querspundwand (Umläufigkeitssperre) ist eine Einbindung von etwa 2 m in den Verwitterungshorizont des Festgesteins ausreichend.

Bauzeitlich wird die Schildau mit einem Umflutgerinne nördlich der Baugrube umgeleitet. Mit diesem Umlaufgerinne wird auch zugleich der Grundwasserzustrom von Norden in Richtung Schildau abgefangen. Damit muss in der Baufläche der Wasserstand außerhalb der Baugrube „nur“ auf OK Spundwand einschließlich Freibord begrenzt werden. Es wird von einem maximalen Außenwasserstand von 160,0 m NN ausgegangen.

Das dann noch erforderliche, geringe Absenkmaß kann durch eine Spülfilteranlage erreicht werden. Bei Hochwasser in der Schildau ist eine Wasserhaltung nicht mehr möglich. In diesem Fall ist die Baugrube zu fluten.

Im Inneren der Baugrube ist eine offene Wasserhaltung ausreichend, da die Spundwände in den bindigen Verwitterungshorizont einbinden und nur noch geringe Wassermengen zufließen.

Die in der Gründungssohle anstehenden Böden des Verwitterungshorizonts sind strukturempfindlich und neigen bei Wasserzutritt und dynamischer Belastung zum Aufweichen. Ein Befahren mit Reifenfahrzeugen muss daher unbedingt vermieden werden.

Die Aushubsohle ist nach dem Freilegen unverzüglich durch Magerbeton zu versiegeln. Nichtbindige Böden, Mineralgemisch oder Recyclingmaterial dürfen hier nicht verwendet werden, da sie durchlässiger als die anstehenden Böden sind.

Aufgeweichte Bereiche sind aufzukoffern und durch Magerbeton zu ersetzen. Der Umfang möglicher Bodenaustauschmaßnahmen ist durch Sohlabnahmen festzulegen.

Die beim Aushub anfallenden Sande und Kiese sind zum Wiedereinbau geeignet.

5.3 Gründung

Das Gewässerbett der Schildau bleibt auf gleicher Höhe erhalten. Die Gründungssohle des Auslaufbauwerks liegt bei etwa 159,0 m NN im Verwitterungshorizont des Buntsandsteins. Dieser Boden ist zur Aufnahme der Bauwerkslasten gut tragfähig, so dass das Auslaufbauwerk unter Beachtung der in Abschnitt 5.8 genannten Maßnahmen flach über die Bodenplatte gegründet werden kann.

Die für diesen Boden zulässigen Spannungen werden bei einer Gründung über eine Bodenplatte nicht überschritten. Für den Fall, dass die Fundamentplatte des Bauwerks nach dem Bettungsmodulverfahren berechnet wird, kann mit ausreichender Genauigkeit mit einem mittleren Bettungsmodul k_S von

$$k_S = 15 \text{ MN/m}^3$$

gerechnet werden. Der Bettungsmodul ist keine Bodenkonstante, sondern unter anderem auch von Laststellungen und Lastgrößen abhängig. Die absolute Größe des Bettungsmoduls übt jedoch auf die Größe der Momente in der Platte nur einen kleinen Einfluss aus, so dass ein iteratives Anpassen des Bettungsmoduls und der Schnittgrößen im Bauteil nicht unbedingt erforderlich ist.

5.4 Untergrundhydraulik am Bauwerk

Das untergrundhydraulische System am Auslaufbauwerk wird bestimmt durch den stark durchlässigen Kies über dem Verwitterungshorizont des Buntsandsteins.

In Anlage 4.1 sind die Linien gleicher Wasserstände für den Endzustand mit Bauwerk für den maximalen Einstau dargestellt.

Die maßgebenden Wasserdruckbelastungen auf die Gründungssohle zum Nachweis der Lagesicherheit enthält Abschnitt 5.6.

5.5 Materialtransport

Die anstehenden Böden sind bei den gegebenen untergrundhydraulischen Randbedingungen sicher gegen Suffosion und Erosion.

Entlang der Bauwerksgrenzen kann es zu einer konzentrierten Durchströmung kommen. Als maßgebliche Größe zur Abschätzung der Gefahr einer konzentrierten Durchströmung bzw. Fugenerosion wird von CHUGAEV¹ das mittlere Gefälle der Sickerströmung entlang der Bauwerksgrenze genannt, das sogenannte Kontrollgefälle.

Tabelle 2: Zulässiges Kontrollgefälle nach CHUGAEV

Bodenart	$(i_K)_{zul}$
Dichter Ton	0,40 – 0,52
Grobsand, Kies	0,25 – 0,33
Schluffiger Ton	0,20 – 0,26
Mittelsand	0,15 – 0,20
Feinsand	0,12 – 0,16

Die erste Stromlinie verläuft unter dem Bauwerk. Das Tosbecken ist nach den vorliegenden Plänen rd. 15 m lang. An der Ober- und Unterwasserseite binden die Spundwände bis rd. 3 m unter Gewässersohle und rd. 1,5 m unter Gründungsebene in den Verwitterungshorizont ein. Damit ergibt sich eine abgewinkelte Länge von 24 m. Mit der Potentialdifferenz zwischen Ober- und Unterwasser (angenommen bordvoller Abfluss rd. 162,0 m NN) von $\Delta h = 170,8 - 162,0 = 8,8$ m folgt ein hydraulisches Gefälle von $i = 8,8/24 = 0,37$. Die Fuge liegt im Verwitterungshorizont, für den ein Kontrollgefälle von $(i_K)_{zul} = 0,40$ zugelassen werden kann.

Diese Bauwerksfuge ist sicher gegen Fugenerosion.

¹ Davidenkoff, R. (1970) „Unterläufigkeit von Stauwerken“, Werner Verlag, Düsseldorf

Die zweite Stromlinie verläuft entlang der aufgehenden Bauwerkswände im Damm. Die kürzeste durchströmte Länge ergibt sich aus der Abwicklung am Bauwerk zwischen Wasserstand und der Querwand am Unterwasser zu etwa $L = 35$ m. Die Potentialdifferenz am Bauwerk ergibt sich bei maximalem Einstau und bordvollem Abfluss im Unterwasser zu $\Delta h = 170,8 - 162,0 = 8,8$ m. Der hydraulische Gradient beträgt dann $i = 8,8/35 = 0,25$. Damit wäre ein Aufbau des Stützkörpers aus Sand nicht mehr möglich. Kritisch wird dieser Gradient auch dadurch, dass die Fuge weitgehend horizontal entlang einer aufgehenden Wand verläuft.

Als Sickerwegsverlängerung ist daher eine Querspundwand in Achse der Dammkronen einzubauen. Diese Spundwand muss mindestens 6 Doppelbohlen in den Damm einbinden und an die Spundwand an der Oberwasserseite des Tosbeckens angeschlossen sein. Unter dem Bauwerk darf keine Lücke in der Querspundwand vorhanden sein. Die Spundwand muss daher auch unter dem Bauwerk verlaufen.

5.6 Lagesicherheit

Anlage 4.2 enthält die Nachweise gegen Auftrieb und hydraulischen Grundbruch der Gewässersohle im Unterwasser. Am Fuß der Unterwasserspundwand wirkt ein Potential von 162,0 m NN. Mit den Teilsicherheitsbeiwerten für den Lastfall LF 1 ergeben sich ausreichende Sicherheiten.

Im Endzustand ergibt sich bei maximalem Einstau die in Anlage 4.3 dargestellte Wasserdruckverteilung unter dem Bauwerk. Dargestellt sind die Druckhöhen in mWS. Die Wasserdruckbelastung ergibt sich durch Multiplikation mit der Wichte des Wassers $\gamma_w = 10$ kN/m³.

Im Bauzustand baut sich nach dem Abschalten der Wasserhaltung unter der undurchlässigen Sohle ein auftriebender Wasserdruck mit einem Potential entsprechend dem Außenwasserstand auf. Die Wasserhaltung darf erst dann abgeschaltet werden, wenn die Lagesicherheit der Sohlplatte für diesen Wasserdruck nachgewiesen werden kann.

5.7 Setzungen

Die Lasten aus dem Bauwerk sind gering. Es werden nur kleine Setzungen von weniger als 1 cm eintreten. Die Setzungen treten zeitverzögert ein. Innerhalb der Bauphase wird der Endsetzungsbeitrag zu 80 % erreicht sein. Das verbleibende Setzungsmaß ist vernachlässigbar.

Aus der Schüttung des anschließenden rd. 8 m hohen Dammes ergeben sich Mitnahmesetzungen, die in der Bauwerkslängsachse geringer ausfallen als unter den aufgehenden Wänden. Bei der geplanten Dicke und Steifigkeit der Bodenplatte sind die Setzungsdifferenzen allerdings gering und betragen nur wenige Millimeter. Dennoch werden Zugkräfte in die Seitenwände verbindende Bauteile eingeleitet, die zu kleineren Rissen führen können.

5.8 Grundbautechnische Maßnahmen

Die Aushubsohle ist nach dem Freilegen unverzüglich durch Magerbeton zu versiegeln. Nichtbindige Böden, Mineralgemisch oder Recyclingmaterial dürfen hier nicht verwendet werden, da sie durchlässiger als die anstehenden Böden sind.

Beim Aushub der Baugrube in Höhe der Gründungssohle ggf. freigelegte, weiche bindige Böden sind durch Magerbeton auszutauschen. Der Auelehm neigt bei Wasserzutritt und dynamischer Belastung zum Strukturverlust und Aufweichen. Ein Befahren der Aushubsohle mit Reifenfahrzeugen ist daher unbedingt zu vermeiden. Aufgeweichte Bereiche sind aufzukoffern und durch Magerbeton zu ersetzen. Der Umfang möglicher Bodenaustauschmaßnahmen ist durch Sohlmaßnahmen festzulegen.

Die bindigen Aushubböden sind bei entsprechenden Wassergehalten als Dammbaumaterial geeignet. Über die Eignung ist bei Aushub durch eine Eignungsprüfung zu entscheiden.

6 Damm

6.1 Allgemeines

In dem Auelehm im Dammlager sind Felddrängen verlegt. Die Sammler verlaufen von Ost nach West. Die Saugleitungen sind in Winkeln von etwa 45° an die Sammler angeschlossen mit der Fließrichtung nach Westen. Alle Felddrängen müssen vor dem Aufbau des Dammes ausgebaut werden, um unkontrollierte Unterströmungen des Dammes zu vermeiden. Durch den Ausbau der Felddrängen wird die Auelehmschicht bereits sehr stark gestört, so dass nicht mehr von einem durchgehend intakten Dammlager ausgegangen werden kann.

Aus diesem Grunde wird empfohlen, die Auelehmschicht mitsamt den Felddrängen vollständig auszuräumen. Der Auelehm kann als Dichtungsmaterial verwendet werden. Der Stützkörper des Dammes wird dann direkt auf dem Kies aufgebaut. Die Dichtung an der Wasserseite ist mit bindigem Boden (ausgebauter Auelehm) an den gewachsenen Auelehm anzuschließen. Durch die fehlende gering durchlässige Schicht im Dammlager kommt es zu einer planmäßigen Unterströmung des Dammes und einem erhöhten Sickerwasserandrang im Dammfußdrän.

Folgende Höhen und Abmessungen werden maßgebend:

Damm

Stauziel:	170,30 m NN
Max. Einstau:	170,80 m NN
OK Dammkrone:	171,60 m NN
GOK Wasserseite:	rd. 163,15 m NN
GOK Luftseite:	rd. 162,35 m NN
Kronenbreite:	6,0 m
Böschungsneigung Wasserseite:	1 : 5
Böschungsneigung Luftseite:	1 : 5

Für den Damm sind die in DIN 19 700-11 für Hochwasserrückhaltebecken genannten untergrundhydraulischen und erdstatischen Lastfälle zu untersuchen. In der DIN 19 700-11 wird zwischen unterschiedlichen Bemessungssituationen unterschieden, die wiederum vom Lastfall und von den Tragwerkswiderstandsbedingungen abhängen. Den Bemessungssituationen sind Gesamtsicherheitsbeiwerte zugewiesen.

Tabelle 3 enthält die Lastfälle bei Staudämmen, die auch für die Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken anzusetzen sind. Die Norm gibt für die Sicherheitsnachweise von Tragwerk und Untergrund noch Gesamtsicherheitsbeiwerte an. Die Nachweise werden daher nach dem Globalsicherheitskonzept geführt.

**Tabelle 3: Lastfälle bei Staudämmen
DIN 19 700-11:2004-07**

Einwirkungen		Lastfälle (Einwirkungskombinationen)							
		LF 1		LF 2				LF 3	
		1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2
Gruppe 1	Eigenlast	x	x	x	x	x	x	x	x
	Verkehrs- und Auflast	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wasser- und Strömungsdruck bei Vollstau	x				x	x		x
Gruppe 2	Wasser- und Strömungsdruck bei Hochwasserstauziel 1 (Z_{H1})			x					
	schnellstmögliche Wasserspiegelabsenkung				x^b				
	außerplanmäßige Betriebszustände					x			
	Betriebserdbeben						x		
Gruppe 3	Wasser- und Strömungsdruck bei Hochwasserstauziel 1 (Z_{H2})							x	
	Bemessungserdbeben								x
	Erforderliche Sicherheit η	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
b		beginnend vom Vollstau							

Das untergrundhydraulische System ist geprägt durch einen 3-zonalen Dammaufbau auf einem geschichteten, unterschiedlich wasserdurchlässigen Untergrund.

Auf der sicheren Seite liegend wird der maximale Einstau auf 170,80 m NN angesetzt, da dieser nur geringfügig höher ist als das Stauziel von 170,30 m NN.

Der Damm verfügt mit der Dichtung und dem Dammfußdrän über zwei Sicherungselemente. Der Ausfall der Sicherungselemente und der Lastfall Kronenstau sind als außerplanmäßige Betriebszustände zu berücksichtigen.

Auf der Wasserseite ist der Lastfall der „Schnellen Wasserspiegelabsenkung“ zu untersuchen. Hier wird in Anlehnung an DIN 19 712 „Flussdeiche“ von einem Absinken des Wasserstands im Becken vom maximalen Einstau auf 1/3 der Stauhöhe über dem wasserseitigen Dammfuß ausgegangen.

6.2 Untergrundhydraulik

Für das Dammprofil sind in den Anlagen 5.1 das Berechnungssystem, die Sickerlinien und die Linien gleicher Wasserstände für die Lastfälle

- Maximaler Einstau
- Dichtung defekt
- Ausfall Dränage
- Kronenstau

dargestellt.

Der Wasserstand an der Luftseite wurde bei 162,0 m NN in Höhe GOK angesetzt. Die größte Wassermenge fällt in der Dränage im Lastfall LF 2a bei maximalem Einstau und defekter Dichtung an. Sie beträgt $1 \text{ m}^3/\text{d}/\text{Ifd. m}$.

Der Dammfußdrän muss bis 2 m über dem Ursprungsgelände aufgebaut werden. Die Geometrie des Dammfußdräns ist in Abbildung 3 dargestellt. Kleinere Abmessungen sind nicht möglich, da die Sickerlinie sonst aus der Böschung austritt.

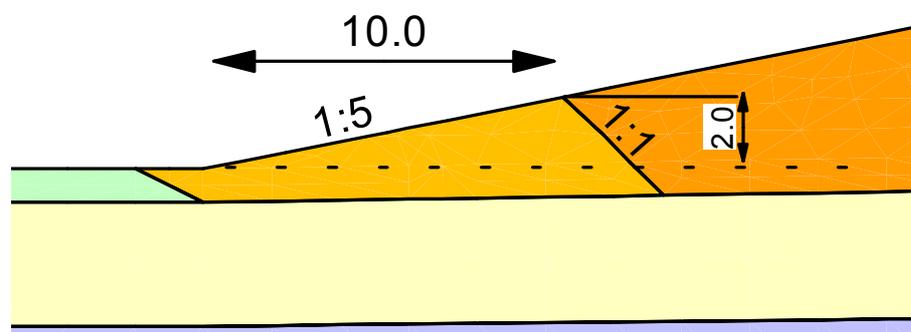


Abbildung 3: Geometrie Dammfußdrän

Bei Ausfall des Dammfußdrän tritt die Sickerlinie etwa 2 m über dem Dammfuß aus der Böschung aus. Die lokale Standsicherheit in diesem Böschungsteil wird in Abschnitt 6.4 nachgewiesen.

6.3 Gesamtstandsicherheit

Die Standsicherheit der luftseitigen Böschung wird unter Ansatz der in den Anlagen 5.1.1 bis 5.1.5 ermittelten Porenwasserdruckverteilungen mit kreisförmigen Gleitflächen berechnet. Auf der Dammkrone wirkt eine Verkehrslast von 10 kN/m².

Die Berechnungsergebnisse sind in den Anlagen 5.2.1 bis 5.2.7 dargestellt. Tabelle 4 enthält eine Zusammenstellung der Ergebnisse.

Tabelle 4: Lastfälle und Sicherheiten

LF		Sicherheit		Sicherheit erforderlich
		Wasserseite	Luftseite	
LF 1a	Niedrigwasser	2,68	2,67	1,3
LF 1b	Maximale Einstau	—	2,56	1,3
LF 2a	Maximale Einstau + Dichtung defekt	—	2,56	1,2
LF 2b	Maximale Einstau + Ausfall Dränage	—	2,12	1,2
LF 2c	Kronenstau	—	2,55	1,2
LF 2d	Schnelle Wasserspiegelabsenkung	2,38	—	1,2

6.4 Lokale Standsicherheit

Die Böschung ist 1 : 5,0 geneigt. Sie ist nur im Lastfall „Ausfall Dränage“ im unteren Teil durchströmt.

Der Nachweis der lokalen Standsicherheit der nicht durchströmten Böschung wird vereinfacht für eine böschungsparelle Gleitfläche geführt. Die Kohäsion wird dabei auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt.

Böschungsneigung 1 : 5,0 ($\tan \beta = 0,20$)
 charakteristischer Reibungswinkel $\varphi'_k = 32,5^\circ$
 Teilsicherheitsbeiwert LF 1 $\gamma_\varphi = 1,25$

$$\tan \beta = 0,20 \leq \tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi_k}{1,25} = \frac{\tan 32,5}{1,25} = 0,51 \quad \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Im Lastfall „Ausfall Dränage“ können die Teilsicherheitsbeiwerte für den Lastfall LF 2 mit

Teilsicherheitsbeiwert LF 2 $\gamma_\varphi = 1,15$

angesetzt werden. Die lokale Standsicherheit in böschungsparellen Gleitflächen ergibt sich dann vereinfacht zu:

$$\tan \beta = 0,20 \leq \frac{1}{2} \cdot \tan \varphi_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{\tan \varphi_k}{1,15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\tan 32,5}{1,15} = 0,28 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Damit ist die lokale Standsicherheit in allen Fällen ausreichend nachgewiesen.

6.5 Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch

Wegen der fehlenden bindigen Schicht im Dammlager ergeben sich am Dammfuß keine auftreibenden Wasserdrücke. Die Nachweise gegen Aufschwimmen und hydraulischen Grundbruch können entfallen.

6.6 Setzungen

Da die setzungsempfindlichere Auelehmschicht im Dammlager ausgeräumt wird und der Damm unmittelbar auf dem anstehenden Kies und Sand aufgebaut wird, sind die Setzungen im Untergrund unter dem Damm vernachlässigbar gering. Sie betragen maximal 2 cm unter der Dammkrone. Zu den Dammfüßen hin läuft die Setzungsmulde auf Null aus. Die Setzungen treten unmittelbar mit der Herstellung des Dammes ein.

Die Eigensetzungen des Dammes betragen bis zu 5 cm im Bereich der Dammkrone. Sie werden mit dem weiteren Dammaufbau ausgeglichen.

6.7 Materialtransport

6.7.1 Böden

Die Körnungslinien des Auelehms und des im Beckenbereich anstehenden Kieses sind in den Anlagen 3.2 dargestellt. Der Auelehm kann als bindiger Boden als suffosionsicher betrachtet werden.

Die Körnungslinie des Kieses entspricht etwa einer Fuller-Kurve. Der Boden ist damit ebenfalls suffosionsicher.

6.7.2 Innere Suffosion/Kontaktsuffosion

Für die Dammbaustoffe sind mit der Eignungsprüfung die Nachweise zur inneren Suffosionsicherheit und zur Sicherheit gegen Kontaktsuffosion vorzulegen.

6.7.3 Rückschreitende Erosion

Der Nachweis gegen rückschreitende Erosion kann entfallen, da es wegen der fehlenden bindigen Schicht im Dammlager zu keiner konzentrierten Durchströmung kommen kann.

6.8 Grundbautechnische Maßnahmen

Die Erdbaustoffe für den Damm sind noch nicht bekannt. Eine Bodenentnahme in der Beckenfläche ist nicht ergiebig genug. Für die Erdbaustoffe sind Eignungsprüfungen vorzulegen. Der Umfang der Eignungsprüfungen ist in einem Qualitätssicherungsplan festzulegen. Unabhängig davon sind die nachfolgenden Scherfestigkeiten und Wasserdurchlässigkeiten nachzuweisen.

Dichtung

Reibungswinkel	$\varphi' = 27,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 5 \text{ kN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Stützkörper

Reibungswinkel	$\varphi' = 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

Drän

Reibungswinkel	$\varphi' = 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 \text{ kN/m}^2$
Wasserdurchlässigkeit	$k = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Die Dichtung muss mit einem Verdichtungsgrad von mindestens 97 % der einfachen Proctordichte eingebaut werden. Zu feuchter Boden darf nicht in den Dammkörper eingebaut werden. Die Einhaltung der Einbaukriterien ist durch eine Eigen- und Fremdüberwachung zu kontrollieren. Der Umfang der Überwachungsprüfungen ist in einem Qualitätssicherungsplan festzulegen.

Das Material des Dammfußdräns ist filterstabil gegen den Boden des Dammkörpers und den Kies im Untergrund aufzubauen. Die Böden des Dammkörpers und des anstehenden Kiesel weisen unterschiedliche Kornverteilungen auf. Ein einheitlicher Kornfilter ist nicht möglich. Zur Sicherstellung der Filterstabilität ist ein Geotextil (Vliesstoff GRK 3, $\geq 150 \text{ g/m}^2$) einzubauen. Die wirksame Öffnungsweite ist auf die Böden abzustimmen.

Die Dichtung bindet in einem Herdgraben in den Untergrund ein. Die Herdgraben-trasse am wasserseitigen Dammfuß ist durch einen Sachverständigen für Geotechnik abzunehmen.

6.9 Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse

Zur Analyse der Auswirkungen des Einstaus im Becken auf die Grundwasserverhältnisse stromab wurde ein dreidimensionales untergrundhydraulisches Modell erstellt.

Das untergrundhydraulische System ist bestimmt durch oberflächennahe, gering durchlässige Deckschichten über einem Grundwasserleiter aus Kies. Zur Tiefe folgt das Festgestein, dessen Verwitterungszone verlehmt ist, so dass es als Grundwasserstauer betrachtet werden kann. Zu den Talflanken hin läuft der kiesige Grundwasserleiter aus. Hier wird der Grundwasserstrom zum Teil durch das Festgestein, aber auch durch bindige Geschiebeablagerungen begrenzt.

Der Baugrundaufbau wurde anhand der in diesem Bericht dokumentierten Bohrungen sowie anhand von Archivbohrungen des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) modelliert. Die Bohrdatenbank des LBEG lieferte auch weitere Daten zu den Grundwasserständen im nördlich aufgehenden Hang.

Das System und die Randbedingungen sind in den Anlagen 6.1.1 und 6.1.2 in der Draufsicht und in einer Ansicht dargestellt. Nach Norden und Süden ist das Modell durch die Talflanken begrenzt. Der westliche und östliche Systemrand wurde jeweils rd. 450 m vom Auslaufbauwerk entfernt angesetzt.

Anlage 6.2 zeigt die Linien gleicher Grundwasserstände für den Zustand ohne Einstau im Becken. Es ergeben sich etwa die in den Bohrlöchern gemessenen, geländenahen Grundwasserstände.

Die Grundwasserstände infolge des Einstaus im Becken wurden für das maximale Stauziel 170,8 m NN berechnet. Anlage 6.3.1 zeigt zunächst die Wasserstände in Geländehöhe. Die blaue Farbfläche rechts im Beckenbereich zeigt den Beckenwasserstand von 170,8 m NN an. Auf der Luftseite zeigen sich in der Mitte des Dammes grün eingefärbte Bereiche. Hier tritt bei Einstau im Becken Qualmwasser aus und es ist mit Vernässungen zu rechnen. Diese sind unkritisch und lokal begrenzt. Zur Bebauung hin treten keine Vernässungen des Geländes ein.

In Anlage 6.3.2 sind die Linien gleicher Grundwasserstände analog zur Anlage 6.2 dargestellt. Anlage 6.3.3 zeigt einen Differenzenplan mit den Erhöhungen der Grundwasserstände. Höhere Grundwasserstände ergeben sich nur im unmittelbaren Beckenbereich und in der Qualmwasserzone am Dammfuß. An der östlichen Bebauung von Bornhausen treten keine höheren Grundwasserstände ein. Gegenüber dem Ist-Zustand ohne Damm ergeben sich Verbesserungen, da die tiefer gelegenen Flächen nicht mehr überflutet werden und eine bessere Vorflut für das Grundwasser gegeben ist.

Dennoch sei darauf hingewiesen, dass sich abhängig von den Wasserständen in der Schildau bei den bereits derzeit gegebenen hydrogeologischen Randbedingungen auch ohne Einstau im Becken im Bereich der Bebauung geländenahe Grund-

wasserstände einstellen können. Diese erfordern eine Abdichtung unterkellierter Gebäudeteile gegen drückendes Wasser.

Ein hydraulischer Lastfall „Überlaufendes Becken“ wurde nicht betrachtet, da dieser Lastfall nicht relevant ist.

6.10 Steilböschung am Südhang

Für die Steilböschung an der südlichen Talflanke ist die Standsicherheit nachzuweisen. An der Böschungskrone und in der Böschung wurden drei Kleinrammbohrungen abgeteuft. Die Bodenprofile sind in Anlage 2.7 dargestellt. An dem Bewuchs der Böschung sind zum Zeitpunkt der Baugrunderkundungen keine Hinweise auf Kriechvorgänge (Sichelwuchs) zu erkennen gewesen.

In der Böschung steht auf etwa den oberen drei Meter Schluff in mindestens steifer Konsistenz an. Zur Tiefe folgt Buntsandstein, der im Hangenden verwittert ist und zur Tiefe in Festgestein übergeht. Am Böschungsfuß steht wie im übrigen Tal Auelehm über Kies und Festgestein an.

Als maßgebender Schnitt wird das Profil bei Stat. 5+050 festgelegt. Dieses Profil liegt direkt oberhalb des Auslaufbauwerks. Ein Versagen der Böschung wird hier unmittelbar den Abfluss der Schildau durch das Bauwerk behindern. Weiter stromauf kann ein Versagen der Böschung ggf. toleriert werden, da dort eine Umströmung des Hindernisses möglich ist.

Anlage 7 enthält das Ergebnis der Böschungsbruchberechnung nach DIN 4084. Für die schnelle Wasserspiegelabsenkung wurde in Anlehnung an die DIN 19 712 „Flussdeiche“ davon ausgegangen, dass der Wasserstand vom höchsten Stauziel auf 1/3 der Höhe über dem Vorland abfällt. Die Berechnung wurde wie die Standsicherheitsberechnungen für den Dammbau nach dem Globalsicherheitskonzept durchgeführt, das noch in DIN 19700 vorgeschrieben ist. Nach Tabelle 3 ist eine Sicherheit von $\eta = 1,20$ nachzuweisen.

Der kritische Gleitkreis ist mit einer Sicherheit von $\eta = 1,20$ ausreichend standsicher.

Die lokale Standsicherheit des Oberbodens wurde nicht untersucht. Hier wird wegen des Bewuchses und der damit verbundenen Durchwurzelungskohäsion eine ausreichende Standsicherheit unterstellt. Lokale Hautrutschungen können toleriert werden.

7 Zusammenfassung

Für das geplante Hochwasserrückhaltebecken östlich von Bornhausen wurden grundbautechnische Untersuchungen durchgeführt.

Die Untersuchungen ergaben, dass im Bereich des geplanten Beckens junge Lockergesteine (Schluffe) über einem Grundwasserleiter aus Kies und dem tonig ausgebildeten Verwitterungshorizont des Buntsandsteins auftreten. Zur Tiefe hin ist Sandstein und Tonstein zu erwarten. Grundwasser steht geländenah abhängig von den Wasserständen in der Schildau an.

Die anstehenden Böden sind ausreichend tragfähig. Das Auslaufbauwerk kann flach gegründet werden. Zur Trockenhaltung der Baugrube wird eine Dichtungsspundwand empfohlen, die in den verlehnten Verwitterungshorizont des Festgesteins einbindet. Zur Begrenzung der Rammtiefe sollte die Dichtungsspundwand in die Baugrubenböschung eingebunden werden. Nicht durchströmte Baugrubenböschungen können mit Neigungen von 1:15 ausgebildet werden.

Nachweise zum Materialtransport und zur konzentrierten Durchströmung entlang der Bauwerksgrenzen ergaben keine ausreichenden Sicherheiten. In den Damm müssen Querspundwände als Umläufigkeitssperre einbinden.

Der Damm wird als 3-Zonen-Damm hergestellt. Für alle maßgebenden Lastfälle wurden die Potentialverteilungen im Damm und im Untergrund ermittelt. Die erdstatischen Nachweise für den Damm werden geführt. Der Damm ist standsicher.

Nachweise zum Materialtransport und zur Lagesicherheit des Bodens am Dammfuß werden erbracht. Hinweise zu weiteren grundbautechnischen Maßnahmen werden gegeben.

Für die Steilböschung südlich der Schildau kann im kritischen Lastfall der schnellstmöglichen Wasserspiegelabsenkung eine ausreichende Sicherheit nachgewiesen werden.

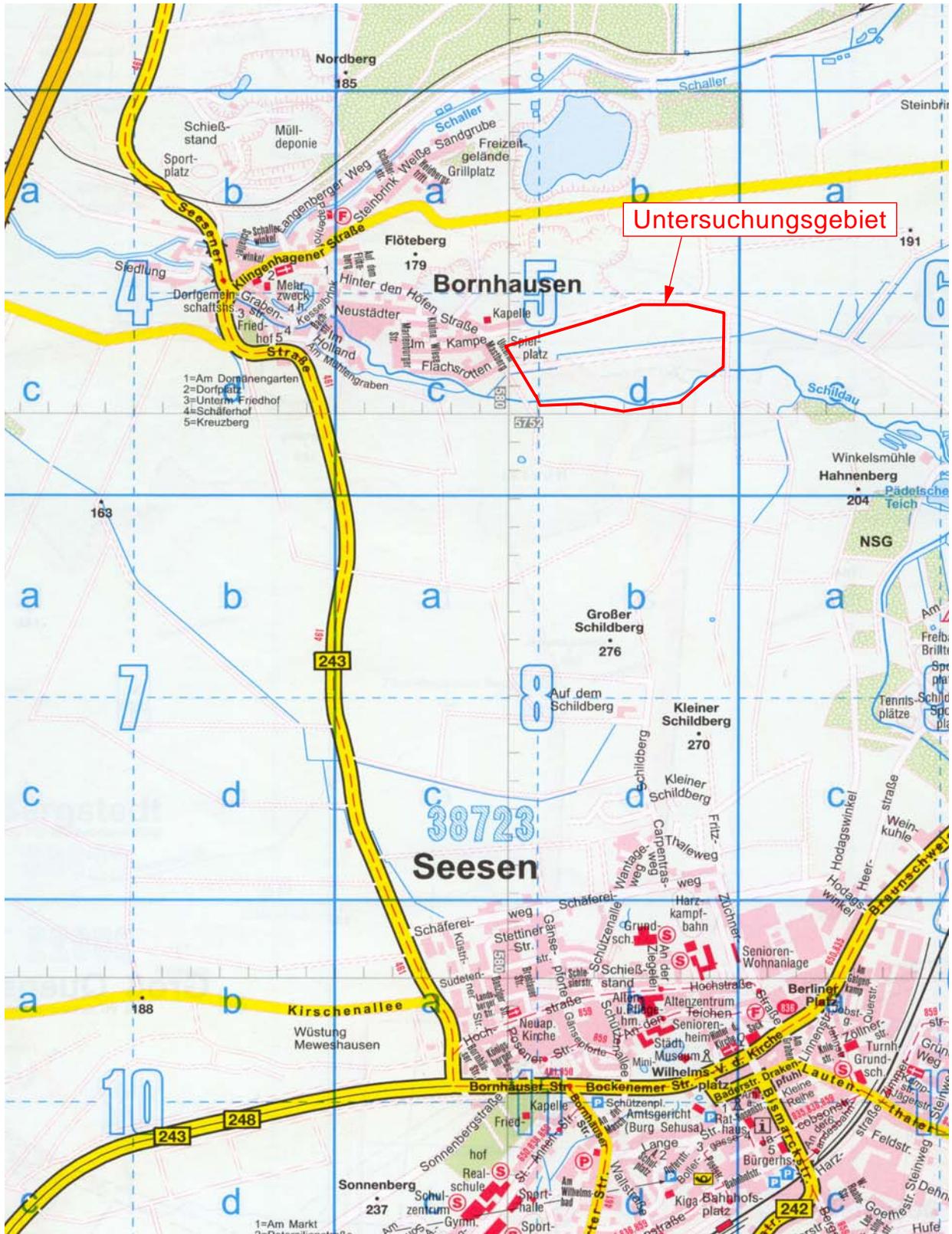
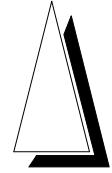
Die Auswirkungen des Beckenbetriebs auf die Grundwasserstände in der Umgebung wurden durch eine dreidimensionale Modellrechnung untersucht. Danach ergeben sich nur unmittelbar am Dammfuß erhöhte Grundwasserstände. Die Grundwasserstände im Bereich der Bebauung am östlichen Ortsrand von Bornhausen bleiben auch bei Einstau im Becken unverändert.

Zur Beweissicherung wurden am östlichen Ortsrand von Bornhausen Grundwassermessstellen eingerichtet. Die Grundwasserstände sind monatlich zu messen. Im Hochwasserfall ist das Messintervall auf tägliche Messungen zu verdichten. Dieses muss bis zwei Wochen nach Ablauf der Hochwasserwelle bzw. Ende des Einstaus im Becken beibehalten werden.



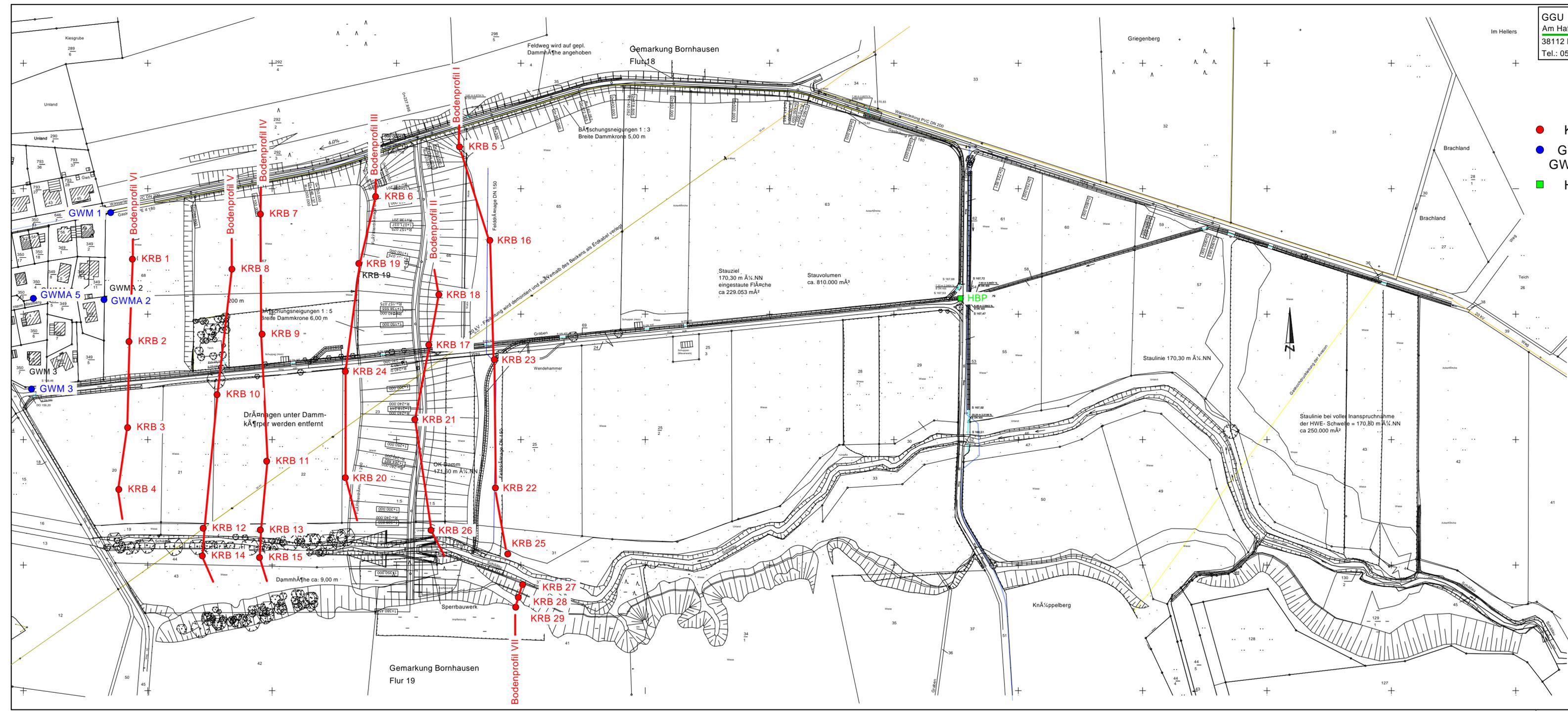
Übersichtslageplan

Maßstab 1 : 20000



Lageplan
Maßstab 1 : 2000

- KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)
- GWM = Grundwassermessstelle
- GWMA = Grundwassermessstelle Anlieger
- HBP = Höhenbezugspunkt Sohle (167,47 mNN)

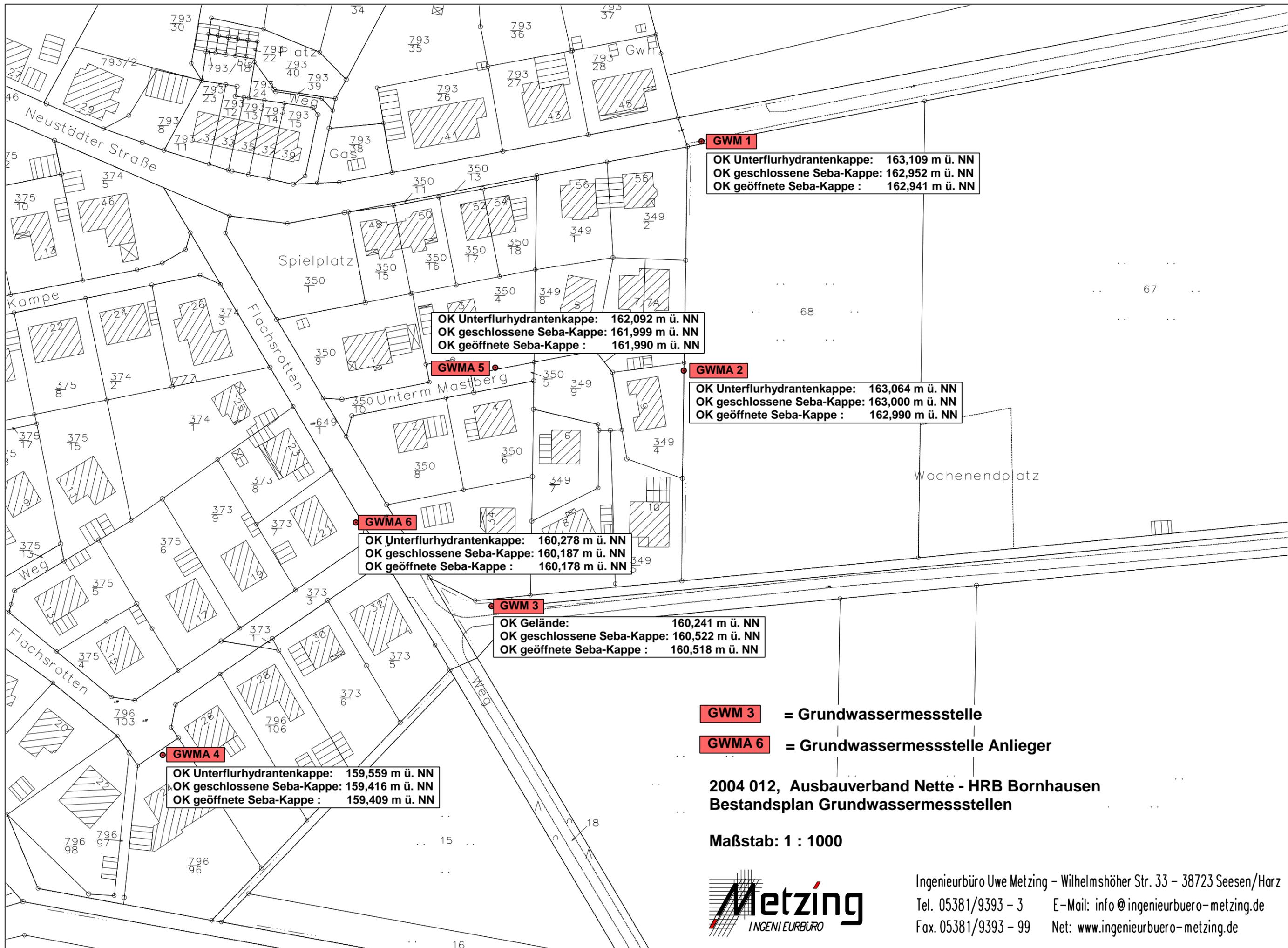


Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Bericht: 6274 / 10

Anlage 1.3

Lageplan Grundwassermessstellen



GWM 1
 OK Unterflurhydrantenkappe: 163,109 m ü. NN
 OK geschlossene Seba-Kappe: 162,952 m ü. NN
 OK geöffnete Seba-Kappe : 162,941 m ü. NN

OK Unterflurhydrantenkappe: 162,092 m ü. NN
 OK geschlossene Seba-Kappe: 161,999 m ü. NN
 OK geöffnete Seba-Kappe : 161,990 m ü. NN

GWMA 2
 OK Unterflurhydrantenkappe: 163,064 m ü. NN
 OK geschlossene Seba-Kappe: 163,000 m ü. NN
 OK geöffnete Seba-Kappe : 162,990 m ü. NN

GWMA 6
 OK Unterflurhydrantenkappe: 160,278 m ü. NN
 OK geschlossene Seba-Kappe: 160,187 m ü. NN
 OK geöffnete Seba-Kappe : 160,178 m ü. NN

GWM 3
 OK Gelände: 160,241 m ü. NN
 OK geschlossene Seba-Kappe: 160,522 m ü. NN
 OK geöffnete Seba-Kappe : 160,518 m ü. NN

GWMA 4
 OK Unterflurhydrantenkappe: 159,559 m ü. NN
 OK geschlossene Seba-Kappe: 159,416 m ü. NN
 OK geöffnete Seba-Kappe : 159,409 m ü. NN

GWM 3 = Grundwassermessstelle
GWMA 6 = Grundwassermessstelle Anlieger

2004 012, Ausbauverband Nette - HRB Bornhausen
 Bestandsplan Grundwassermessstellen

Maßstab: 1 : 1000



Ingenieurbüro Uwe Metzing – Wilhelmshöher Str. 33 – 38723 Seesen/Harz
 Tel. 05381/9393 – 3 E-Mail: info@ingenieurbuero-metzing.de
 Fax. 05381/9393 – 99 Net: www.ingenieurbuero-metzing.de

Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Bericht: 6274 / 10

Anlage 1.4

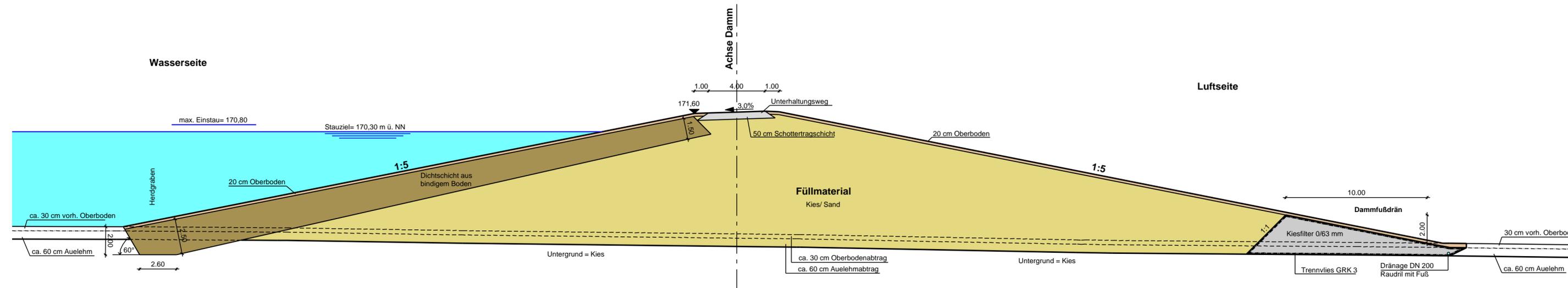
Detailplan Auslaufbauwerk

Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Bericht: 6274 / 10

Anlage 1.5
Schnitt Damm

Schnitt Damm bei Stat. 1+200,000



Nr.	Art der Änderung	Datum	Zeichen
Metzing <small>INGENIEURBÜRO</small>		Dipl.-Ing. Uwe Metzging - Wilhelmshöher Str. 33 - 38723 Seesen/Harz Tel. 05381/9393 - 3 E-Mail: info @ ingenieurbuero-metzing.de Fax. 05381/9393 - 99 Net: www.ingenieurbuero-metzing.de	
Bauherr: Ausbauverband Nette Am Thie 1 31188 Holle		Maßstäbe: 1 : 200	Bearbeiter: 23.11.10 Schneider
Bauvorhaben: Neubau eines Hochwasserrückhaltebeckens östlich von Bornhausen		Blatt-Nr.: 04 012 - 02/1	Gezeichnet: 23.11.10 Tell
Bauteil: Schnitt Damm bei Stat. 1+200,000		Blattgröße: 80 x 30	Geändert:
Der Antragsteller: Holle, den 23.11.2010		Aufgestellt: Seesen, den 23.11.2010	Anlage:

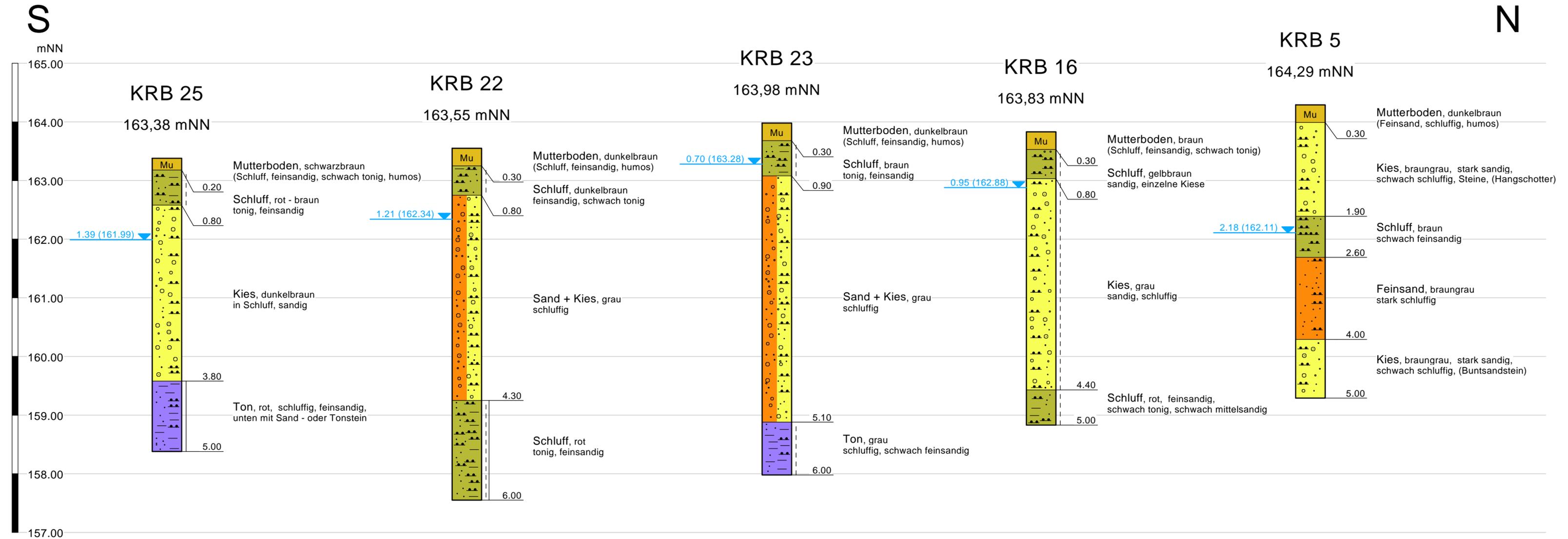
Konsistenzen:

-  halbfest
-  steif - halbfest
-  steif



Bodenprofil I
Maßstab d. H. 1 : 50

KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)



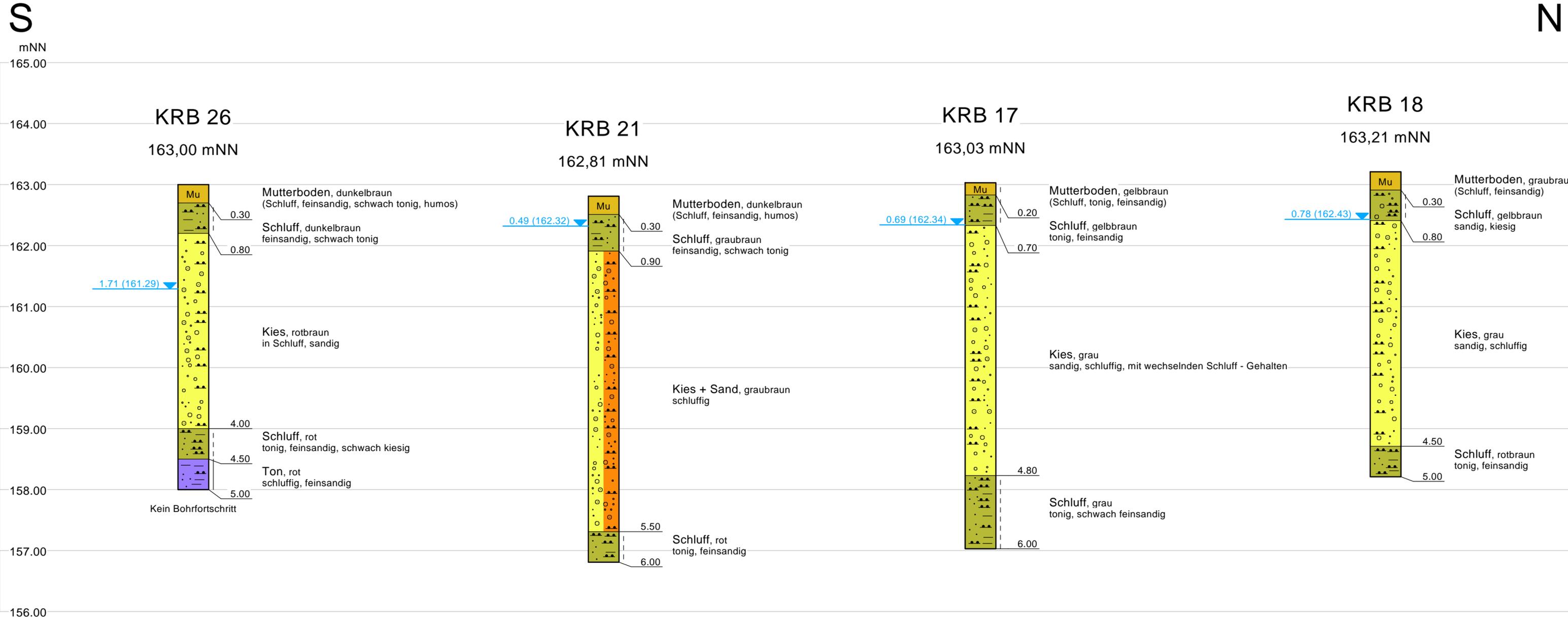
Konsistenzen:

- ▬ halbfest
- ▬ steif



Bodenprofil II
Maßstab d. H. 1 : 50

KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)



Konsistenzen:

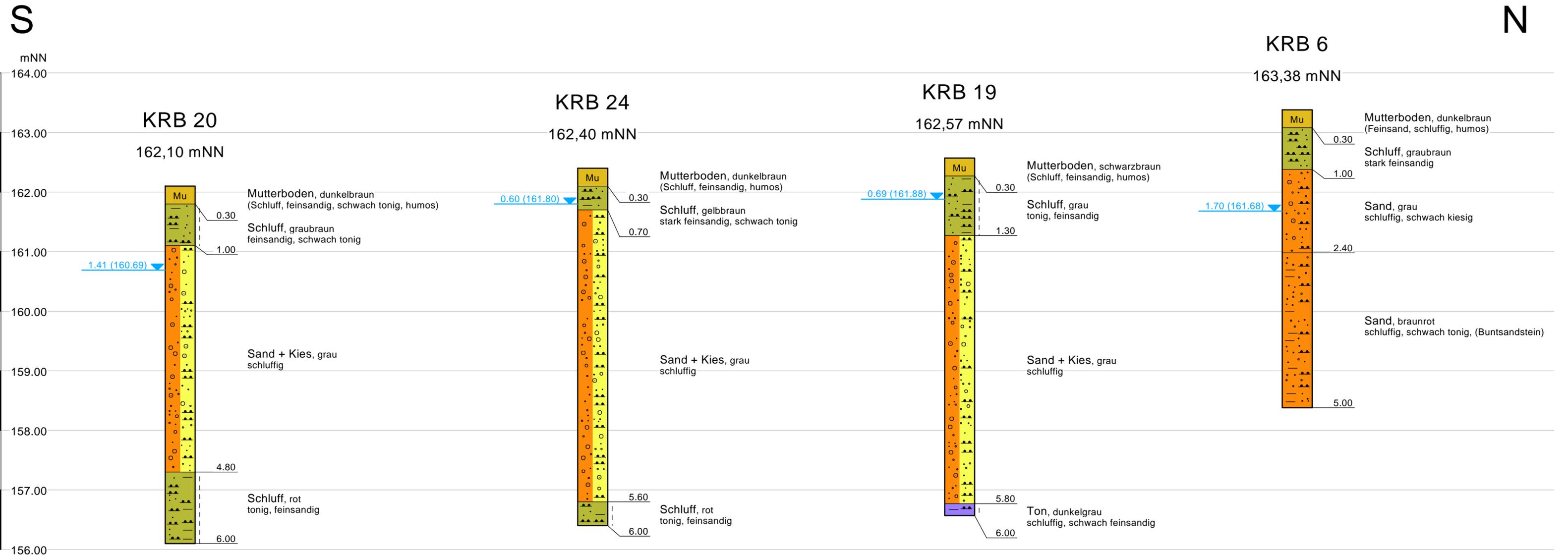
steif



Bodenprofil III

Maßstab d. H. 1 : 50

KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)



Konsistenzen:

steif

GGU
Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



Bornhausen
Hochwasserrückhaltebecken

Bericht Nr. 6274 / 10

Anlage Nr. 2.4

Bodenprofil IV

Maßstab d. H. 1 : 50

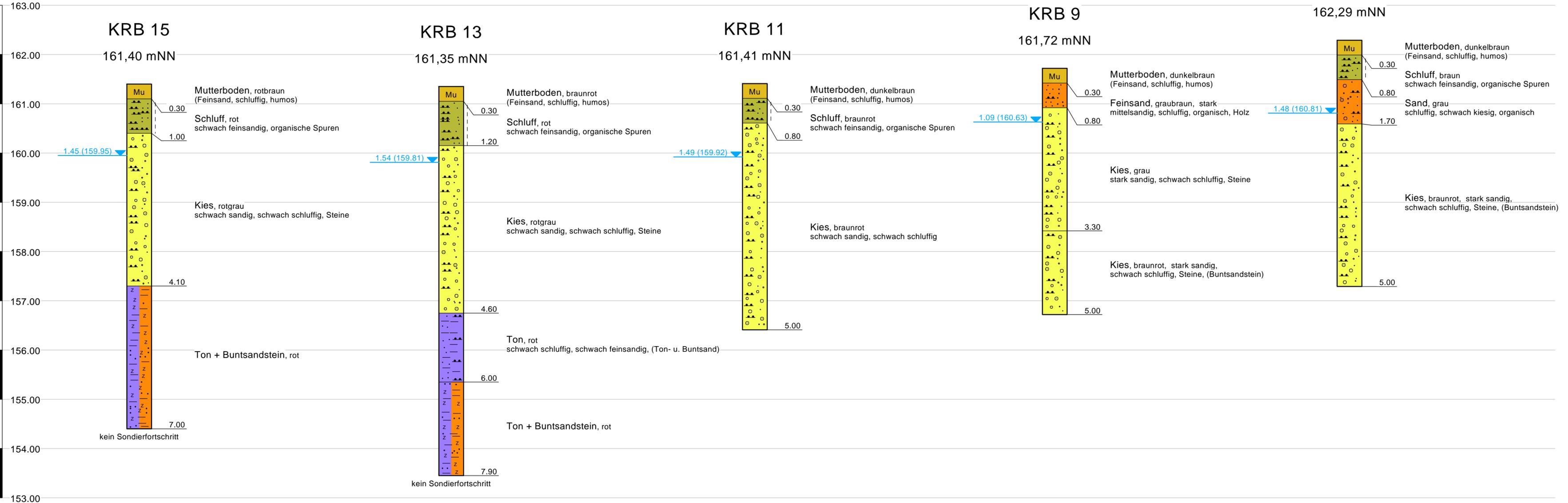
KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)

KRB 7

N

S

mNN



KRB 15

161,40 mNN

KRB 13

161,35 mNN

KRB 11

161,41 mNN

KRB 9

161,72 mNN

KRB 7

162,29 mNN

kein Sondierfortschritt

kein Sondierfortschritt

1.09 (160.63)

1.48 (160.81)

1.45 (159.95)

1.54 (159.81)

1.49 (159.92)

5.00

5.00

4.10

4.60

5.00

3.30

7.00

7.90

Konsistenzen:

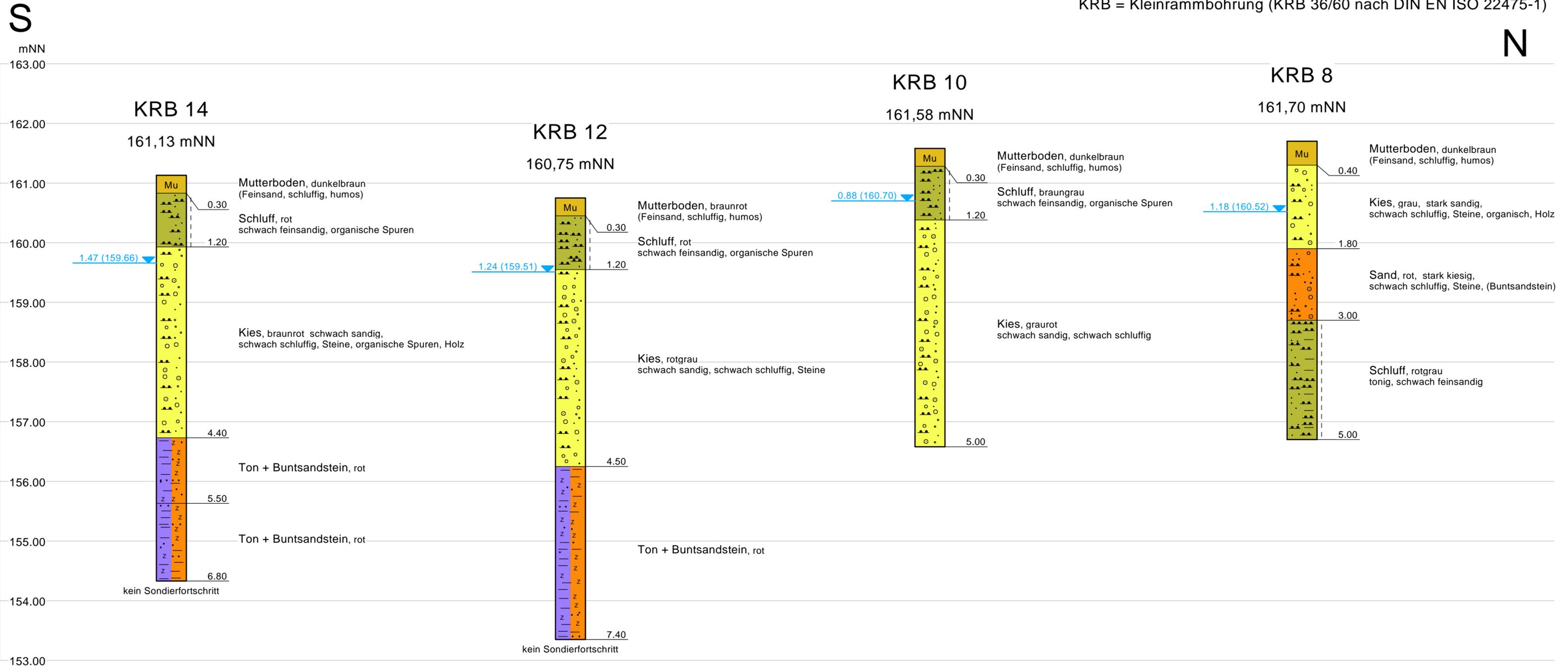
steif



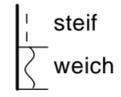
Bodenprofil V

Maßstab d. H. 1 : 50

KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)



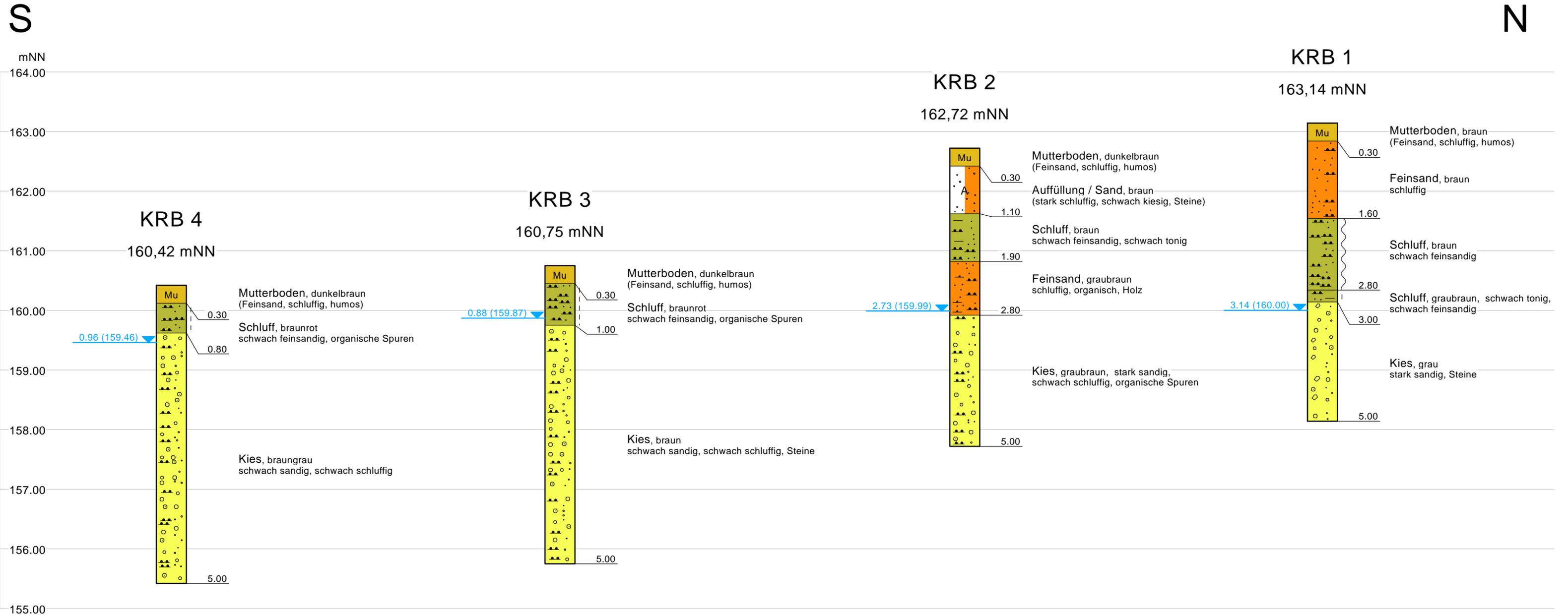
Konsistenzen:



Bodenprofil VI

Maßstab d. H. 1 : 50

KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)



Konsistenzen:

-  fest
-  steif - halbfest

GGU
 Am Hafen 22
 38112 Braunschweig
 Tel.: 0531/312895



Bornhausen
 Hochwasserrückhaltebecken

Bericht Nr. 6274 / 10
 Anlage Nr. 2.7

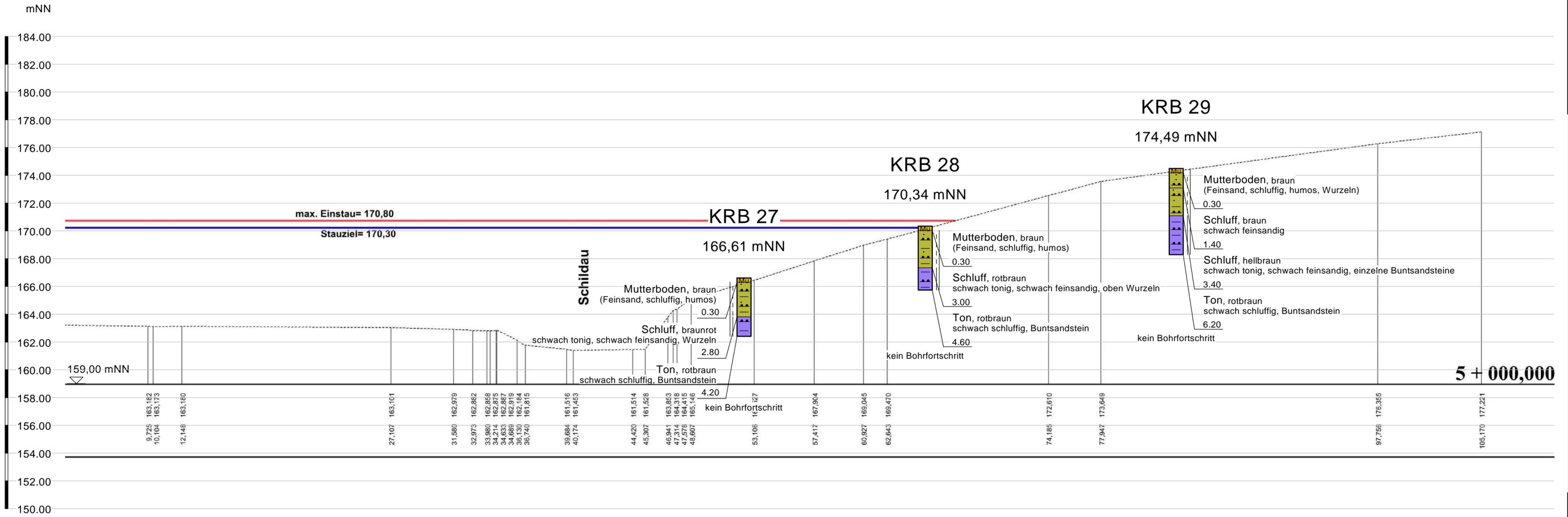
Bodenprofil VII

Maßstab d. H. 1 : 200/Maßstab d. L. 1 : 200

KRB = Kleinrammbohrung (KRB 36/60 nach DIN EN ISO 22475-1)

S

N



Konsistenzen:

halbfest

GGU
Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



Bornhausen
Hochwasserrückhaltebecken

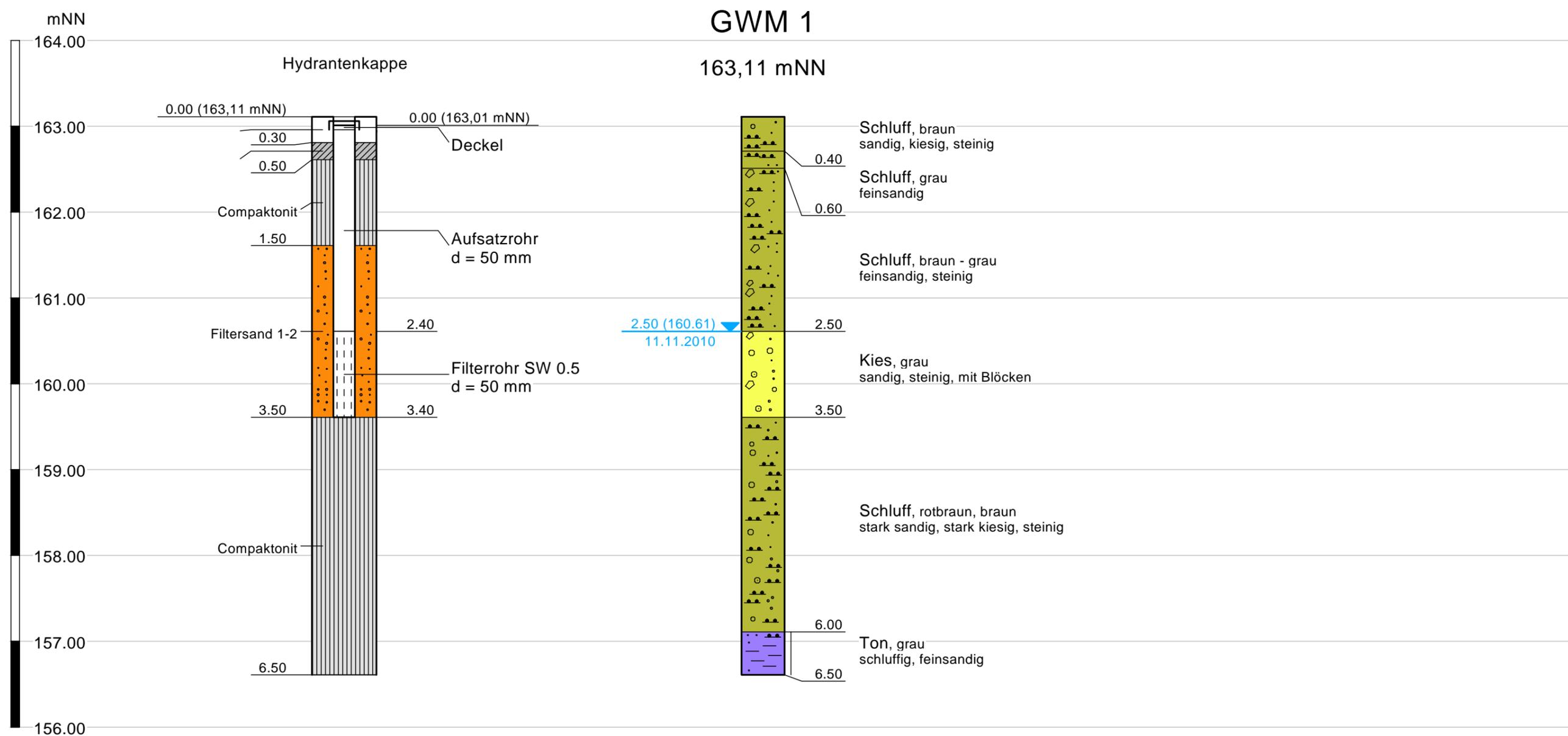
Bericht Nr. 6274 / 10

Anlage Nr. 2.8

Bodenprofil (GWM 1)

Maßstab d. H. 1 : 50

GWM = Grundwassermessstelle (Fa. Kressebuch GmbH)



Konsistenzen:

weich

GGU
Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



Bornhausen
Hochwasserrückhaltebecken

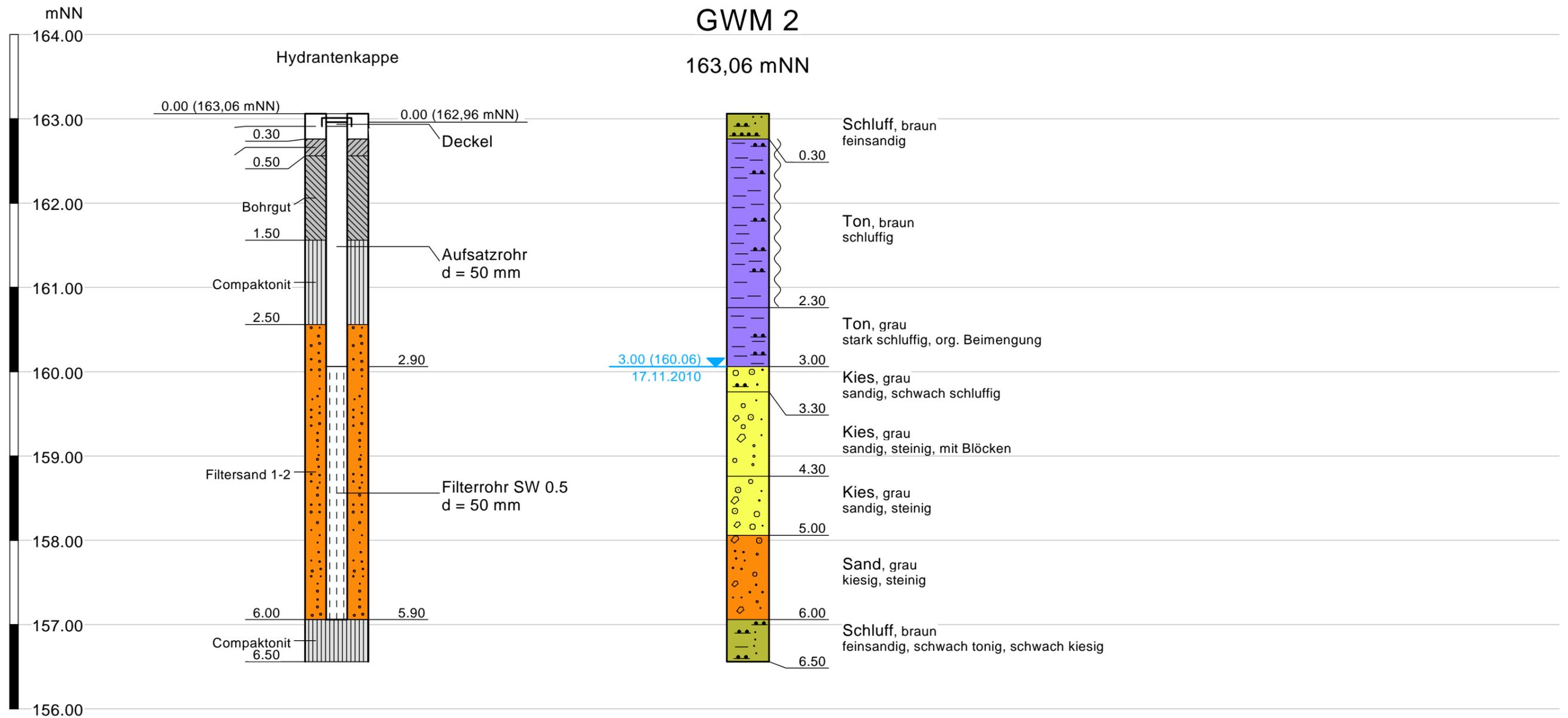
Bericht Nr. 6274 / 10

Anlage Nr. 2.9

Bodenprofil (GWM 2)

Maßstab d. H. 1 : 50

GWM = Grundwassermessstelle (Fa. Kressebuch GmbH)

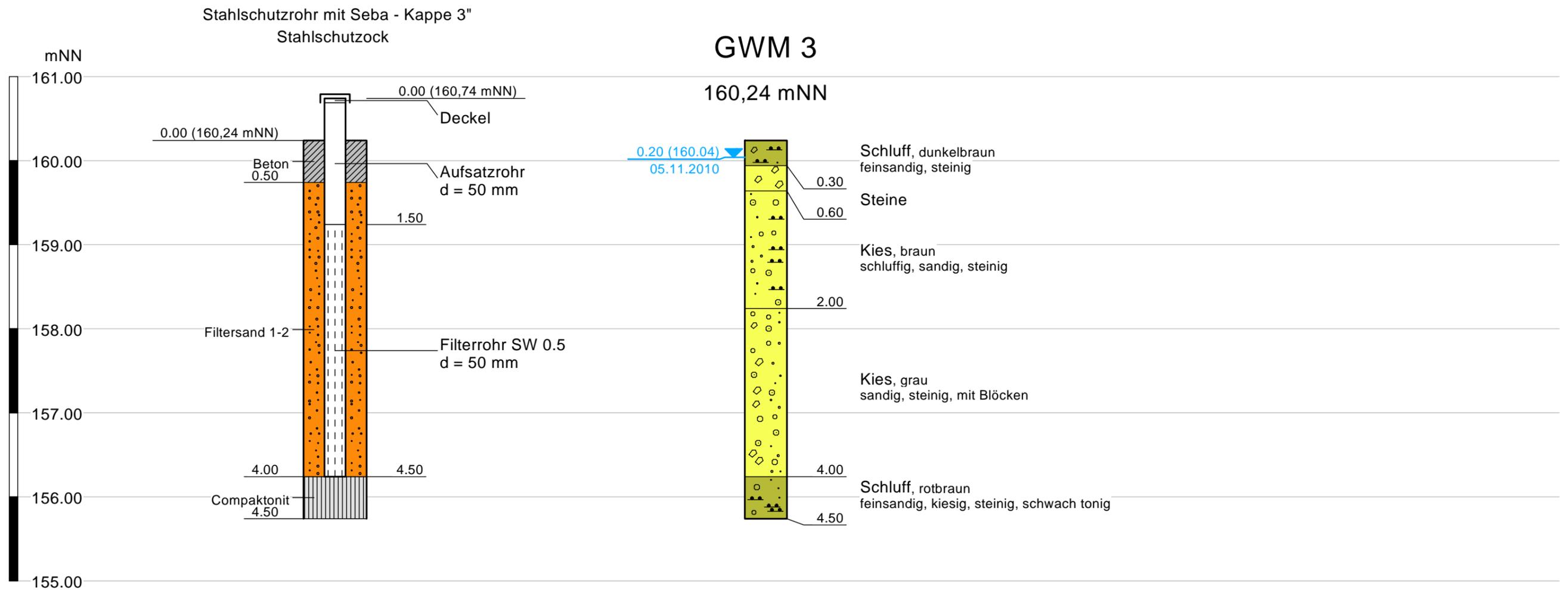




Bodenprofil (GWM 3)

Maßstab d. H. 1 : 50

GWM = Grundwassermessstelle (Fa. Kressebuch GmbH)



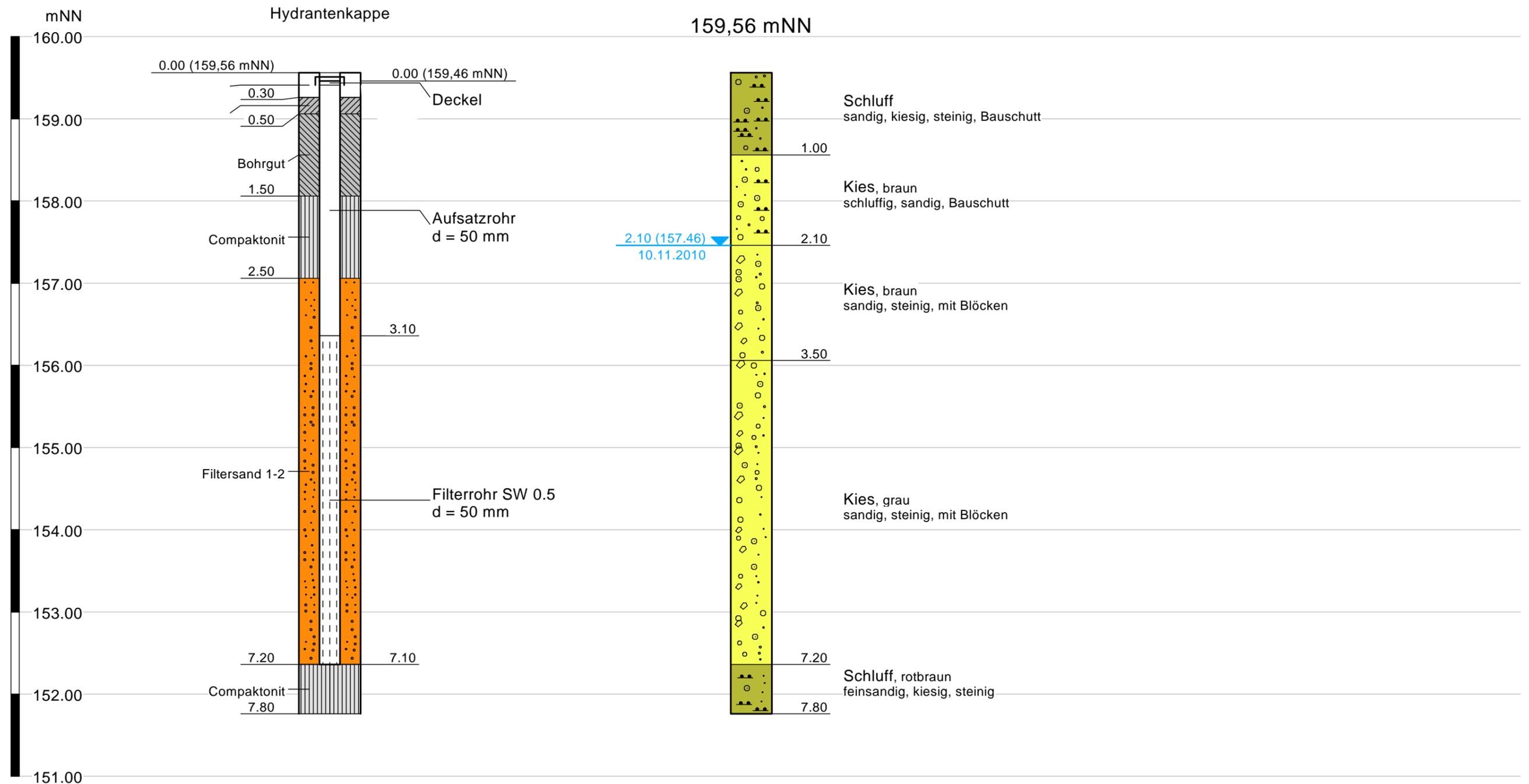
Bodenprofil (GWM 4)

Maßstab d. H. 1 : 50

GWM = Grundwassermessstelle (Fa. Kressebuch GmbH)

GWM 4

159,56 mNN



Konsistenzen:

weich

GGU
Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



Bornhausen
Hochwasserrückhaltebecken

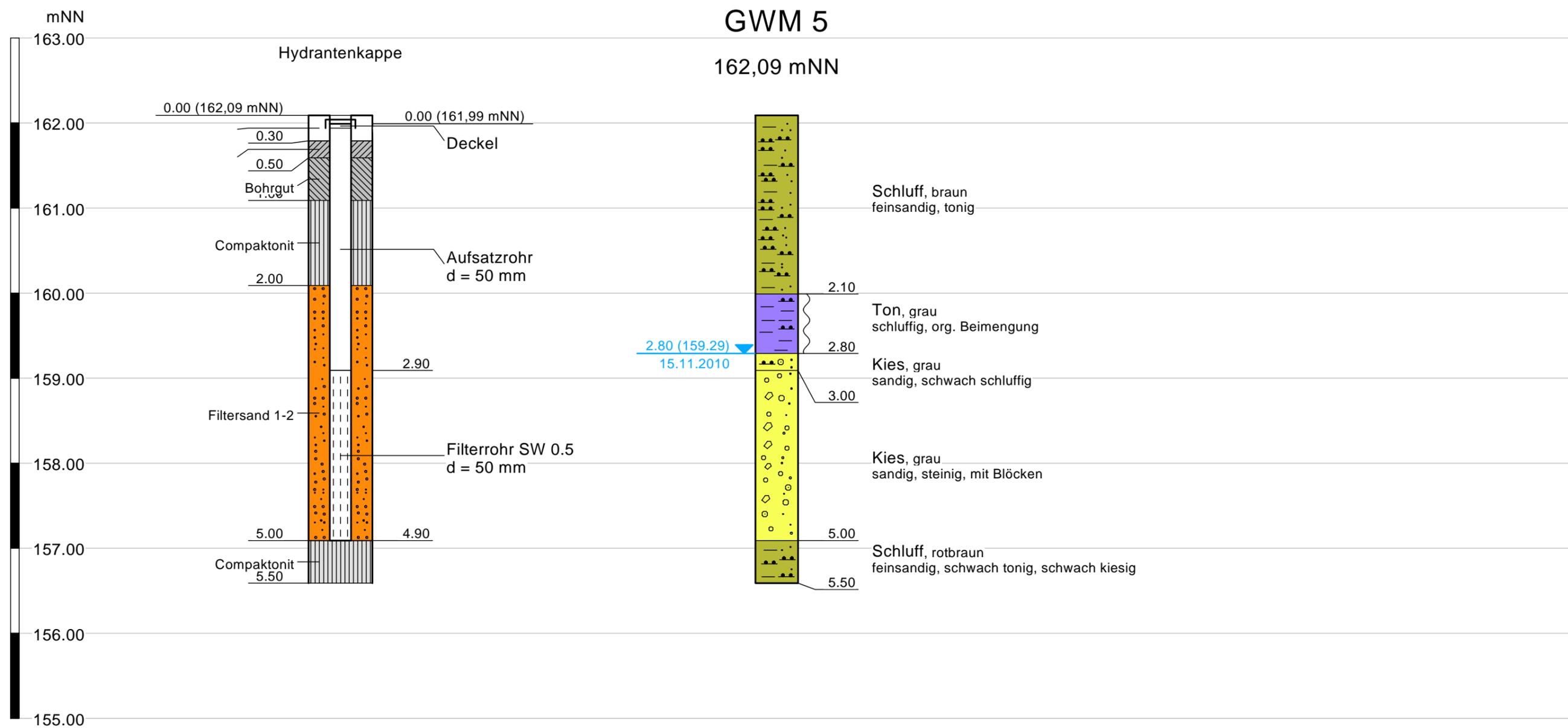
Bericht Nr. 6274 / 10

Anlage Nr. 2.12

Bodenprofil (GWM 5)

Maßstab d. H. 1 : 50

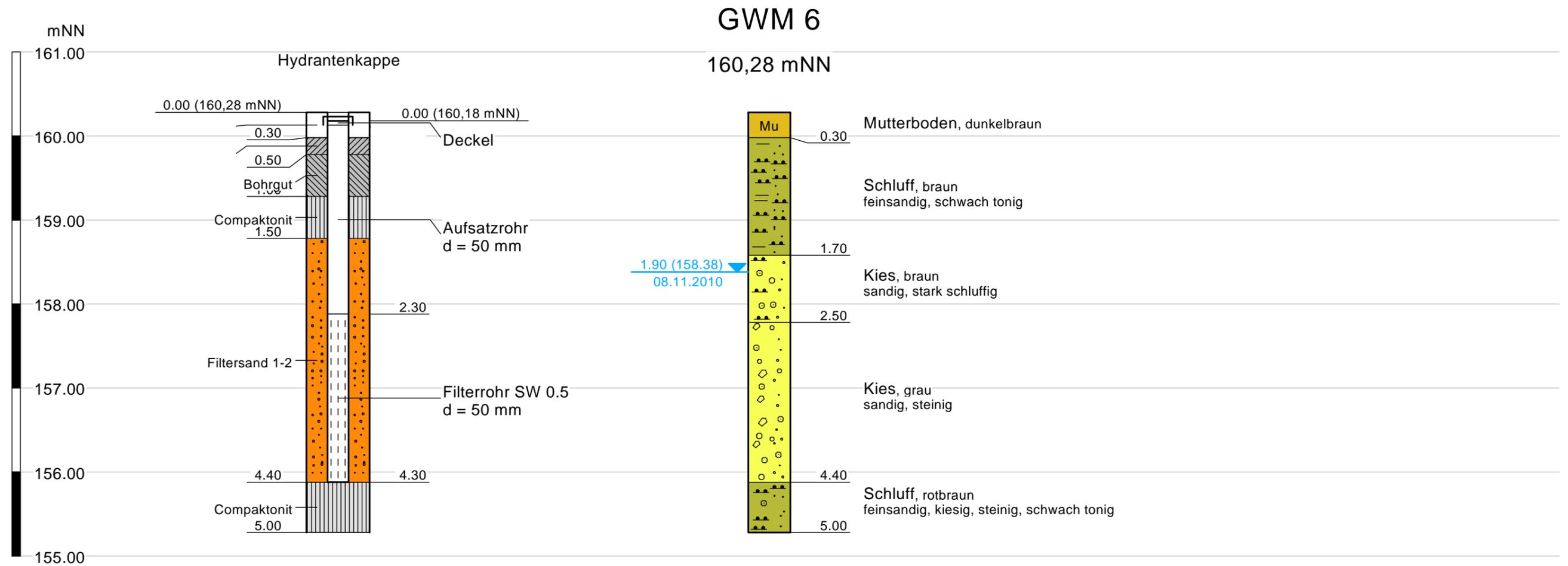
GWM = Grundwassermessstelle (Fa. Kressebuch GmbH)



Bodenprofil (GWM 6)

Maßstab d. H. 1 : 50

GWM = Grundwassermessstelle (Fa. Kressebuch GmbH)



Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Zusammenstellung der bodenmechanischen Kenngrößen

Bohrung	Tiefe [m]	Bodenart	w [%]	w _L [%]	w _P [%]	ρ _f [g/cm ³]	V _{gl} [%]	k ₁₀ [m/s]	φ' [°]	c' [kN/m ²]
KRB 1	1,6 – 2,8	U, fs, t'	33,3							
KRB 3	0,3 – 1,0	U, t, fs	12,3							
KRB 16	0,3 – 0,8	U, t, s	25,3				4,2			
KRB 17	0,2 – 0,7	U, t, fs'	25,9							
KRB 21	0,3 – 0,9	U, t, s	26,9							
KRB 22	0,3 – 0,8	U, t, s	27,2							
KRB 26	4,0 – 4,5	U, t, s, g	18,2							
Mischprobe			27,0	41,3	19,3				27,9	10,7
GWM 3	2,0 – 3,0	G, x, s								
Schurf RKS 10	0,3 – 0,42	U, t, s	30,6			1,75	6,6	1,2·10 ⁻⁷	33,5	5,6
Schurf RKS 13	0,3 – 0,42	U, t, s	24,7	35,0	22,3	1,83	4,0	—	—	—
Schurf RKS 14	0,3 – 0,42	U, t, s	21,2	31,9	20,9	1,88	3,4	—	—	—

Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



Körnungslinie

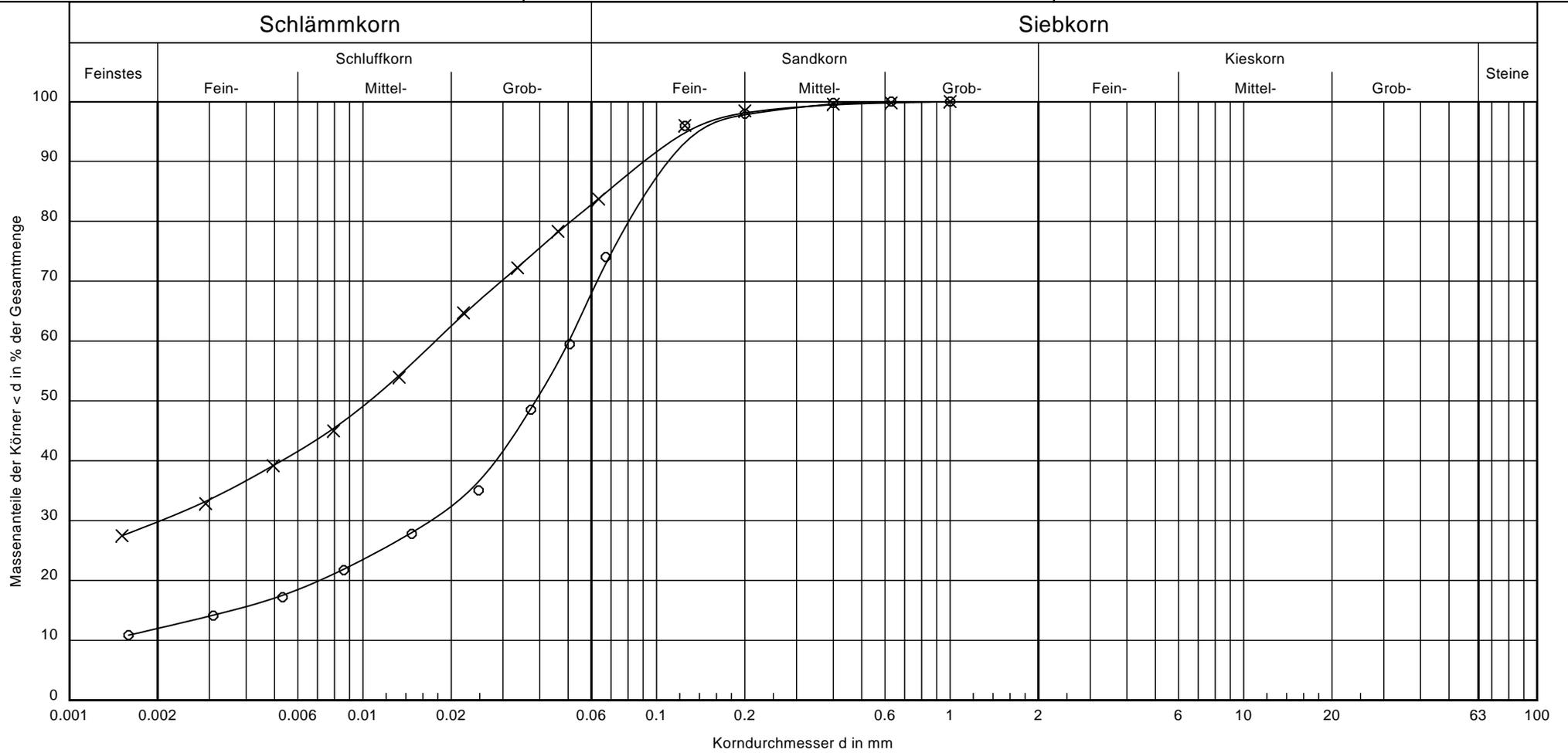
Bornhausen

Hochwasserrückhaltebecken

Probe entnommen am: 11.12.06
Art der Entnahme: gestört
Arbeitsweise: Sieb- und Schlämmanalyse, Nasssiebung

Bearbeiter: NW/OI

Datum: 11.01.07



Kurve:	○ — ○	× — ×
Entnahmestelle:	KRB 1	KRB 3
Tiefe:	1,6 - 2,8 m	0,3 - 1,0 m
Bodenart:	U, fs, t'	U, t, fs
U/Cc:	-/-	-/-
k [m/s] (Hazen):	-	-

Bemerkungen:

Bericht: 6274 / 10
 Anlage: 3.2.1

Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



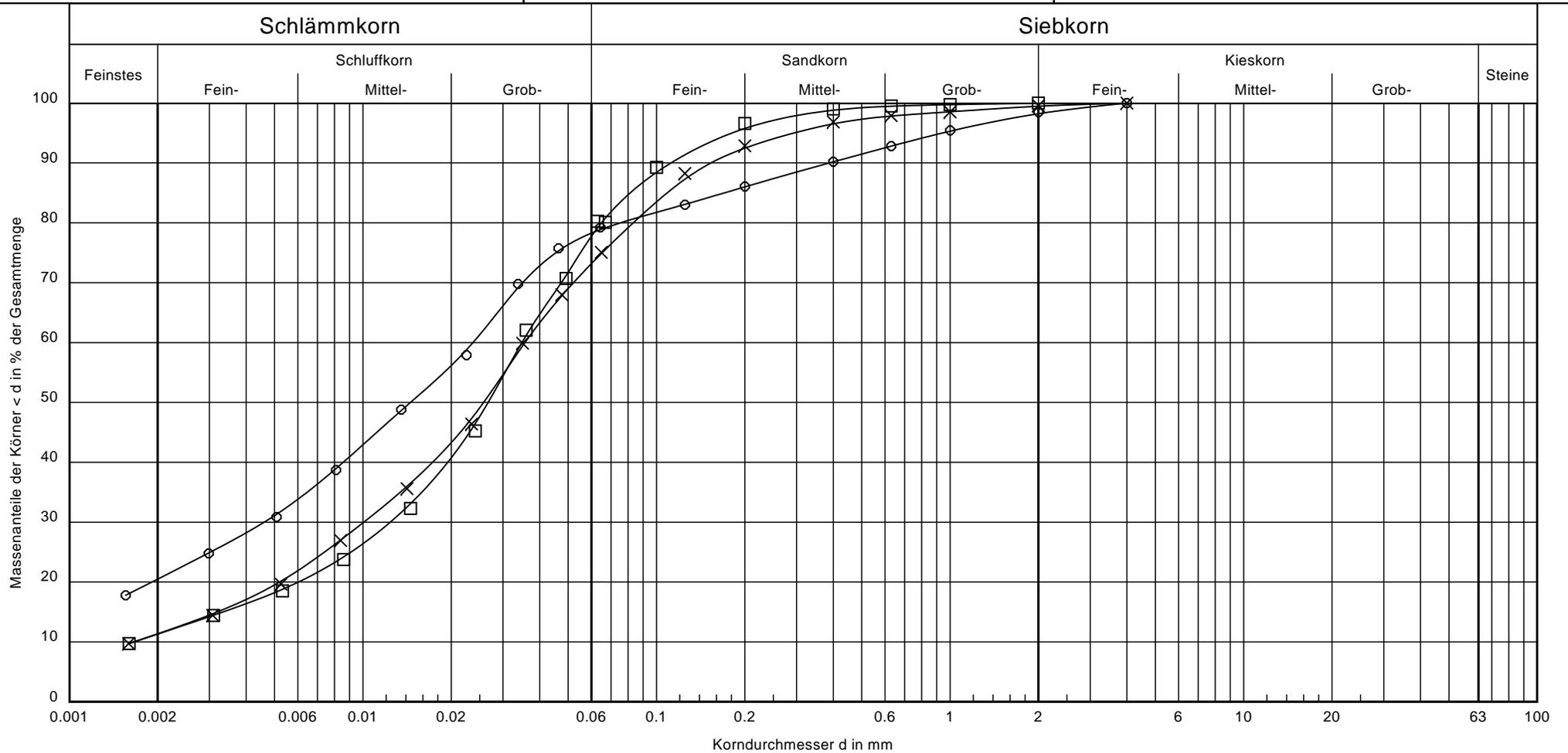
Körnungslinie

Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Probe entnommen am: 12.12.06
Art der Entnahme: gestört
Arbeitsweise: Sieb- und Schlämmanalyse

Bearbeiter: NW/OI

Datum: 11.01.07



Kurve:			
Entnahmestelle:	Schurf bei KRB 10	Schurf bei KRB 13	Schurf bei KRB 14
Tiefe:	0,3 - 0,42 m	0,3 - 0,42 m	0,3 - 0,42 m
Bodenart:	U, t, s	U, t, s	U, t, s
U/Cc:	-/-	21.5/1.7	20.9/2.7
k [m/s] (Hazen):	-	-	-

Bemerkungen:

Bericht:
6274 / 10
Anlage:
3.2.2

Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



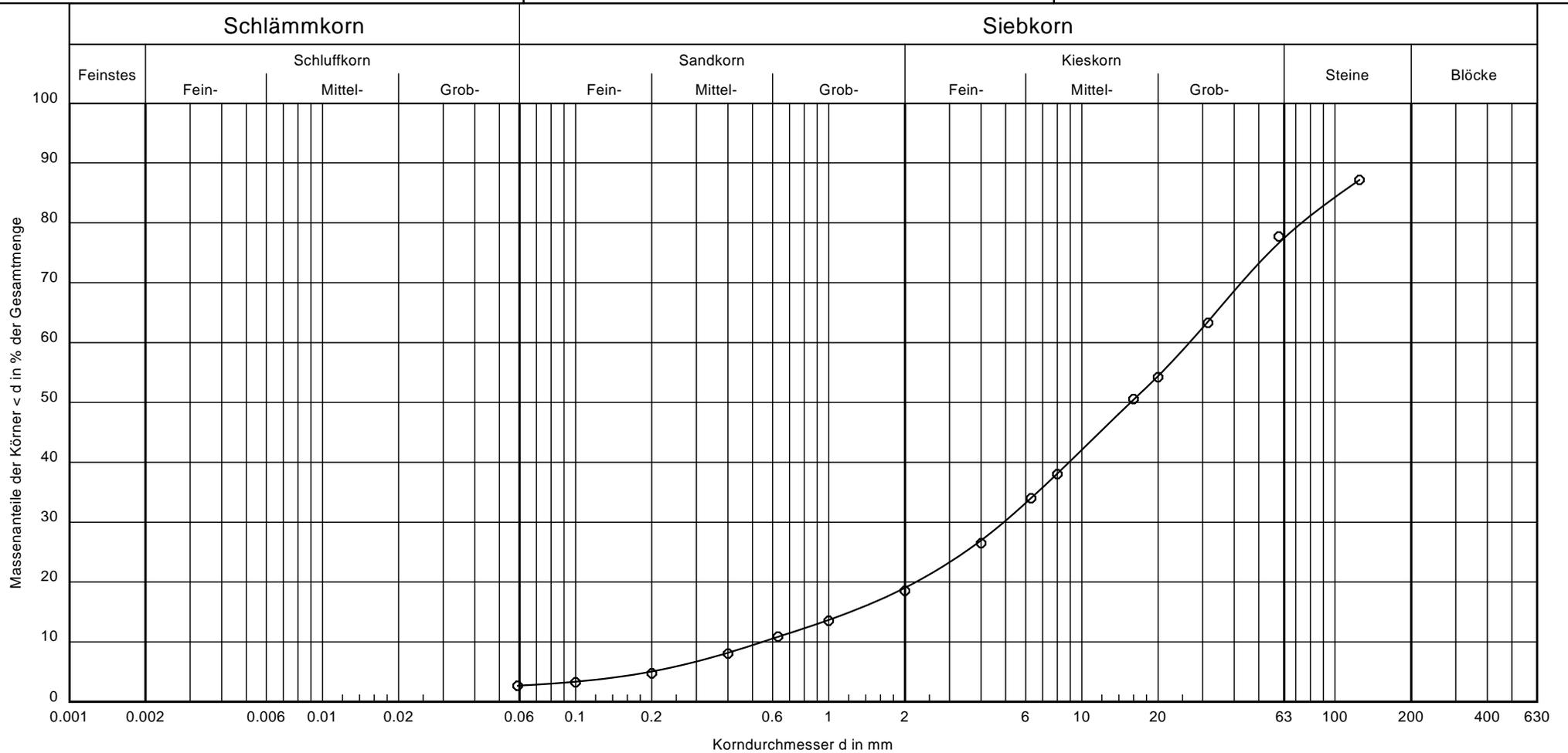
Körnungslinie

Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Probe entnommen am: 08.11.2010
Art der Entnahme: gestört
Arbeitsweise: Nasssiebung

Bearbeiter: JB / Kö

Datum: 10.11.2010



Kurve:	
Entnahmestelle:	GWM 3
Tiefe:	2,0 - 3,0 m
Bodenart:	G, x, s
U/Cc:	48.7/1.7
k [m/s] (Beyer):	$1.9 \cdot 10^{-3}$

Bemerkungen:

Bericht: 6274 / 10
 Anlage: 3.2.3

Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895



Körnungslinie

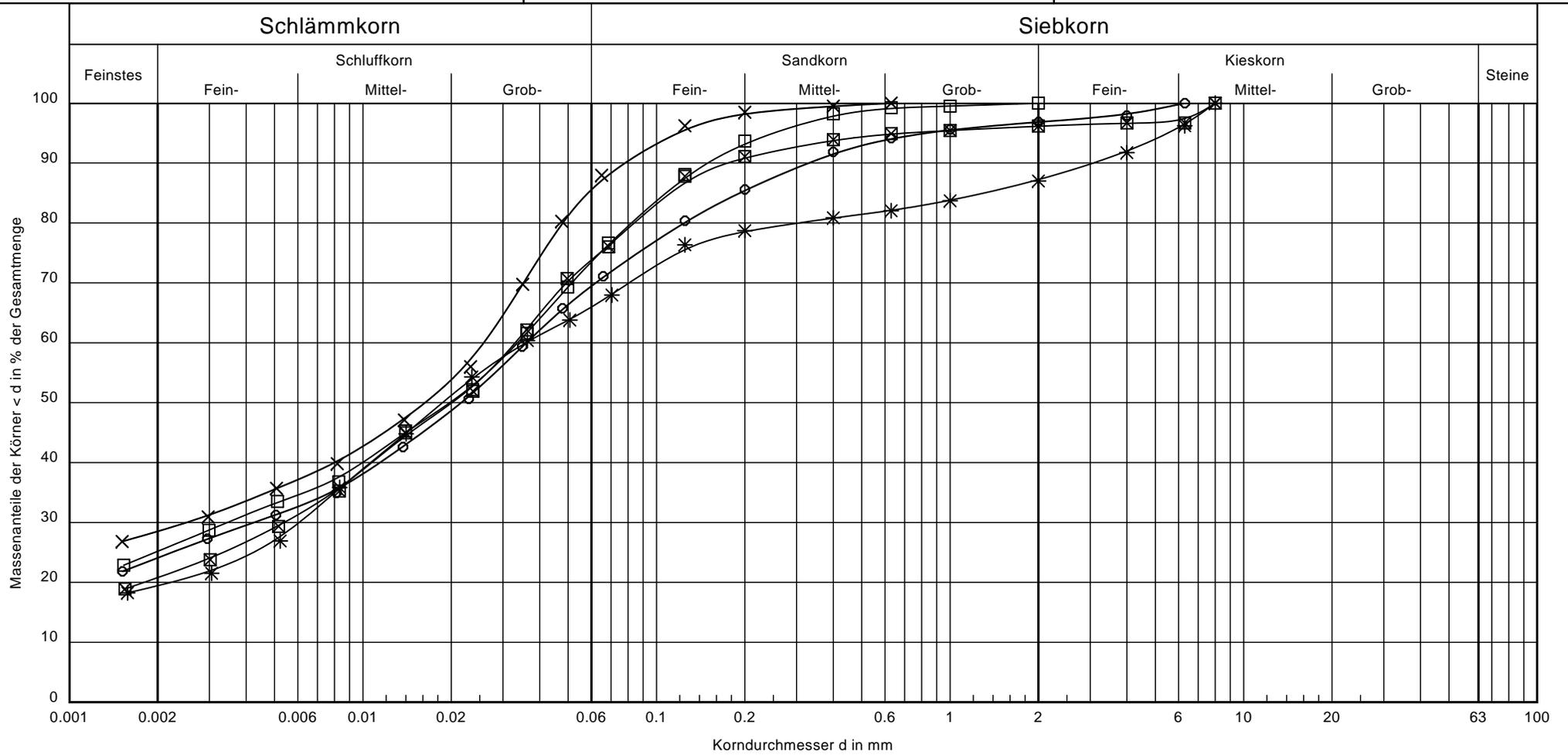
Bornhausen

Hochwasserrückhaltebecken

Probe entnommen am: 25./26.10.2010
Art der Entnahme: gestört
Arbeitsweise: Sieb- und Schlämmanalyse, Nasssiebung

Bearbeiter: Ol/Kö

Datum: 01.11.2010



Kurve:	○—○	×—×	□—□	⊠—⊠	*—*
Entnahmestelle:	KRB 16	KRB 17	KRB 21	KRB 22	KRB 26
Tiefe:	0,3 - 0,8 m	0,2 - 0,7 m	0,3 - 0,9 m	0,3 - 0,8 m	4,0 - 4,5 m
Bodenart:	U, t, fs, ms'	U, t, fs'	U, t, fs, ms'	U, t, fs	U, t, fs', gs', fg'
U/Cc:	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
k [m/s] (Beyer):	-	-	-	-	-

Bemerkungen:

Bericht: 6274 / 10
 Anlage: 3.2.4

Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Bornhausen

Hochwasserrückhaltebecken

Bearbeiter: NW/Kö

Datum: 01./11.01.07

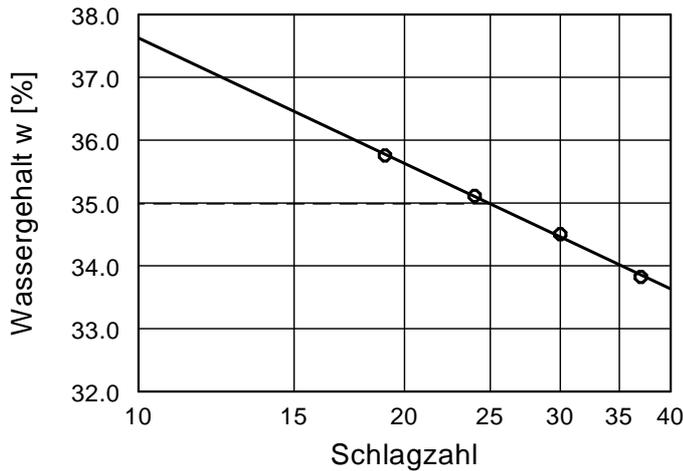
Entnahmestelle: Schurf bei KRB 13

Tiefe: 0,3 - 0,42 m

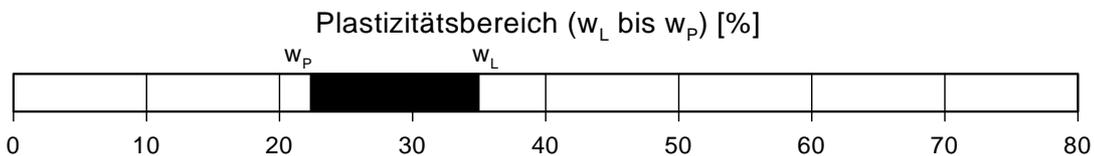
Art der Entnahme: gestört

Bodenart: U, t, s

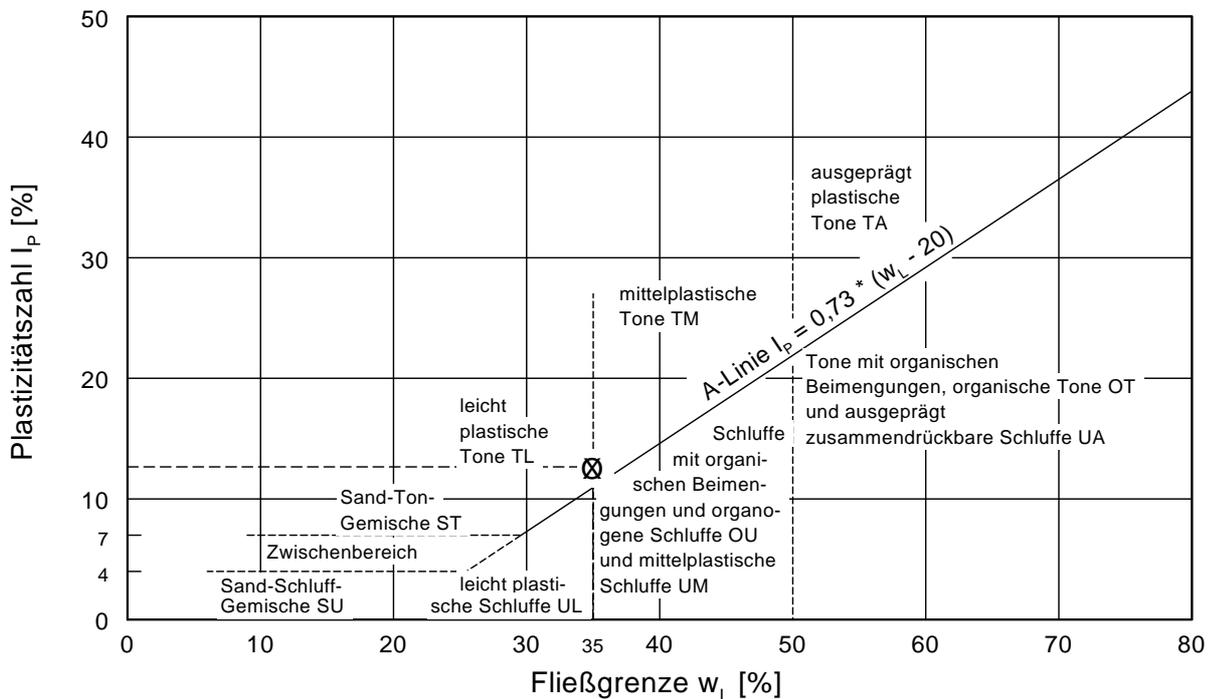
Probe entnommen am: 12.12.06



Wassergehalt $w = 24.7 \%$
 Fließgrenze $w_L = 35.0 \%$
 Ausrollgrenze $w_p = 22.3 \%$
 Plastizitätszahl $I_p = 12.7 \%$
 Konsistenzzahl $I_c = 0.81$



Plastizitätsdiagramm



Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Bornhausen

Hochwasserrückhaltebecken

Bearbeiter: NW/Kö

Datum: 01./11.01.07

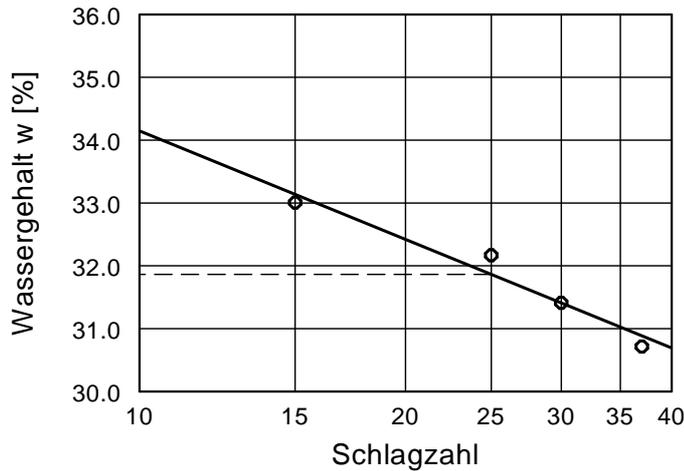
Entnahmestelle: Schurf bei KRB 14

Tiefe: 0,3 - 0,42 m

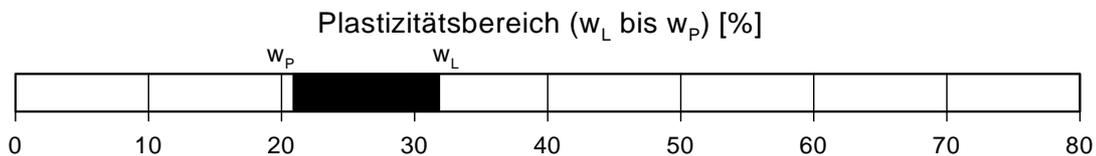
Art der Entnahme: gestört

Bodenart: U, t, s

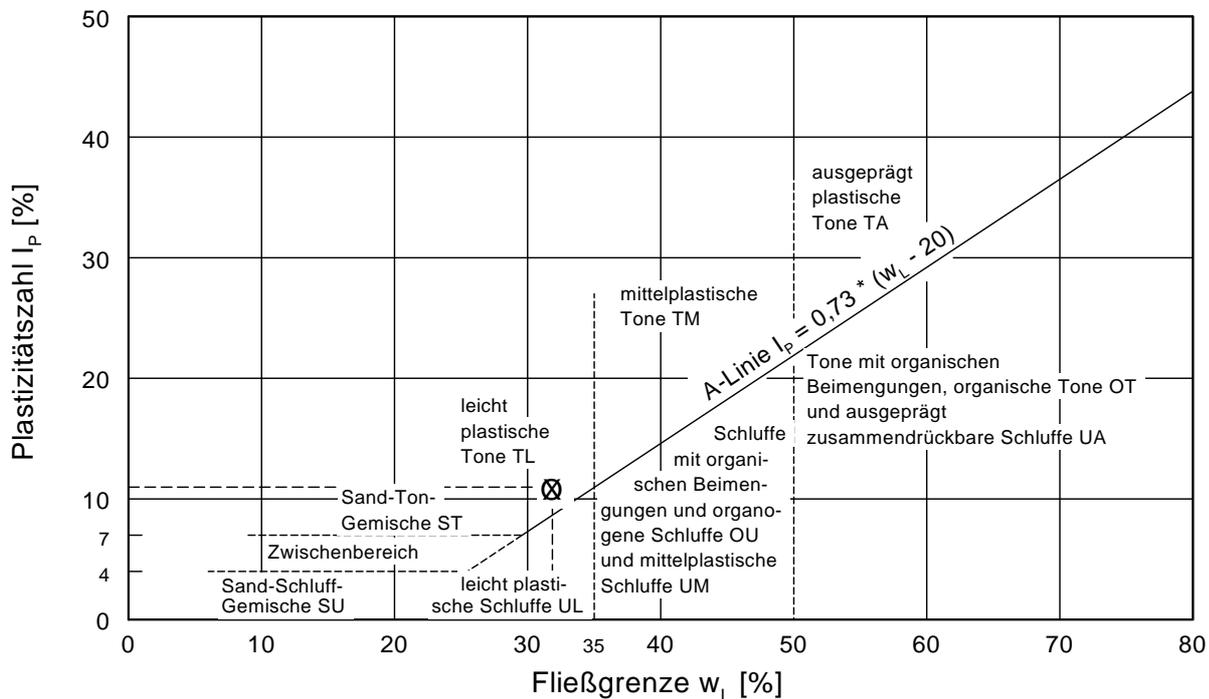
Probe entnommen am: 12.12.06



Wassergehalt $w = 21.2 \%$
 Fließgrenze $w_L = 31.9 \%$
 Ausrollgrenze $w_p = 20.9 \%$
 Plastizitätszahl $I_p = 11.0 \%$
 Konsistenzzahl $I_c = 0.97$



Plastizitätsdiagramm



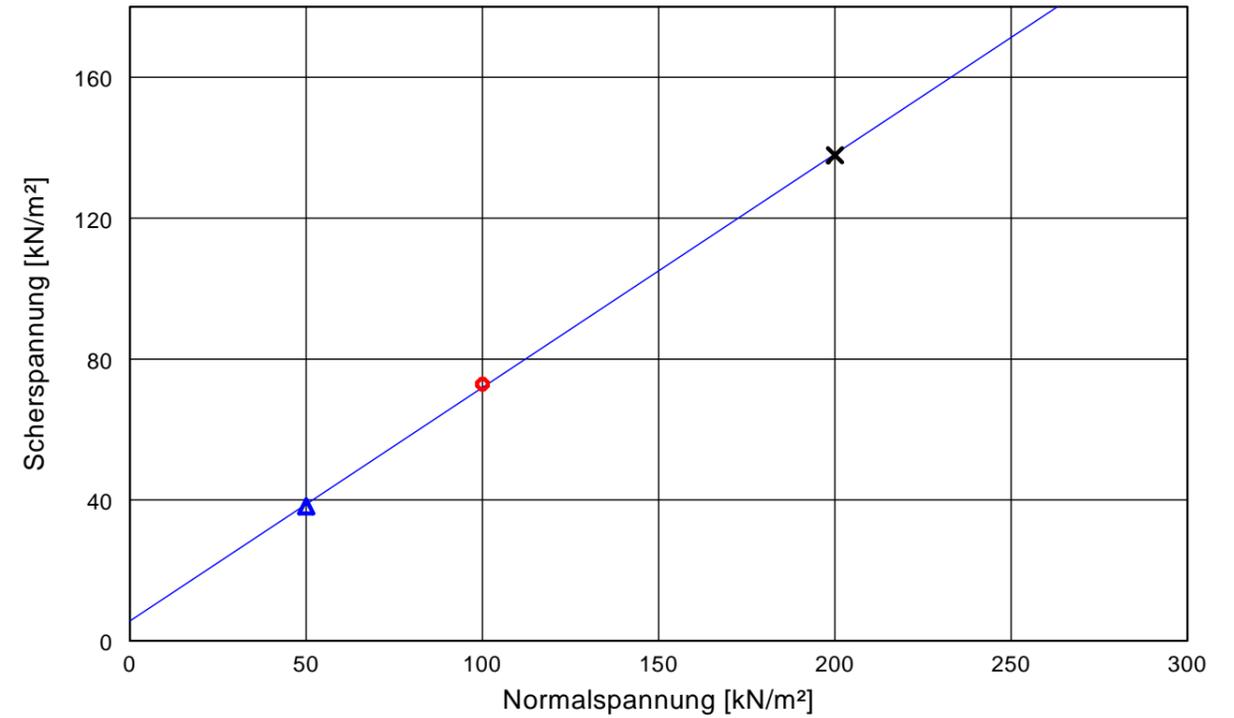
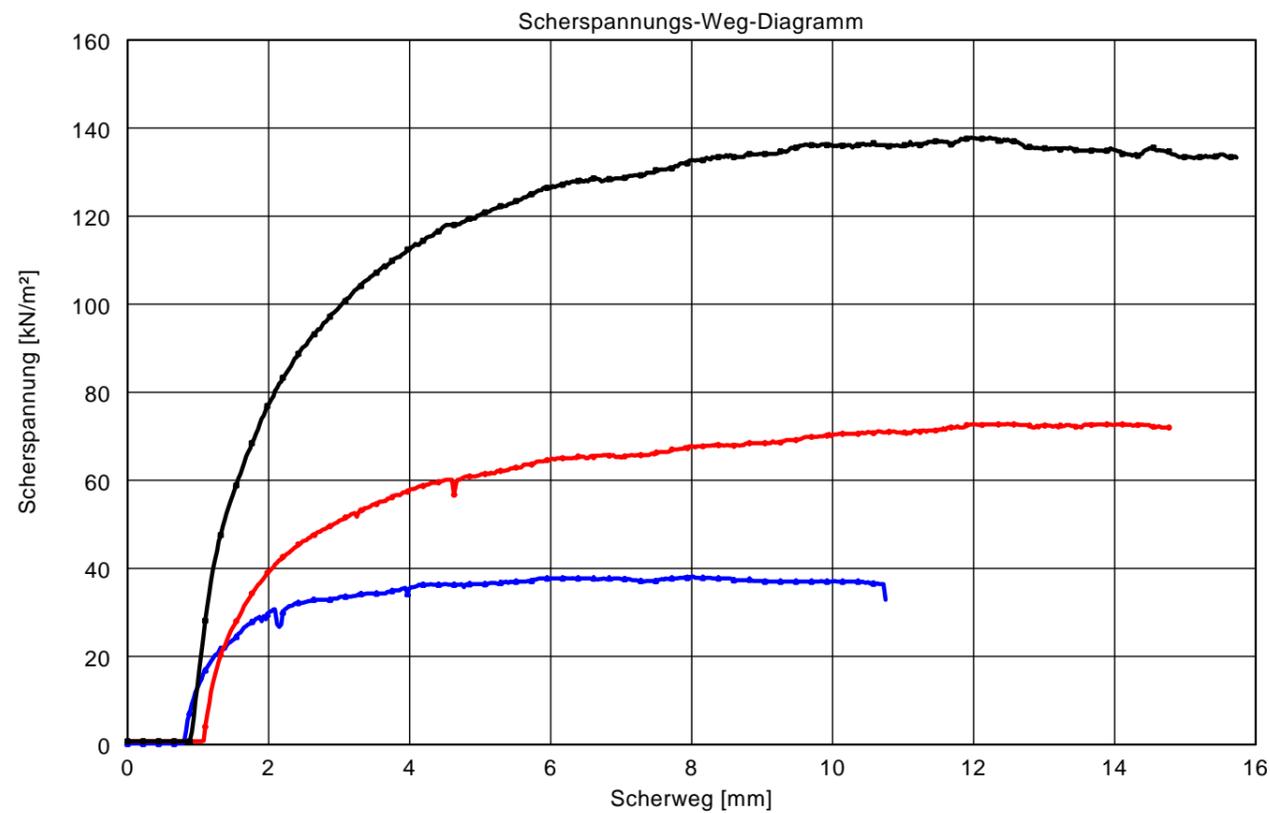
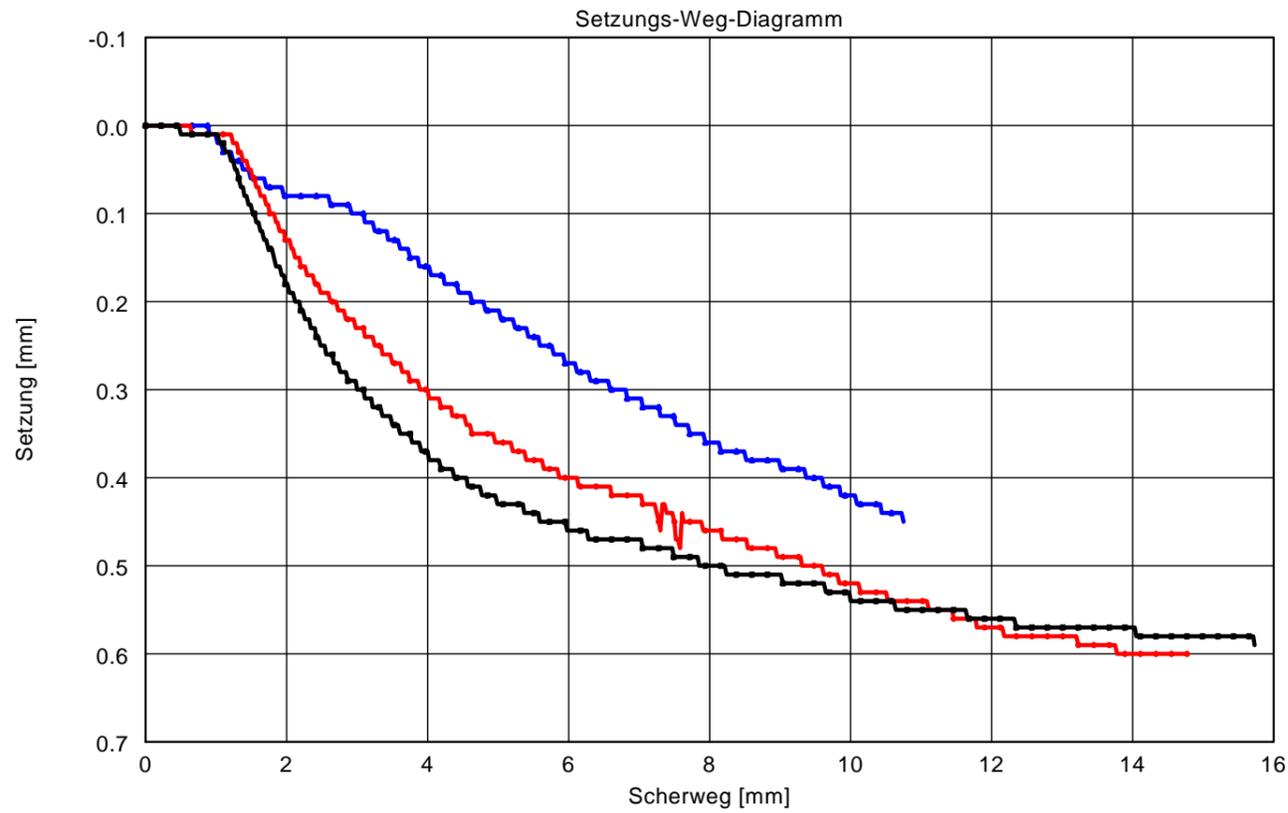


Rahmenscherversuch nach DIN 18 137-3
Bornhausen
 Hochwasserrückhaltebecken

Bearbeiter: NW/Kö

Datum: 13.01.2007

Entnahmestelle: Schurf bei KRB 10
 Bodenart: U, t, s
 Einbauwerte:
 Wassergehalt [%]: 30,1
 Feuchtdichte [g/cm³]: 1,73



Versuch-Nr.	1 ▲	2 ●	3 ✕
Normalspannung [kN/m²]	50.0	100.0	200.0
Scherspannung [kN/m²]	38.1	72.9	137.9
Abschergeschwindigkeit [mm/min]	0,016	0,016	0,016
Probenfläche [cm²]	70,0	70,0	70,0
w (Ausbau) [%]	37,6	33,7	24,5

Reibungswinkel = 33.5 Grad
 Kohäsion = 5.6 kN/m²
 Korrelation = 1.000



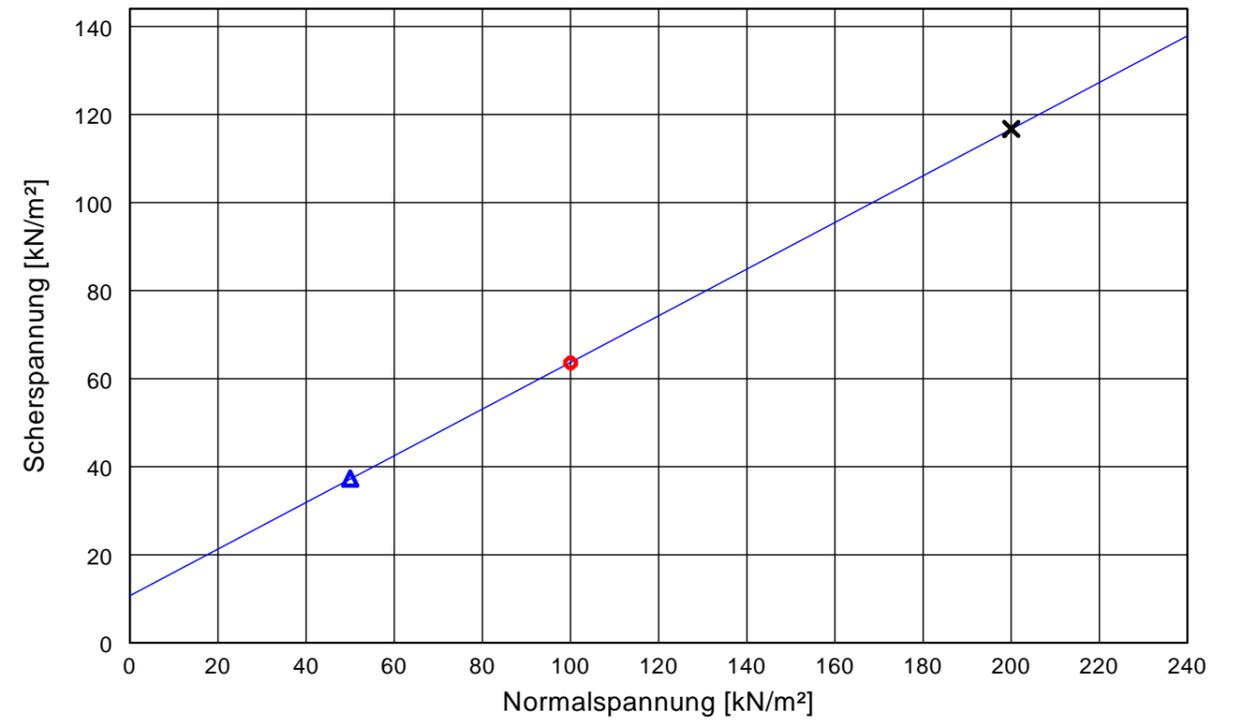
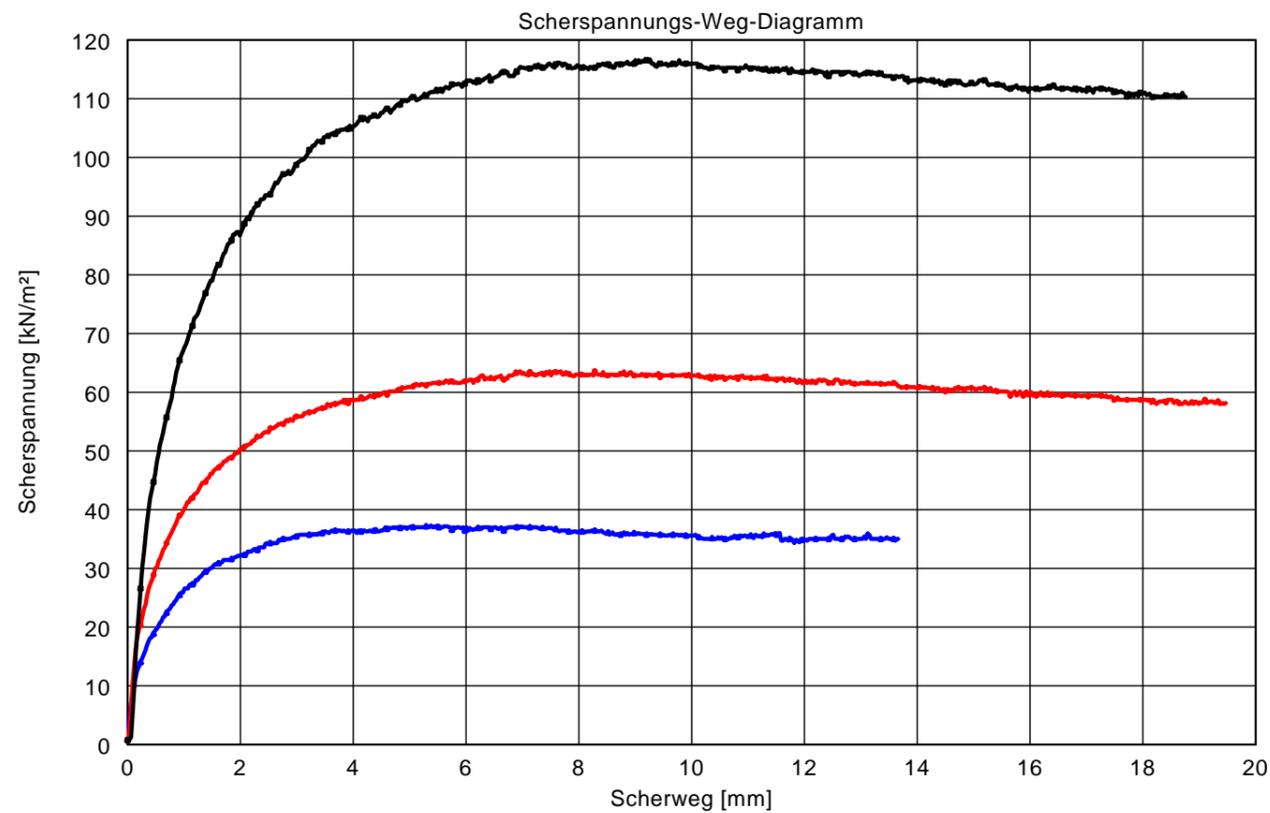
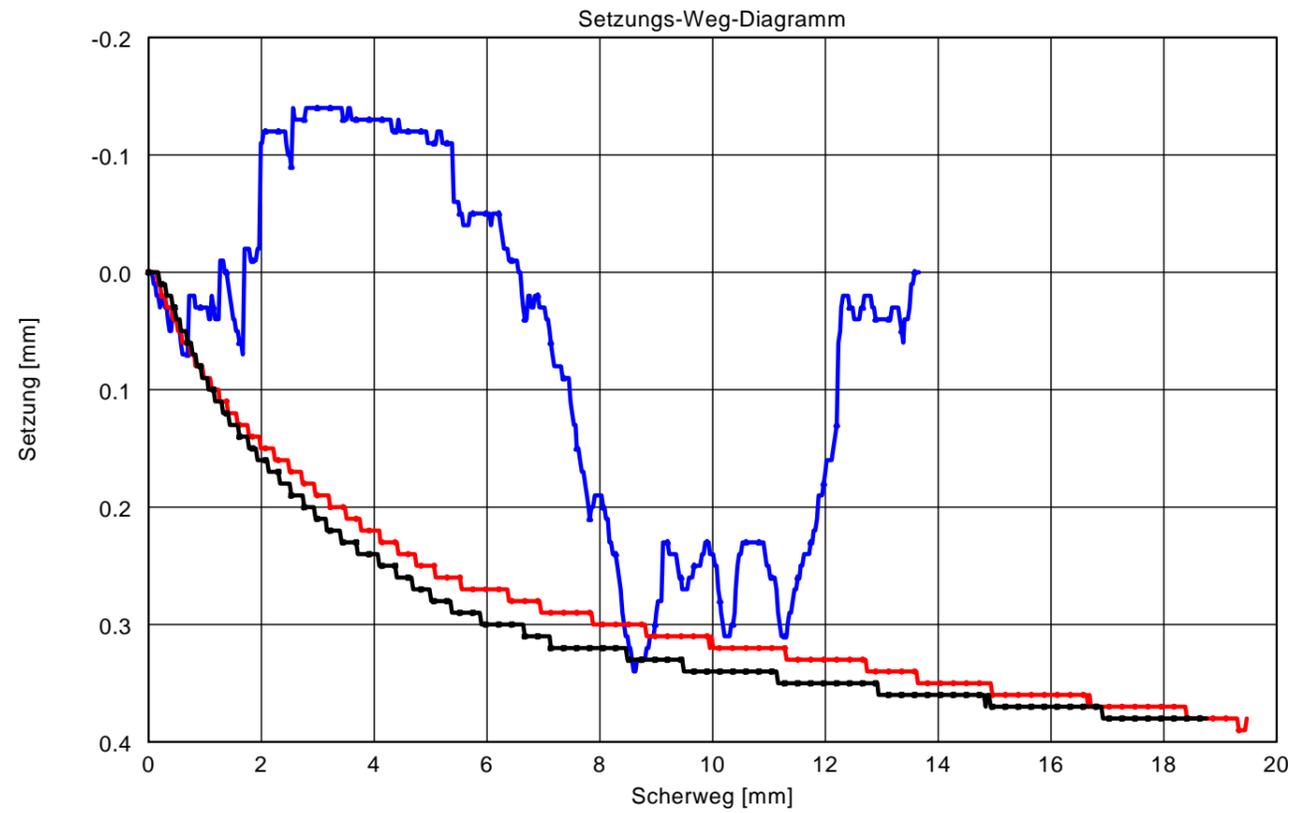
Rahmenscherversuch nach DIN 18 137-3

Bornhausen
 Hochwasserrückhaltebecken

Bearbeiter: Ol/Kö

Datum: 18.11.2010

Entnahmestelle: KRB 17+21+22
 Bodenart:
 Tiefe: 0,2 - 0,9 m
 Einbauwerte:
 Wassergehalt [%]: 27,0
 Feuchtdichte [g/cm³]: 2,03



Versuch-Nr.	1 ▲	2 ●	3 ✕
Normalspannung [kN/m²]	50.0	100.0	200.0
Scherspannung [kN/m²]	37.3	63.6	116.7
Abschergeschwindigkeit [mm/min]	0,016700	0,016700	0,016700
Probenfläche [cm²]	70,0	70,0	70,0

Reibungswinkel = 27.9 Grad
 Kohäsion = 10.7 kN/m²
 Korrelation = 1.000

Am Hafen 22
38112 Braunschweig
Tel.: 0531/312895

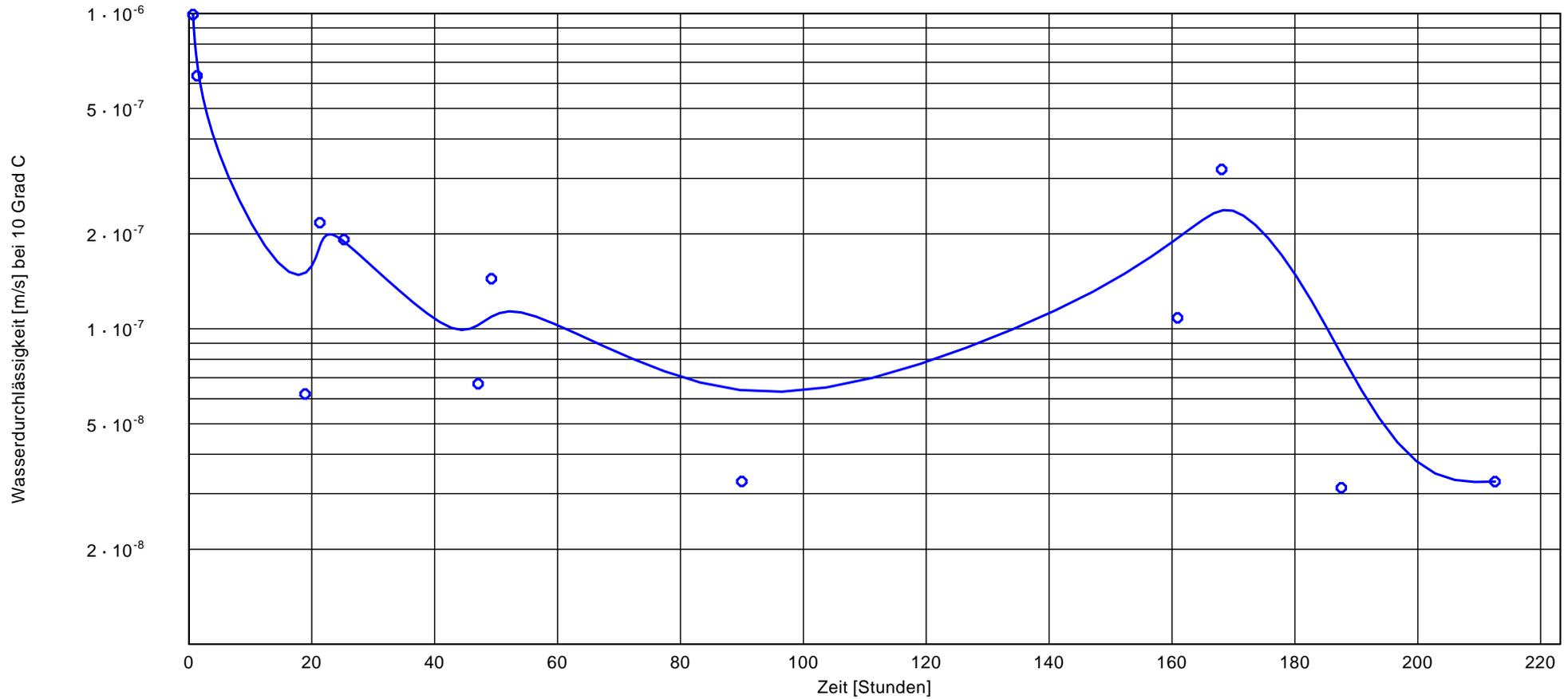


Durchlässigkeitsversuch Bornhausen Hochwasserrückhaltebecken

Probe entnommen am: 12.12.06
Art der Entnahme: gestört
Arbeitsweise: Dreiaxialtechnik
Prüfung DIN 18130 TX-DE-ST-SB-2

Bearbeiter: NW

Datum: 08.01.07



Versuch-Nr.:	—●—●—
Bodenart:	U, t, s
Tiefe:	0,3 - 0,42 m
Entnahmestelle:	Schurf bei KRB 10
Länge / Fläche:	12.00 / 72.23
Hydraul. Gefälle:	35.42
k (10°) [m/s]:	1.2 · 10 ⁻⁷

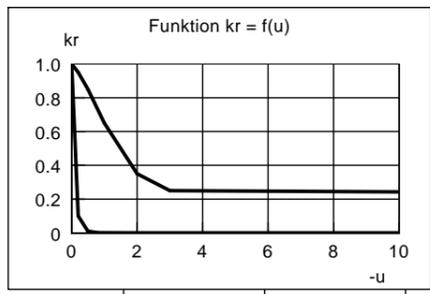
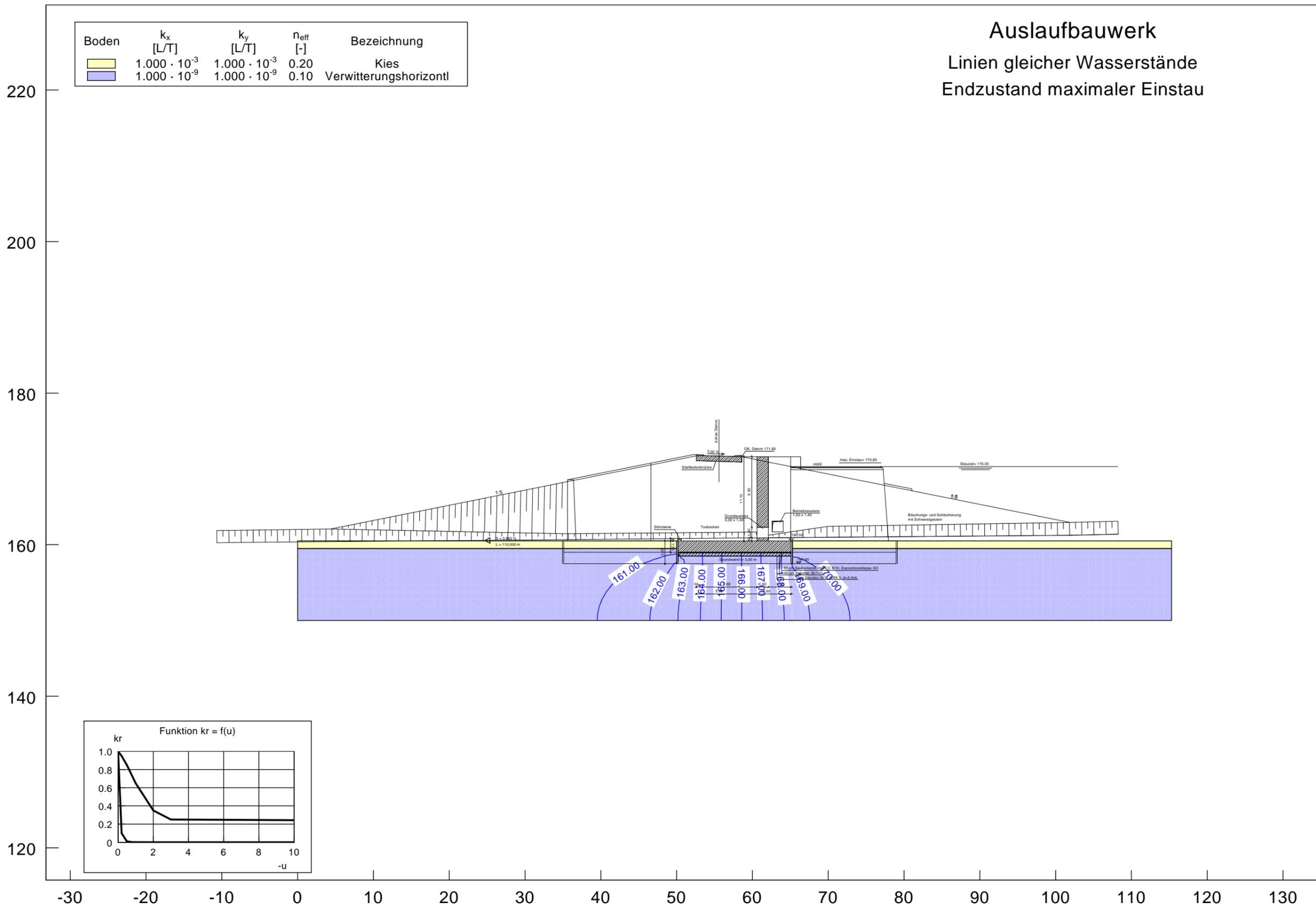
Bemerkungen
 Seitendruck: 0,7 bar
 Probenhöhe (Einbau/Ausbau): 12,0 cm/12,0 cm
 Wassergehalt (Einbau/Ausbau): 27,4 %/30,4 %
 Feuchtdichte (Einbau/Ausbau): 1,76 g/cm³/1,87 g/cm³

Bericht:
 6274 / 10
Anlage:
 3.5



Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-9}$	$1.000 \cdot 10^{-9}$	0.10	Verwitterungshorizontl

Auslaufbauwerk
 Linien gleicher Wasserstände
 Endzustand maximaler Einstau

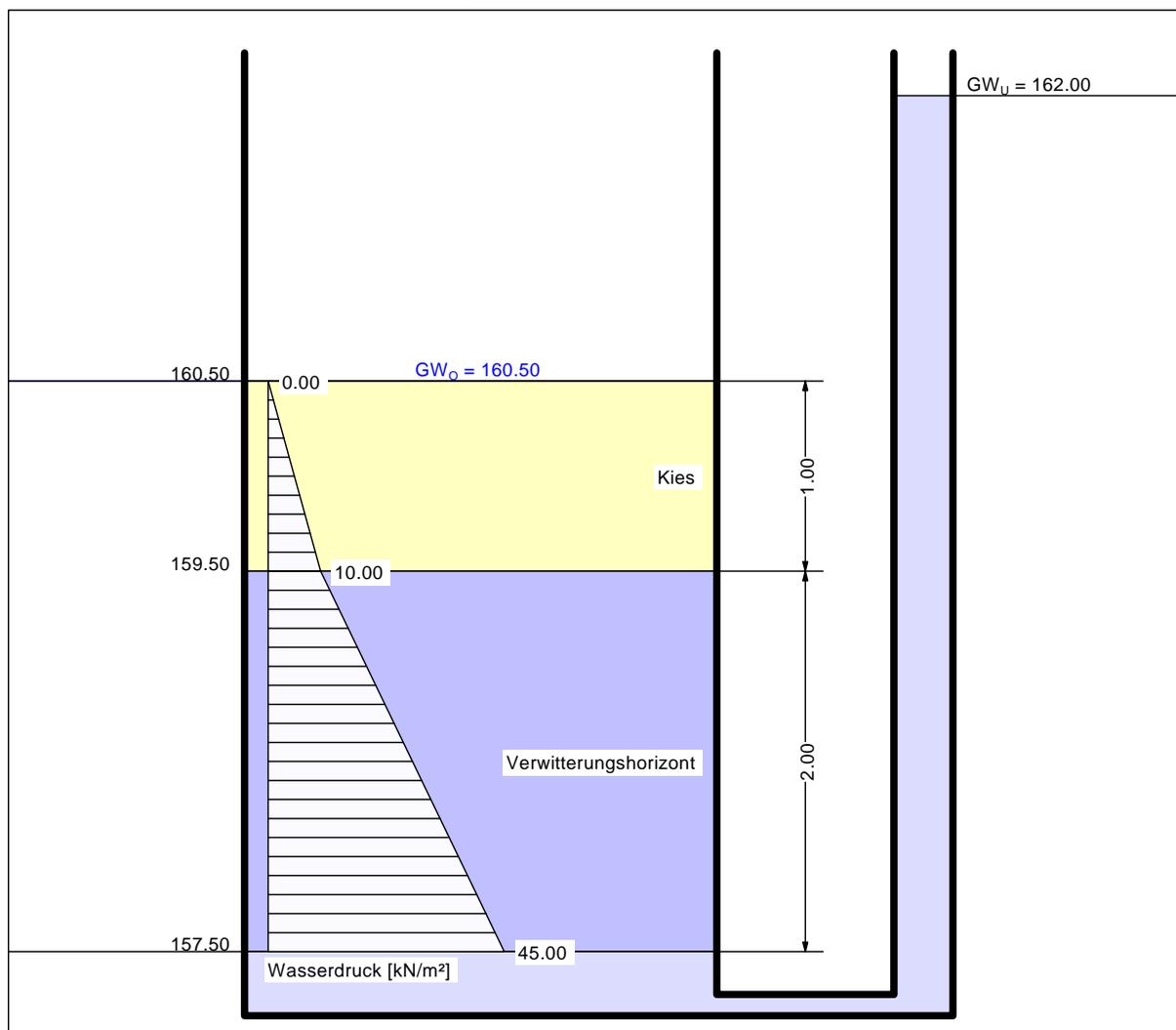


Auslaufbauwerk
Lagesicherheit
LF 1: Endzustand maximaler Einstau

Teilsicherheiten:

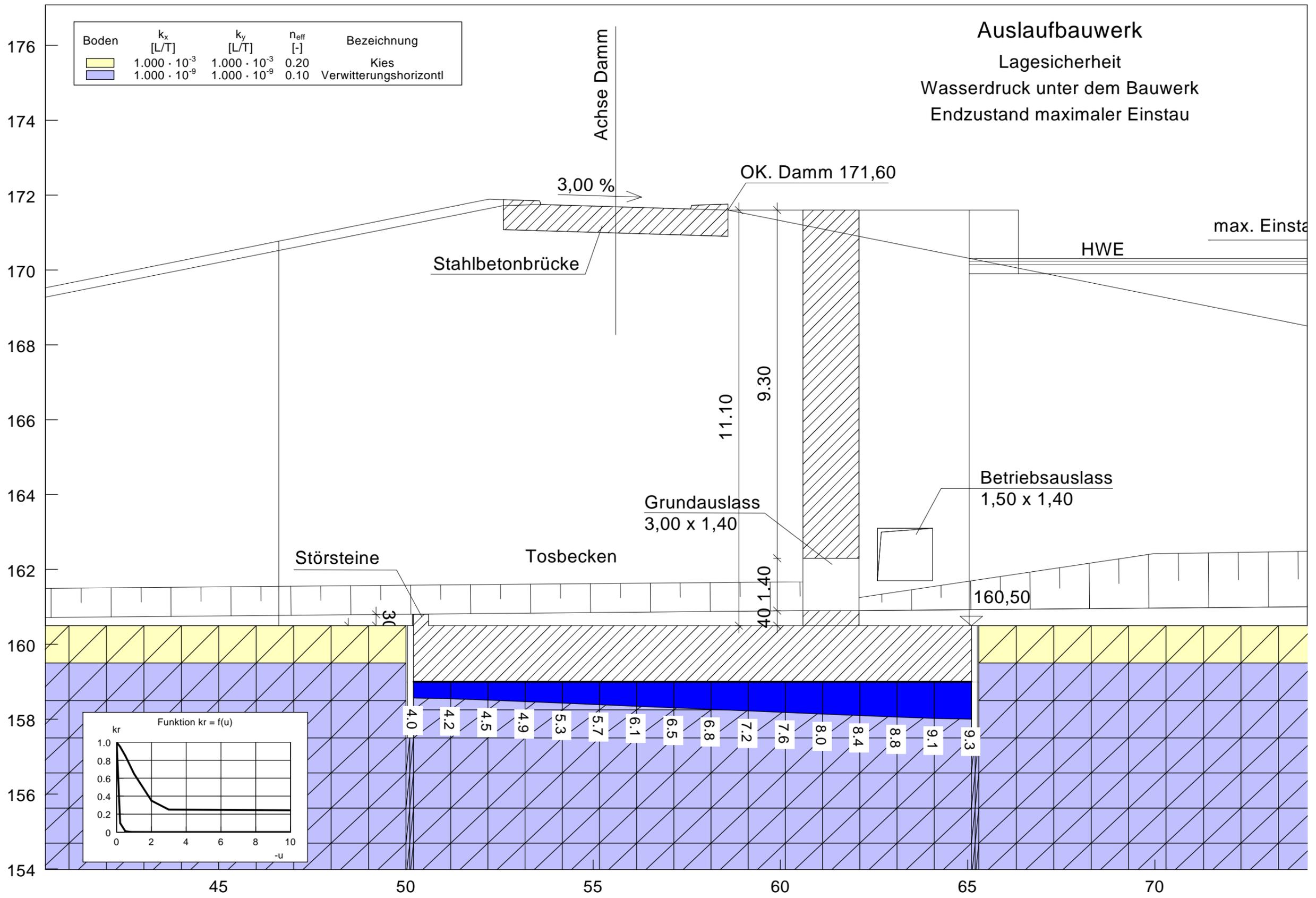
$\gamma_{G,dst} = 1.050$
 $\gamma_{G,stab} = 0.950$
 $\gamma_H = 1.350$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	k [m/s]	Bezeichnung
	19.00	11.00	$1.0 \cdot 10^{-3}$	Kies
	20.00	10.00	$1.0 \cdot 10^{-9}$	Verwitterungshorizont



Auftriebssicherheit
Ausnutzungsgrad $\mu = 0.82$
bei = 157.500 m
Gewicht = 61.000 kN/m²
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$ (Gewicht) = 0.950
PW-Druck = 45.000 kN/m²
 $\gamma_{G,dst} = \gamma$ (PW-Druck) = 1.050
 $\mu = 1.050 \cdot 45.000 / (0.950 \cdot 61.000)$

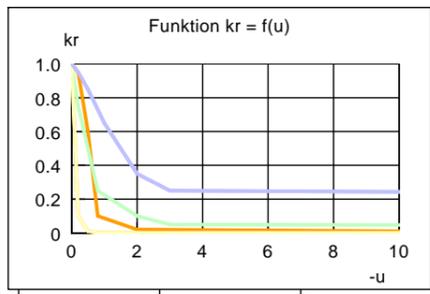
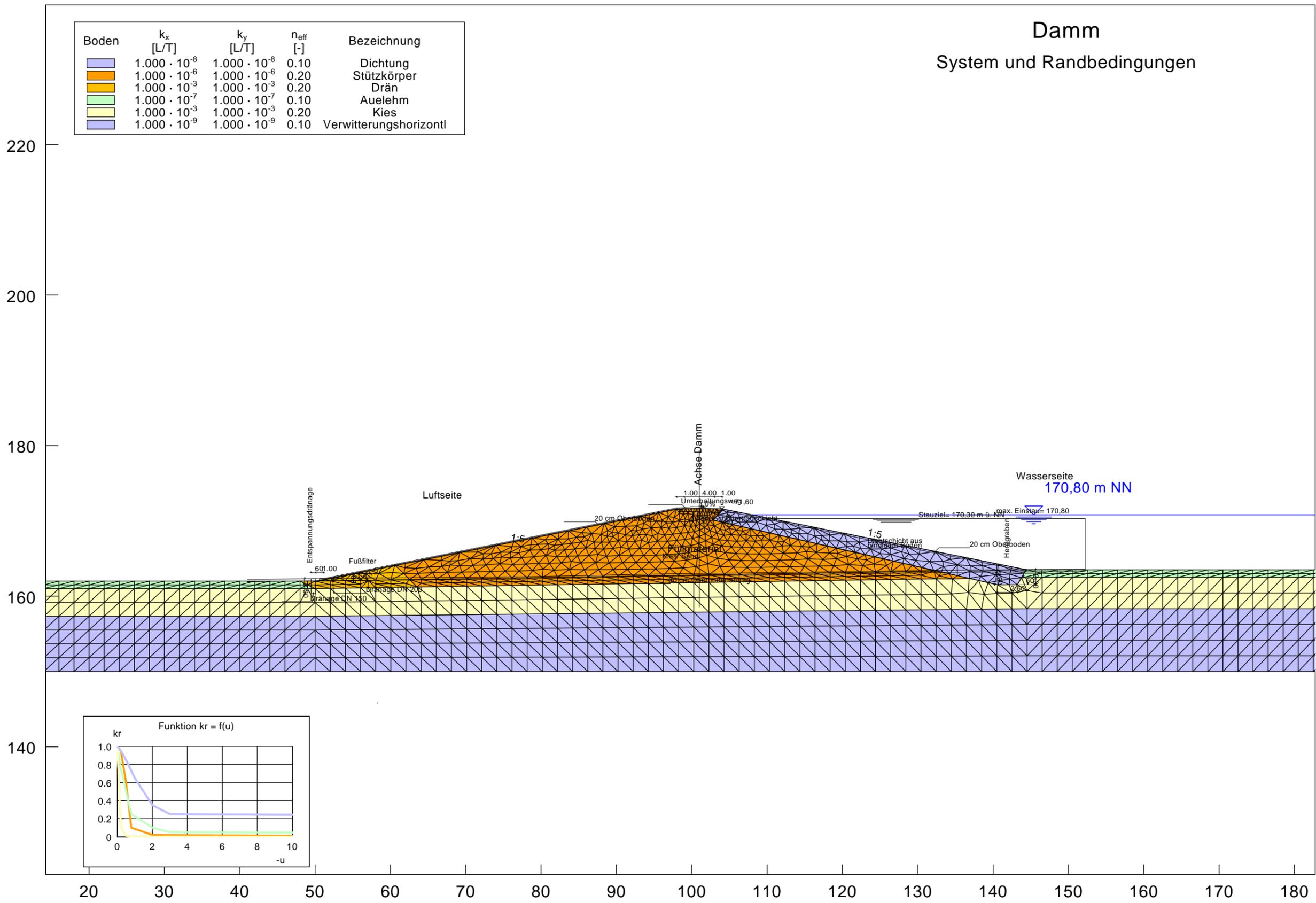
Hydraulische Grundbruchsicherheit
Ausnutzungsgrad $\mu = 0.69$
bei = 157.500 m
Gewicht = 31.000 kN/m²
 $\gamma_{G,stab} = \gamma$ (Gewicht) = 0.950
Strömungskraft = 15.000 kN/m²
 $\gamma_H = \gamma$ (Strömungskraft) = 1.350
 $\mu = 1.350 \cdot 15.000 / (0.950 \cdot 31.000)$





Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.10	Dichtung
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Stützkörper
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Drän
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.10	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-9}$	$1.000 \cdot 10^{-9}$	0.10	Verwitterungshorizontl

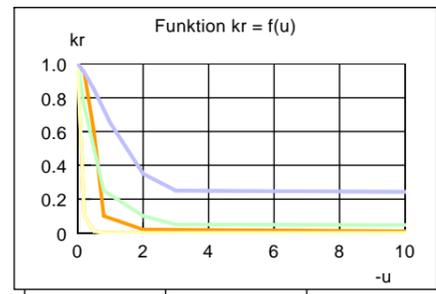
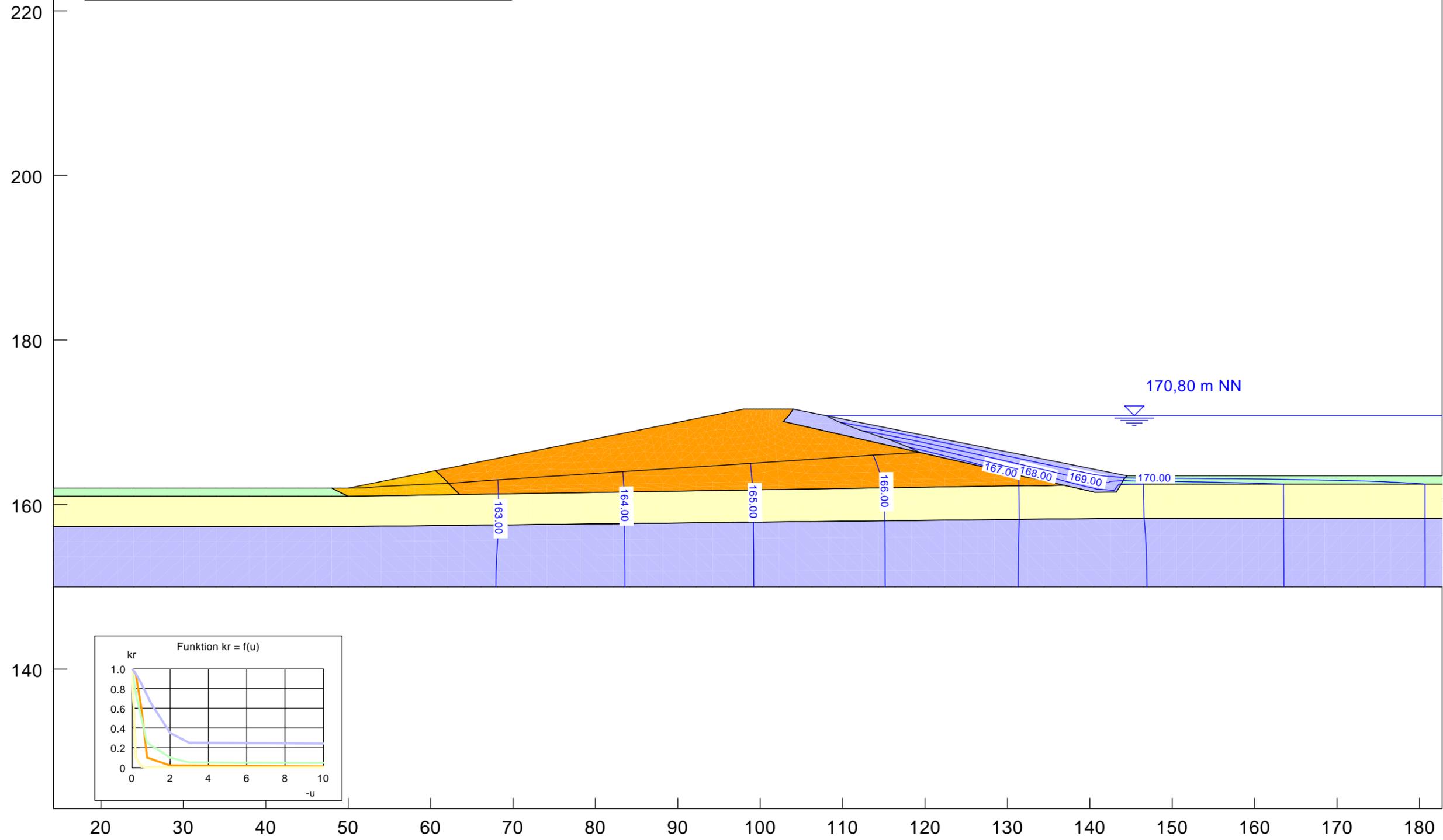
Damm
 System und Randbedingungen





Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.10	Dichtung
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Stützkörper
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Drän
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.10	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-9}$	$1.000 \cdot 10^{-9}$	0.10	Verwitterungshorizontl

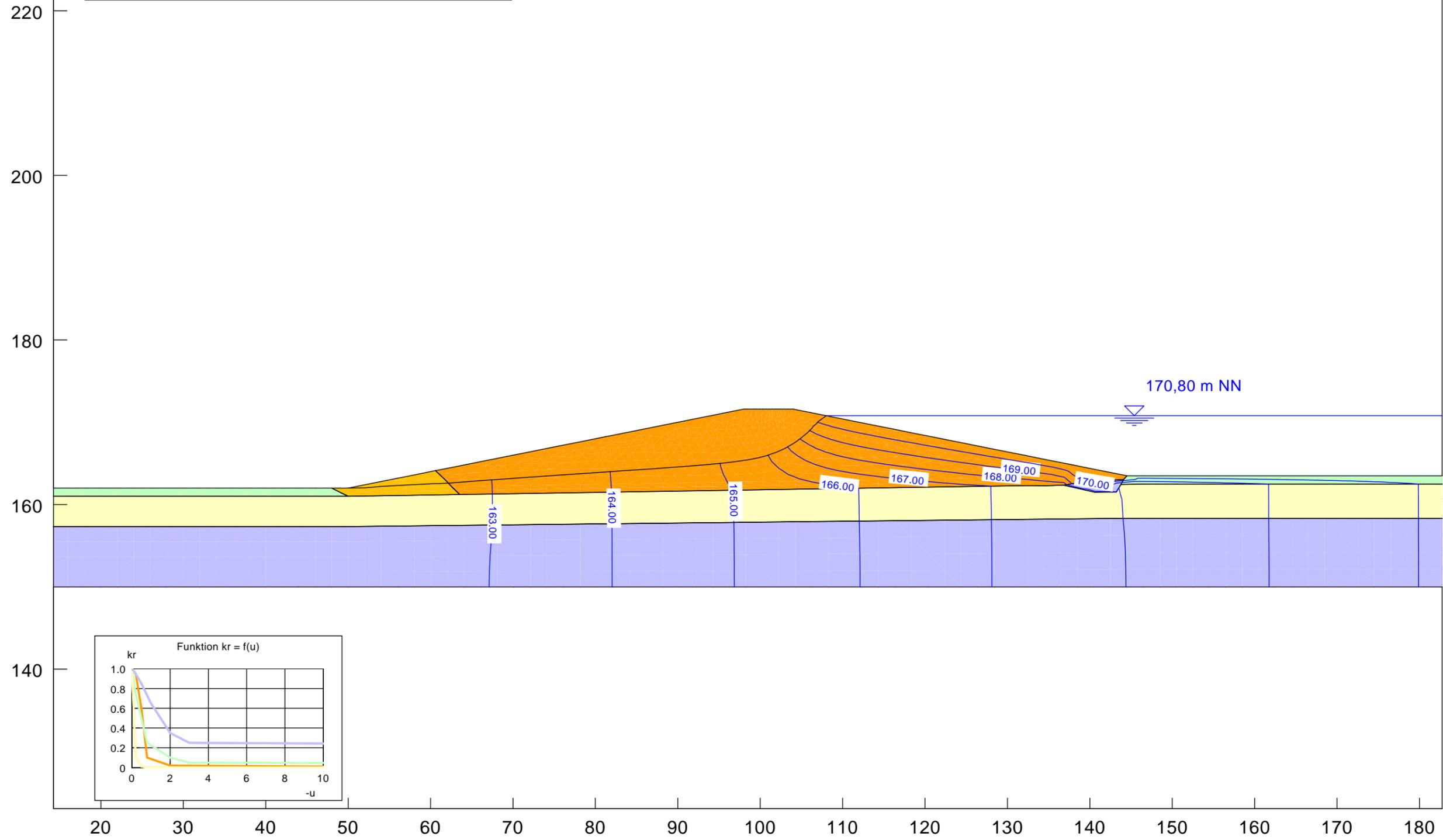
Damm
 Linien gleicher Wasserstände
 LF 1b: maximaler Einstau





Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.10	Dichtung
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Stützkörper
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Drän
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.10	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-9}$	$1.000 \cdot 10^{-9}$	0.10	Verwitterungshorizontl

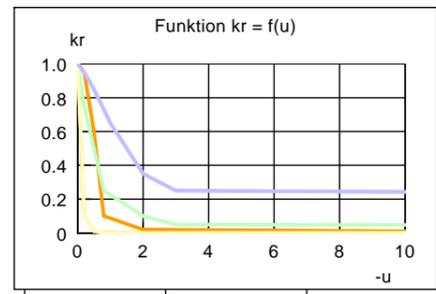
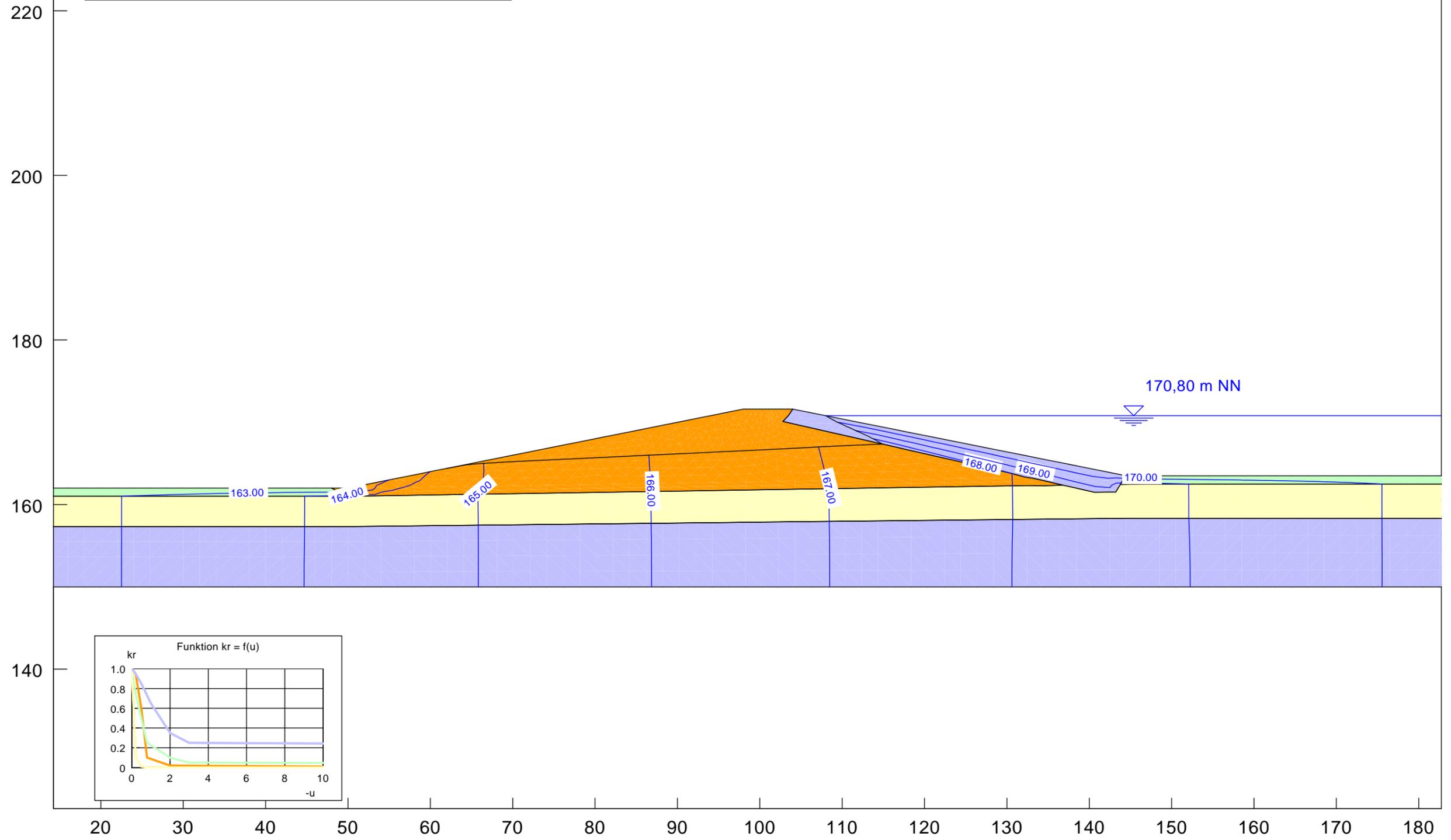
Damm
 Linien gleicher Wasserstände
 LF 2a: Dichtung defekt





Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
[Blue]	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.10	Dichtung
[Orange]	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Stützkörper
[Yellow-Orange]	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Drän
[Green]	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.10	Auelehm
[Yellow]	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
[Light Blue]	$1.000 \cdot 10^{-9}$	$1.000 \cdot 10^{-9}$	0.10	Verwitterungshorizontl

Damm
 Linien gleicher Wasserstände
 LF 2b: Ausfall Dränage

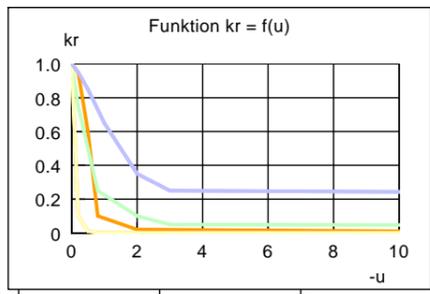
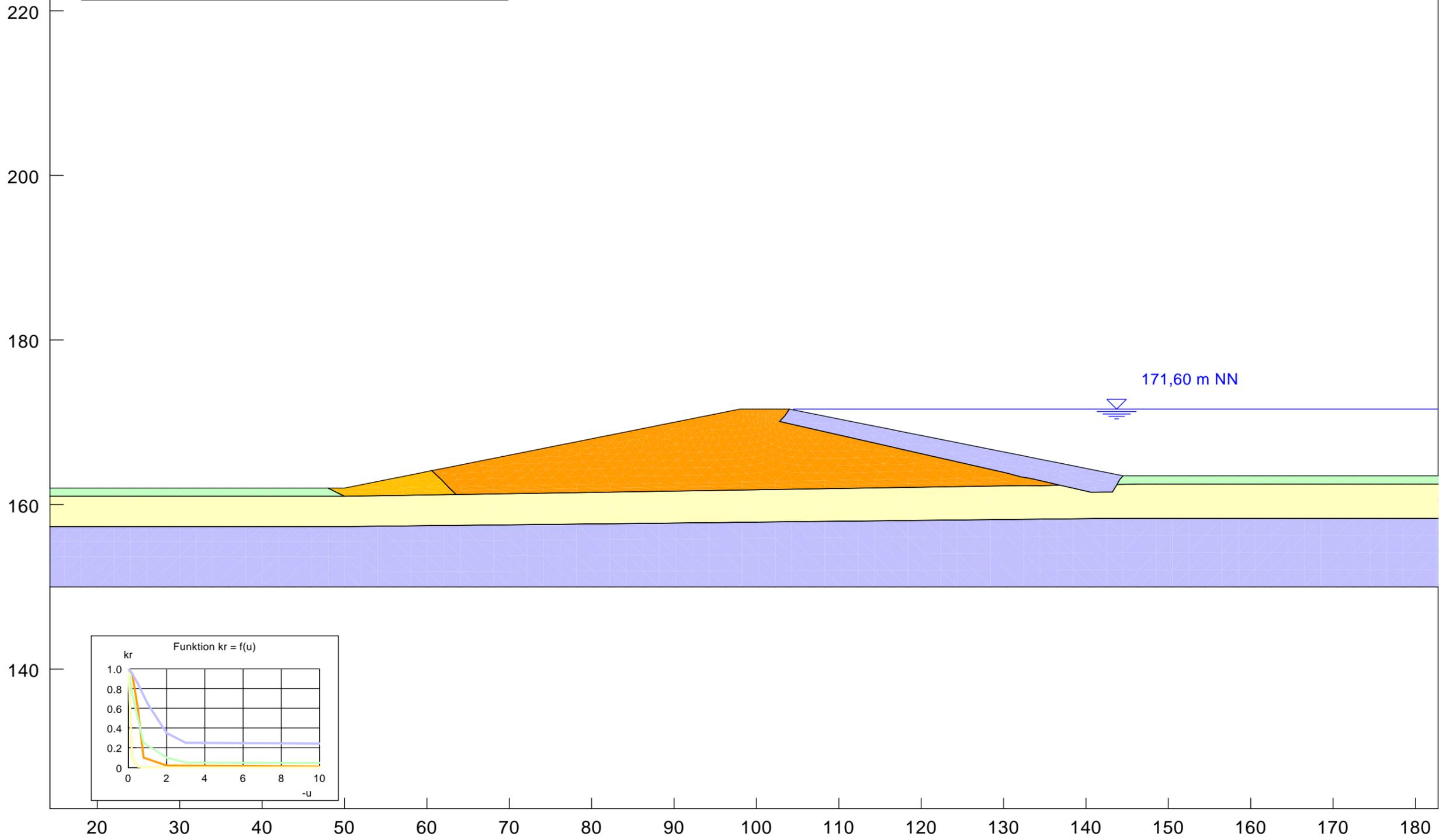


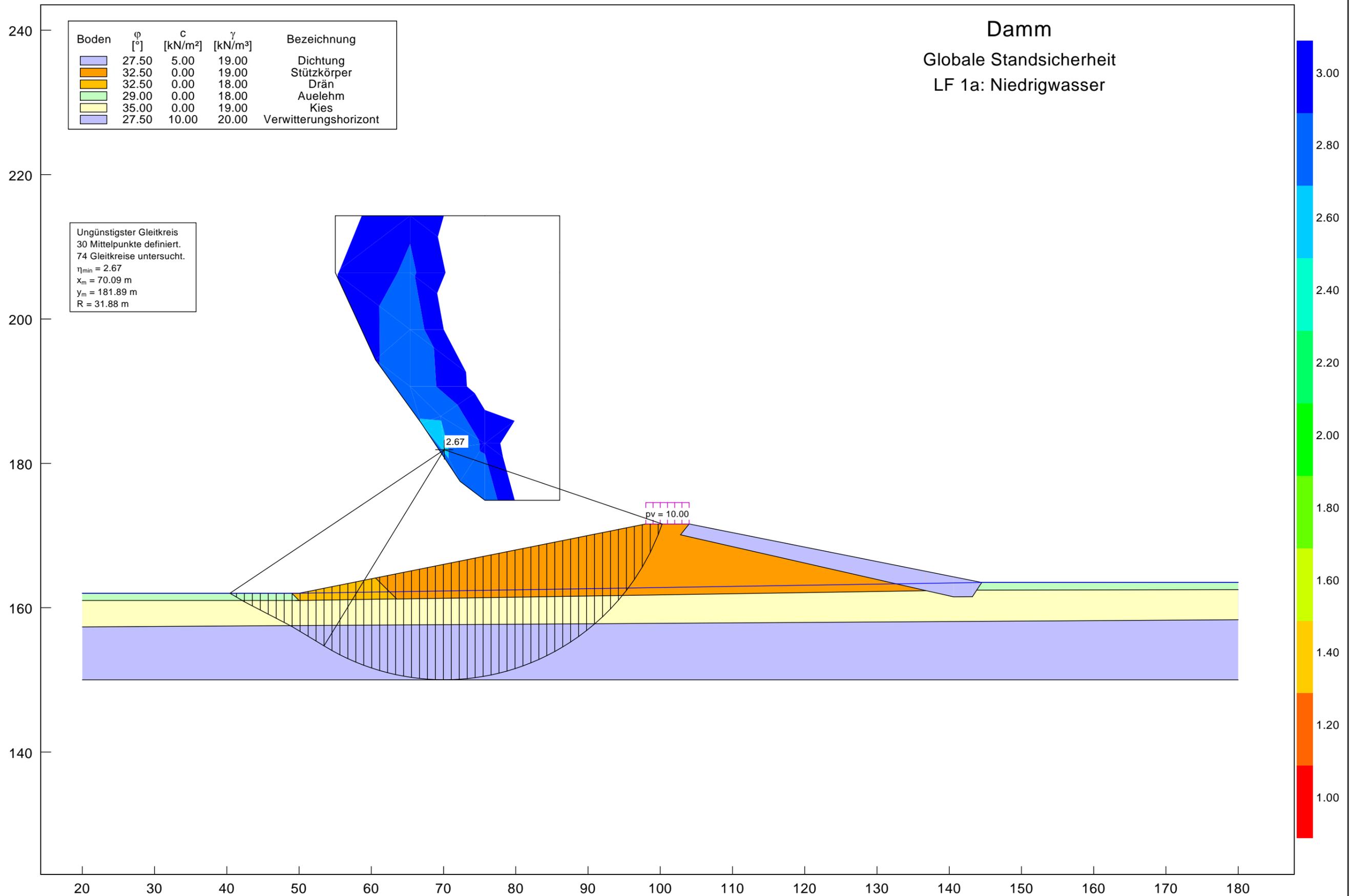


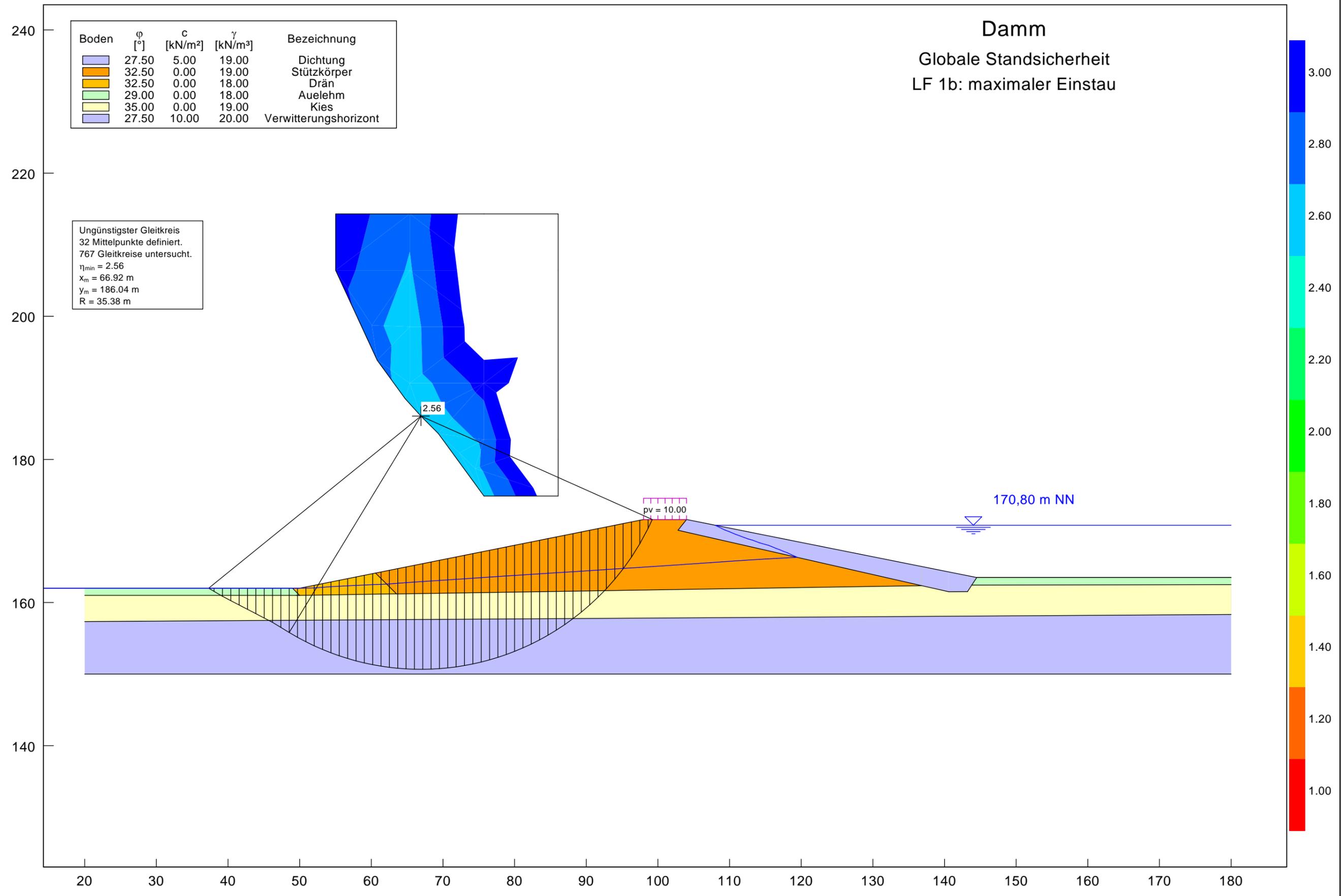
Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.10	Dichtung
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Stützkörper
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Drän
	$1.000 \cdot 10^{-7}$	$1.000 \cdot 10^{-7}$	0.10	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-9}$	$1.000 \cdot 10^{-9}$	0.10	Verwitterungshorizontl

Damm

Linien gleicher Wasserstände
 LF 2c: Kronenstau



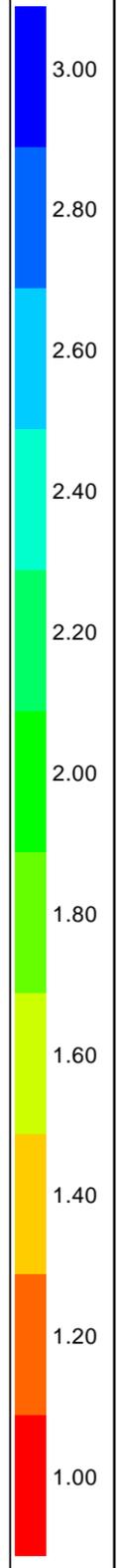




Boden	φ [°]	c [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	Bezeichnung
[Blue]	27.50	5.00	19.00	Dichtung
[Orange]	32.50	0.00	19.00	Stützkörper
[Yellow-Orange]	32.50	0.00	18.00	Drän
[Light Green]	29.00	0.00	18.00	Auelehm
[Yellow]	35.00	0.00	19.00	Kies
[Light Blue]	27.50	10.00	20.00	Verwitterungshorizont

Ungünstigster Gleitkreis
 32 Mittelpunkte definiert.
 767 Gleitkreise untersucht.
 $\eta_{\min} = 2.56$
 $x_m = 66.92$ m
 $y_m = 186.04$ m
 $R = 35.38$ m

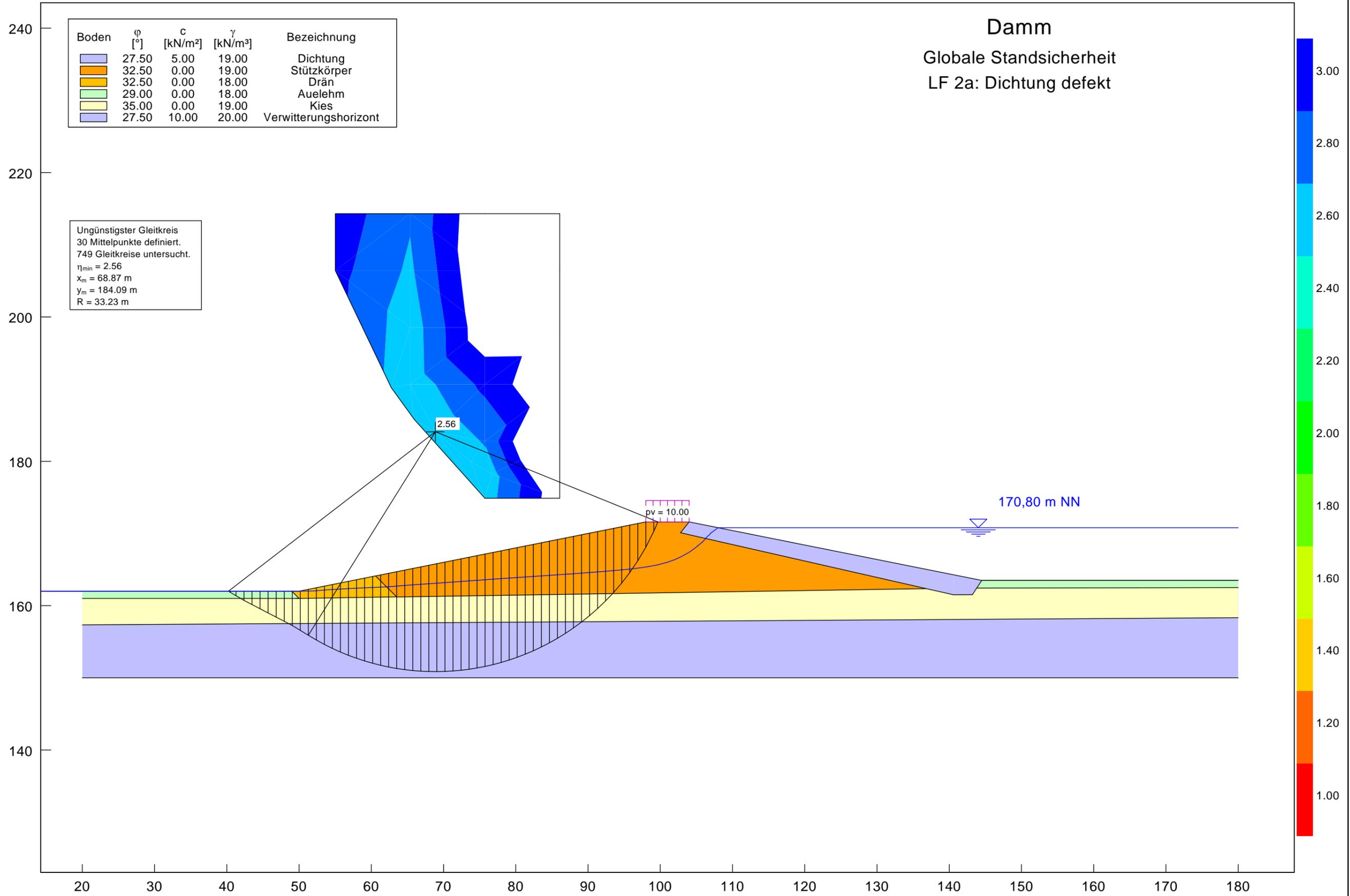
Damm
 Globale Standsicherheit
 LF 1b: maximaler Einstau

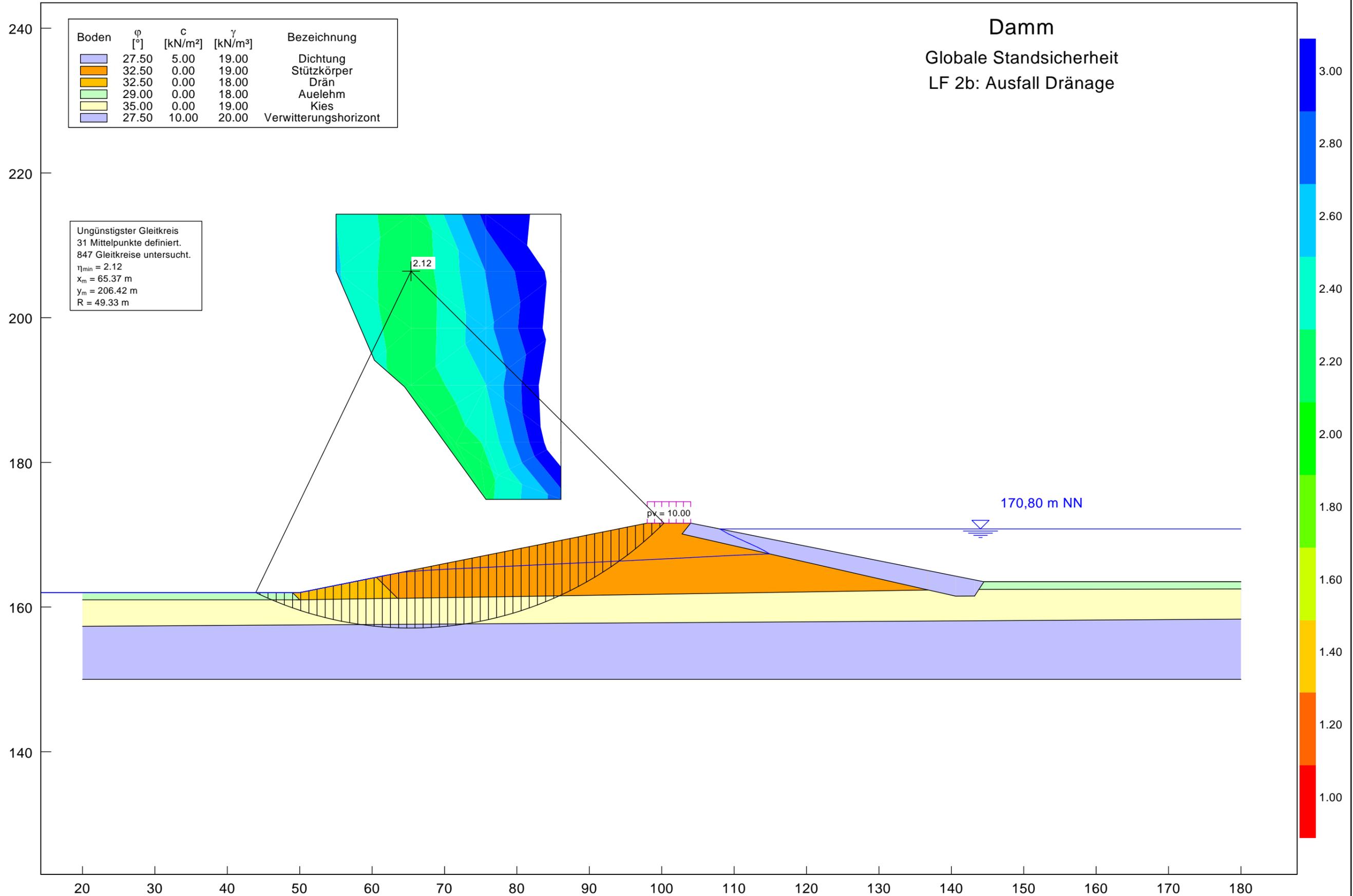


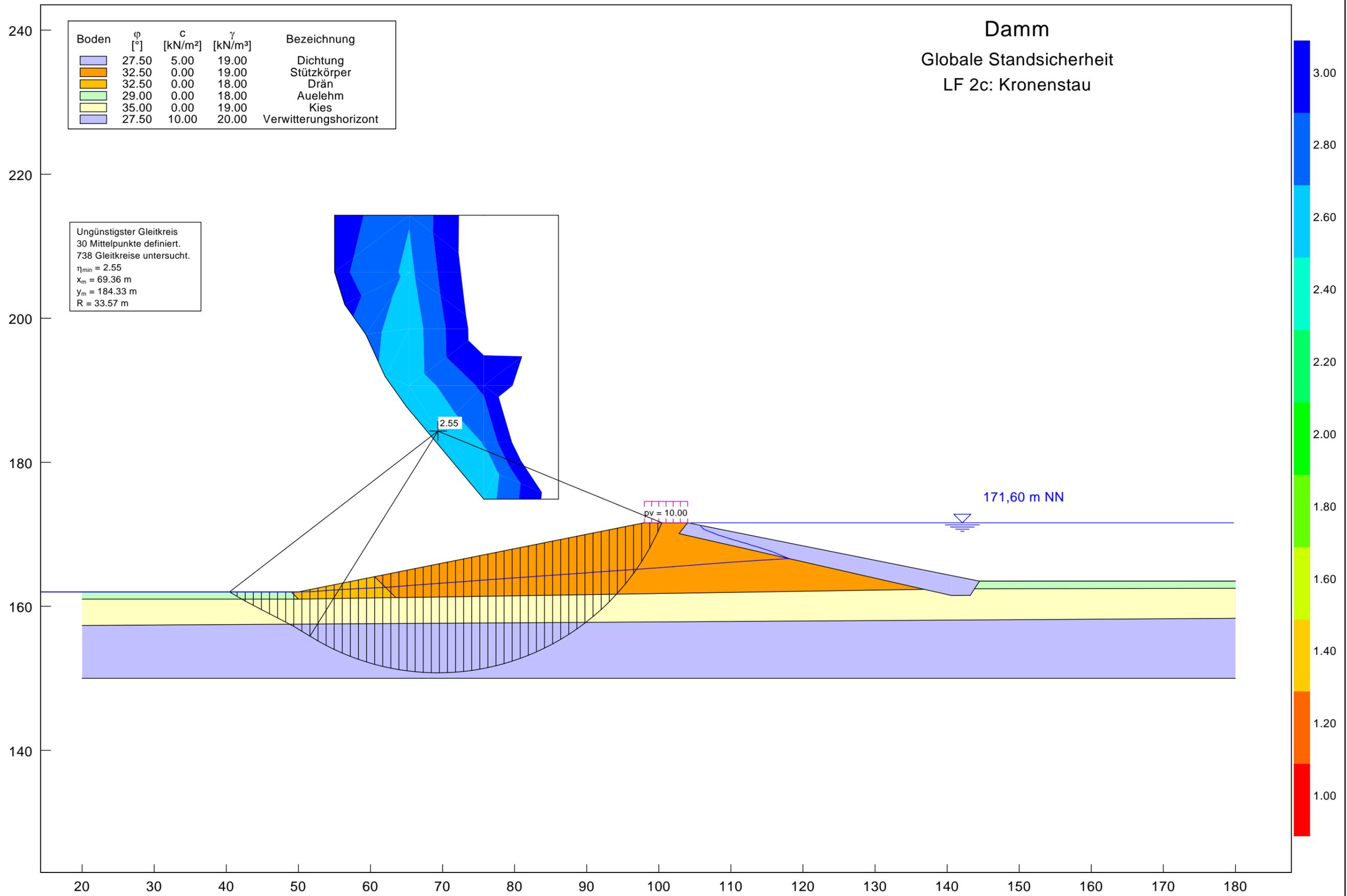
170,80 m NN

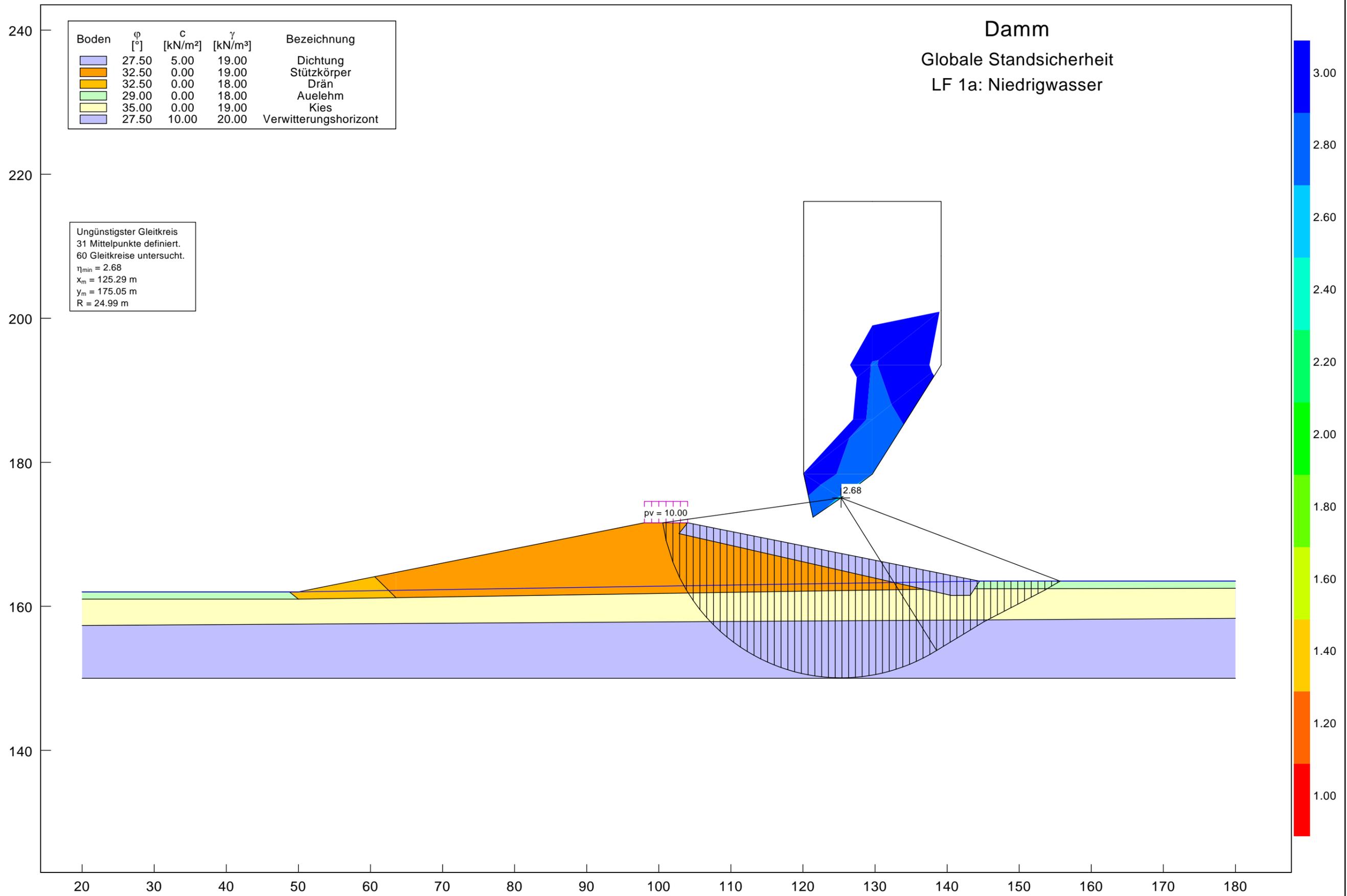
pv = 10.00

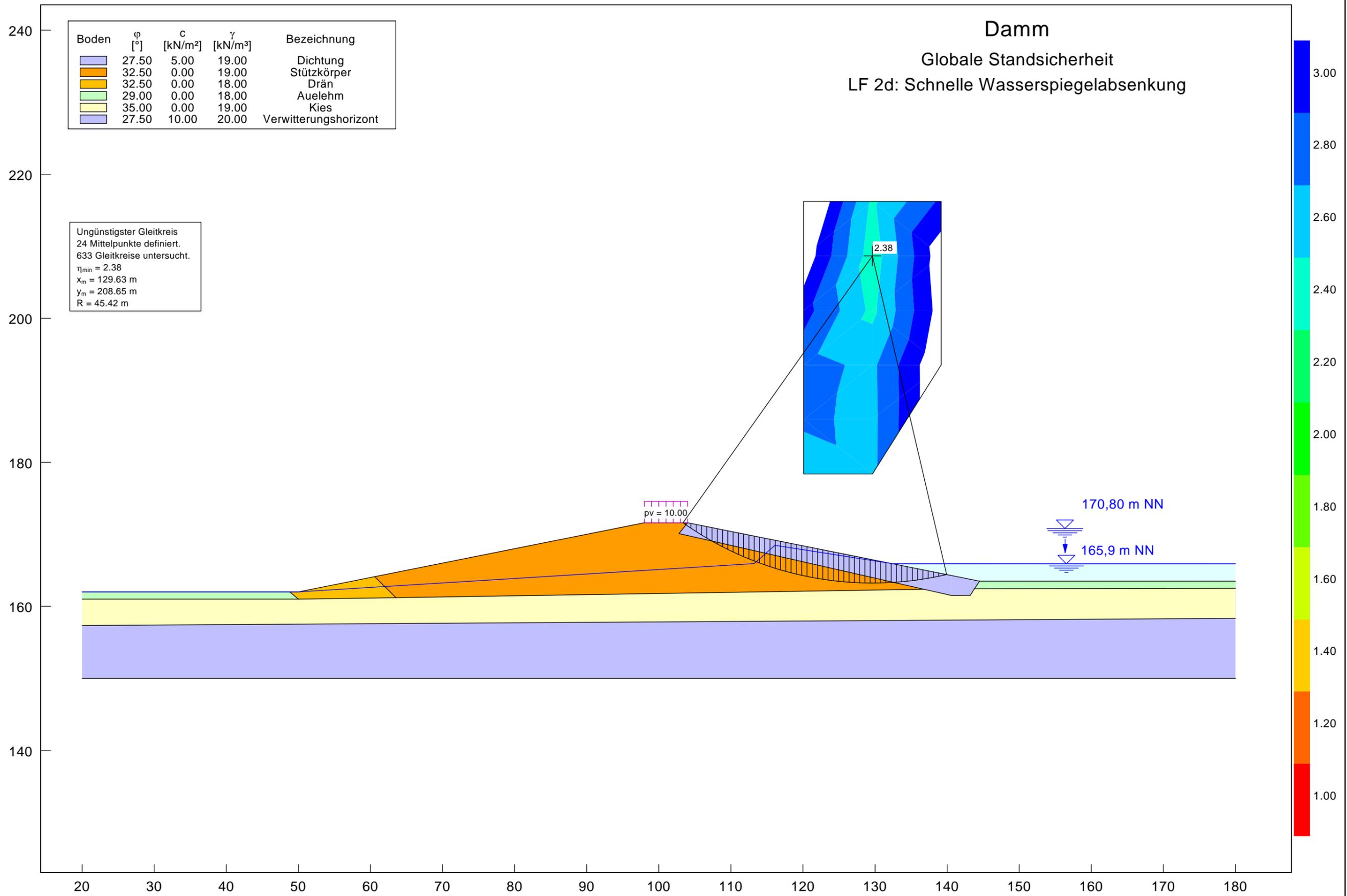
2.56







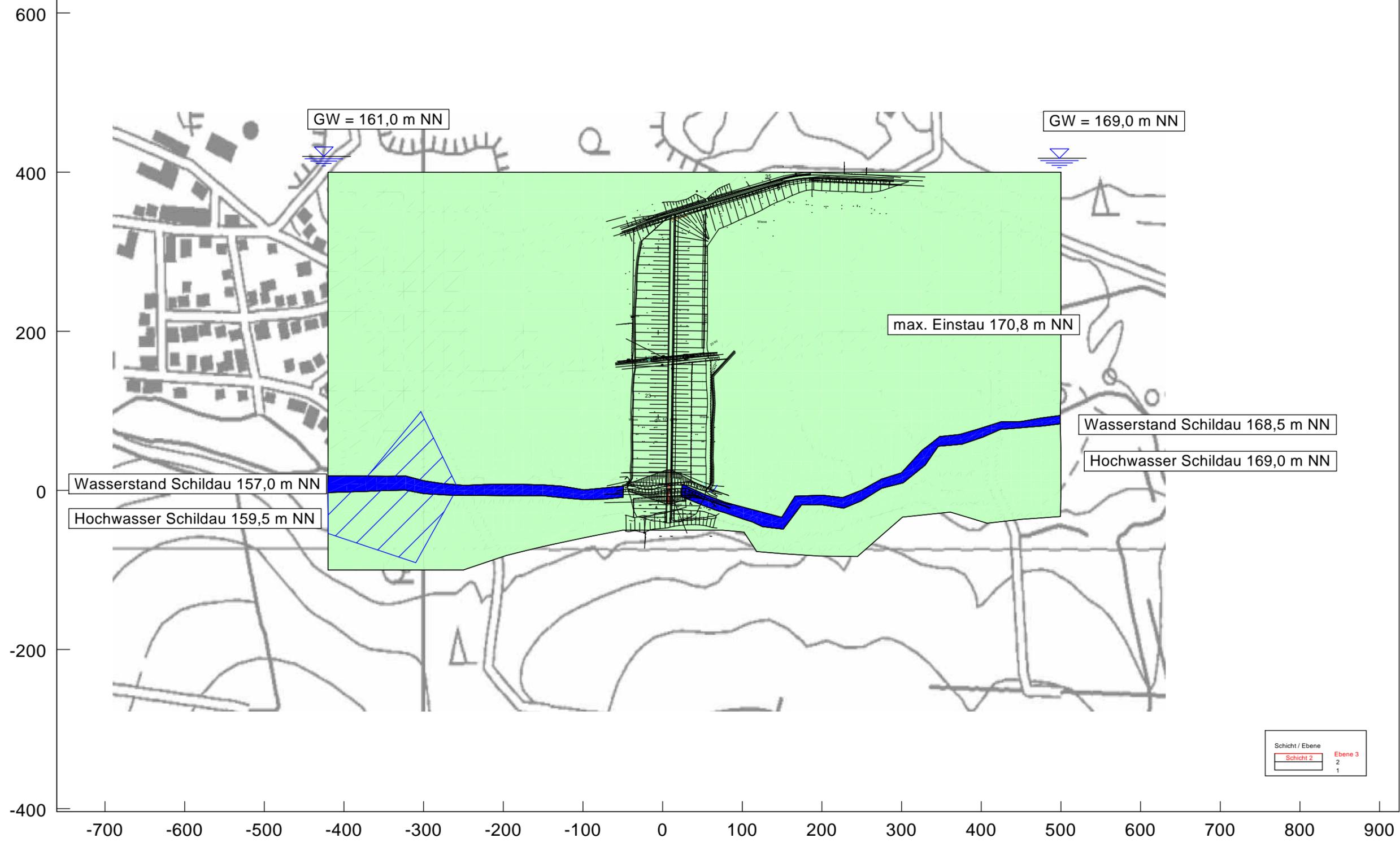






Grundwasser
 System und Randbedingungen
 Draufsicht

Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
■	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
■	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
■	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle



Schicht / Ebene	Schicht 2	Ebene 3
	2	1

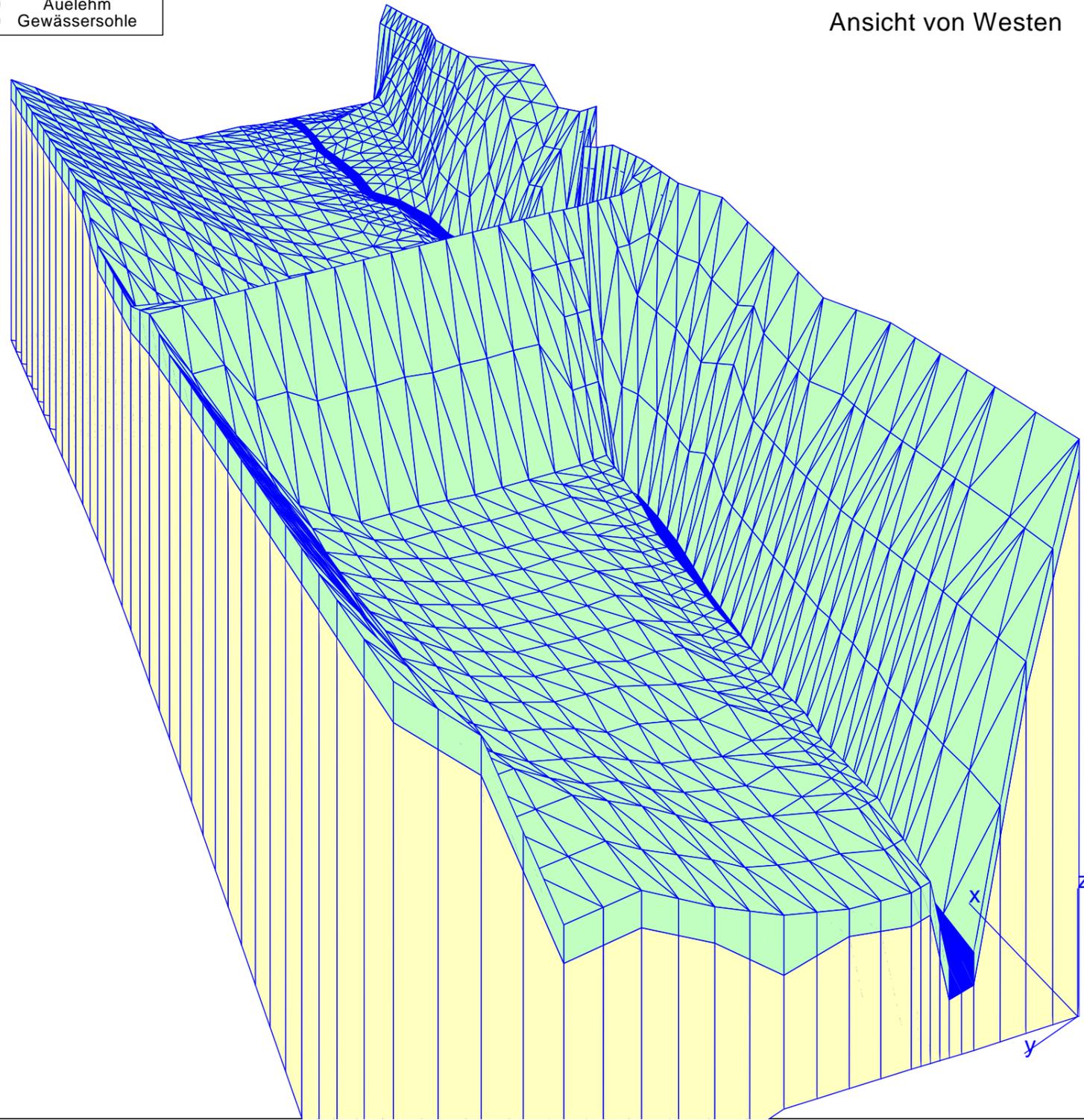


Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle

Grundwasser
 System und Randbedingungen
 Ansicht von Westen

Nord

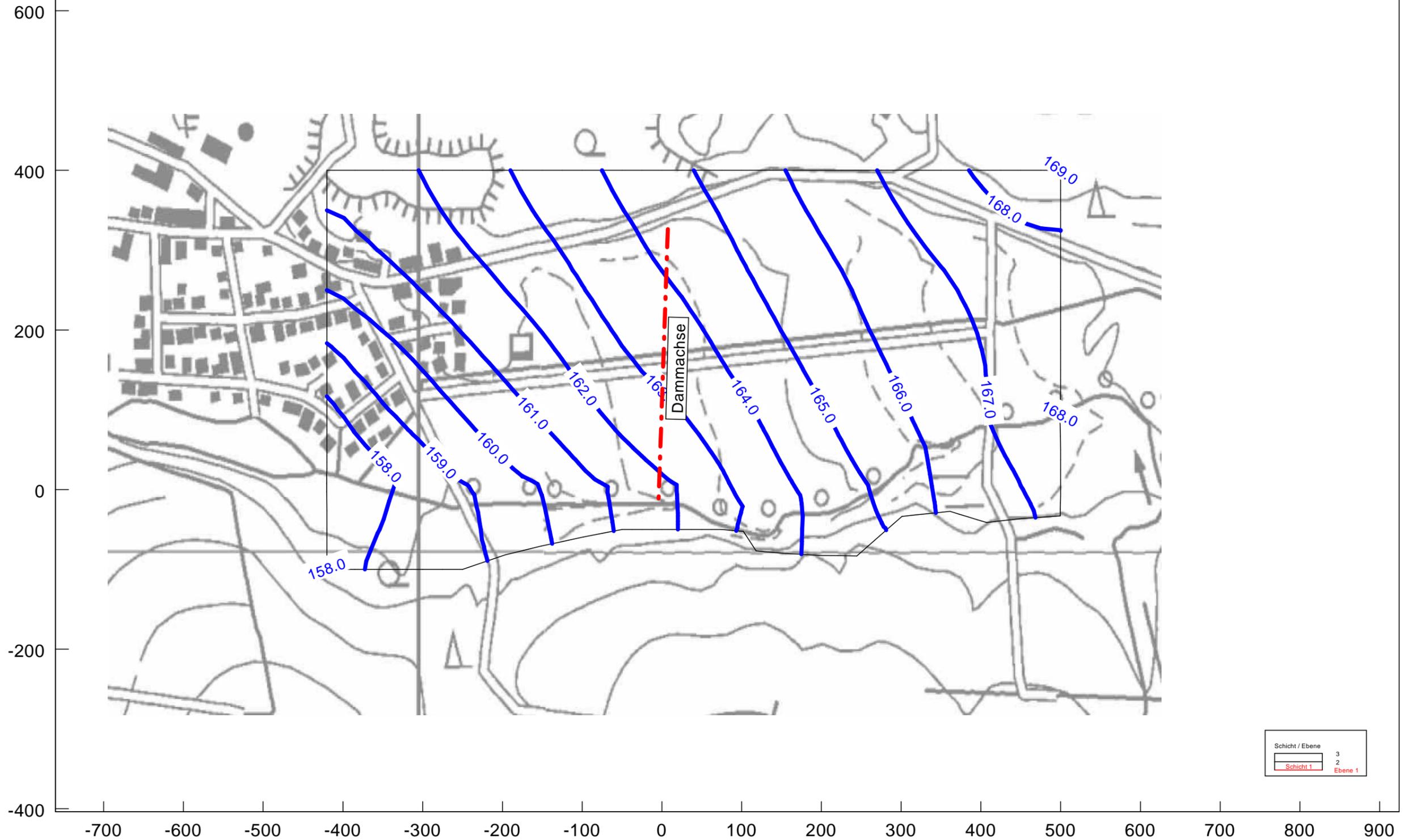
Süd





Grundwasser
 Ist-Zustand - Normaler Abfluss
 Linien gleicher Grundwasserstände

Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle

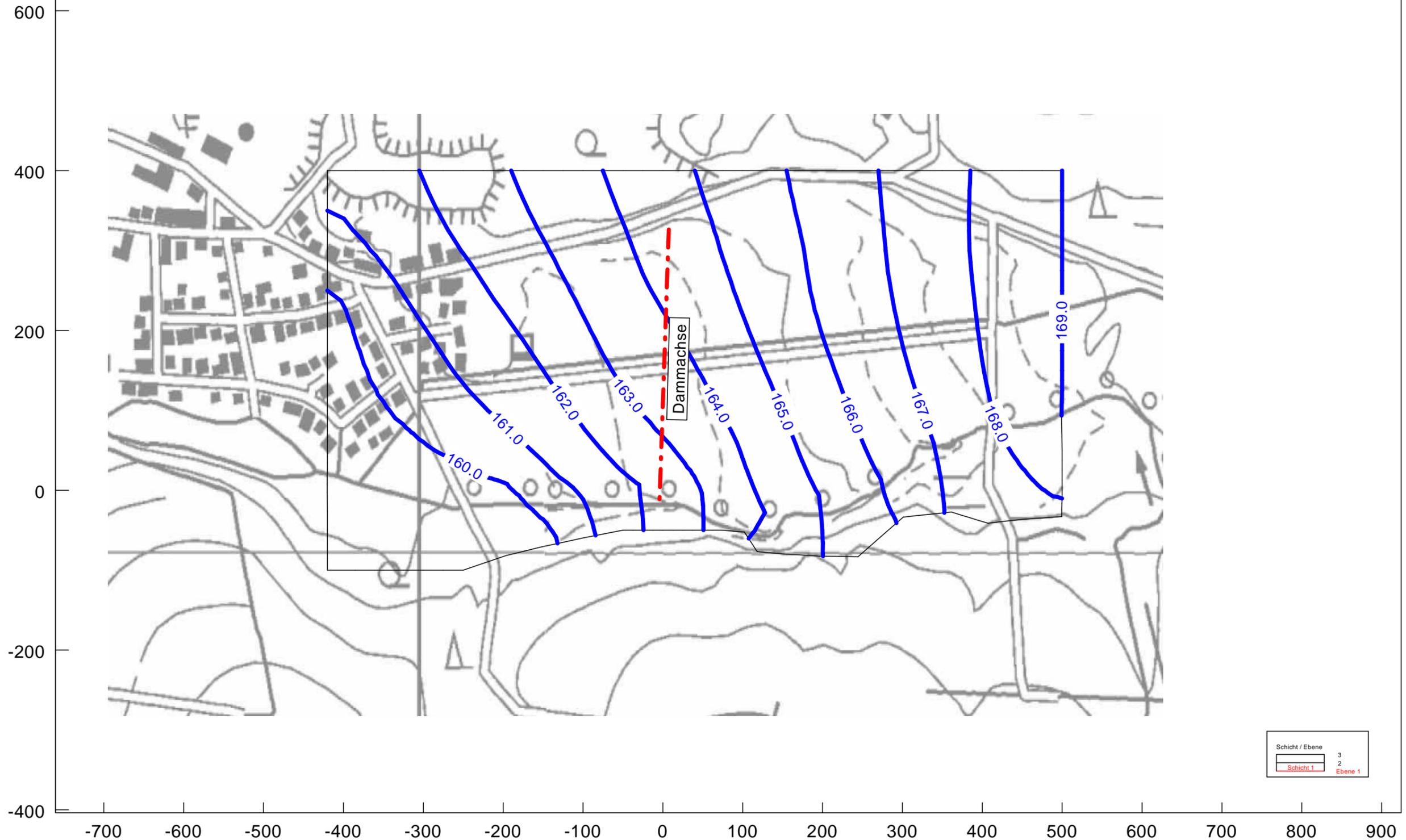


Schicht / Ebene	
	3
	2
	Schicht 1
	Ebene 1

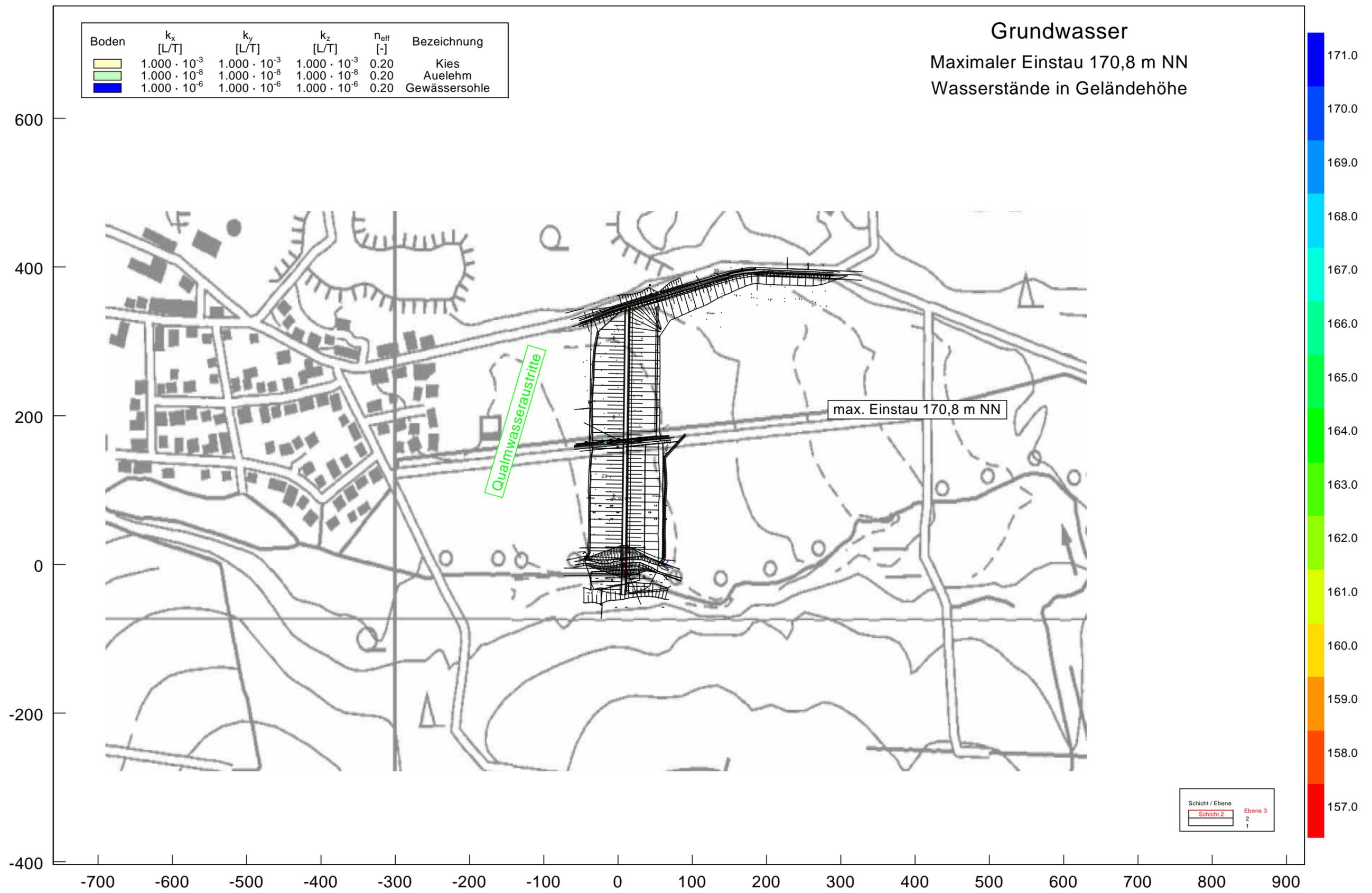


Grundwasser
 Ist-Zustand - Hochwasser
 Linien gleicher Grundwasserstände

Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle



Schicht / Ebene	3
	3
	2
	Schicht 1
	Ebene 1

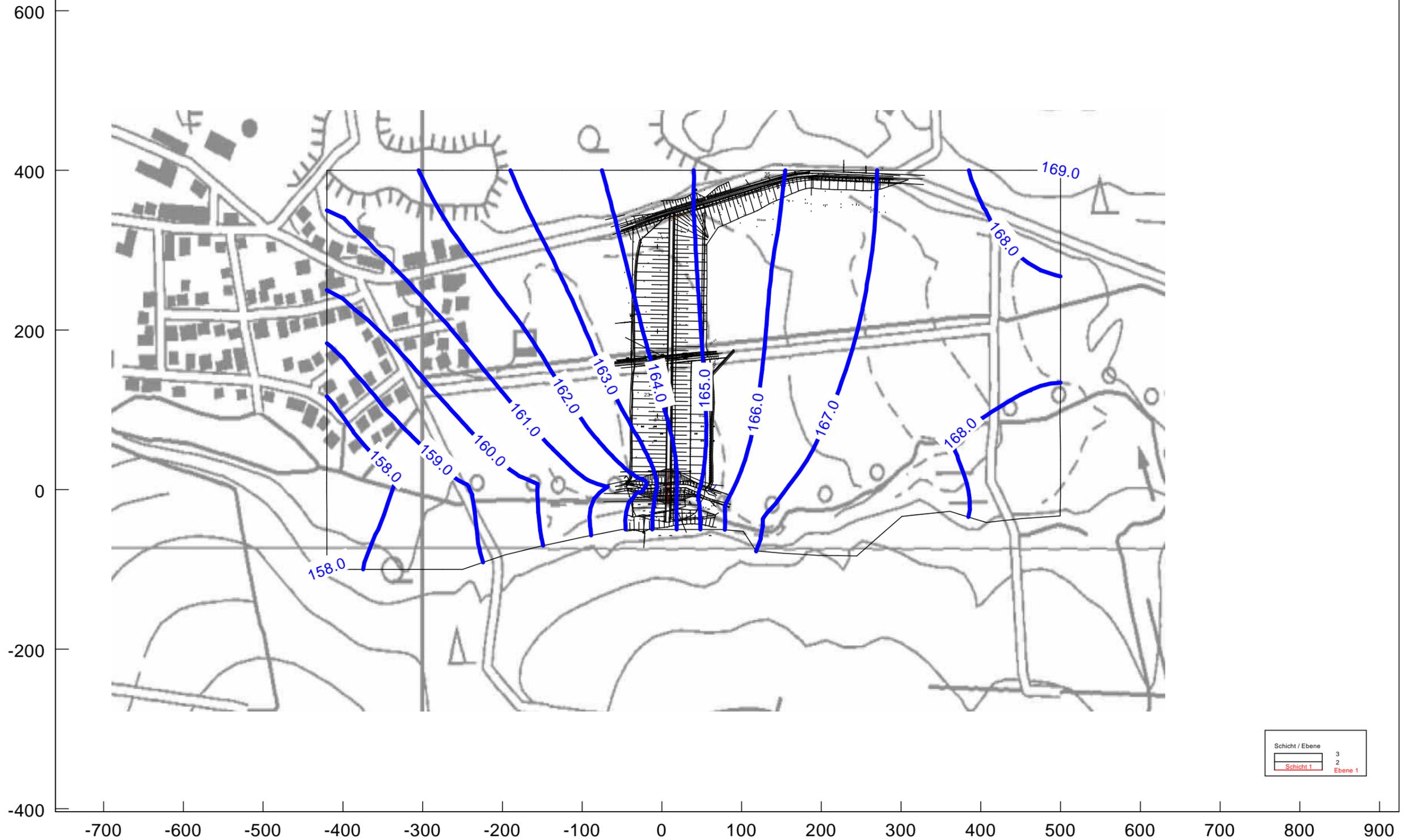




Grundwasser

Maximaler Einstau 170,8 m NN
 Linien gleicher Grundwasserstände

Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle

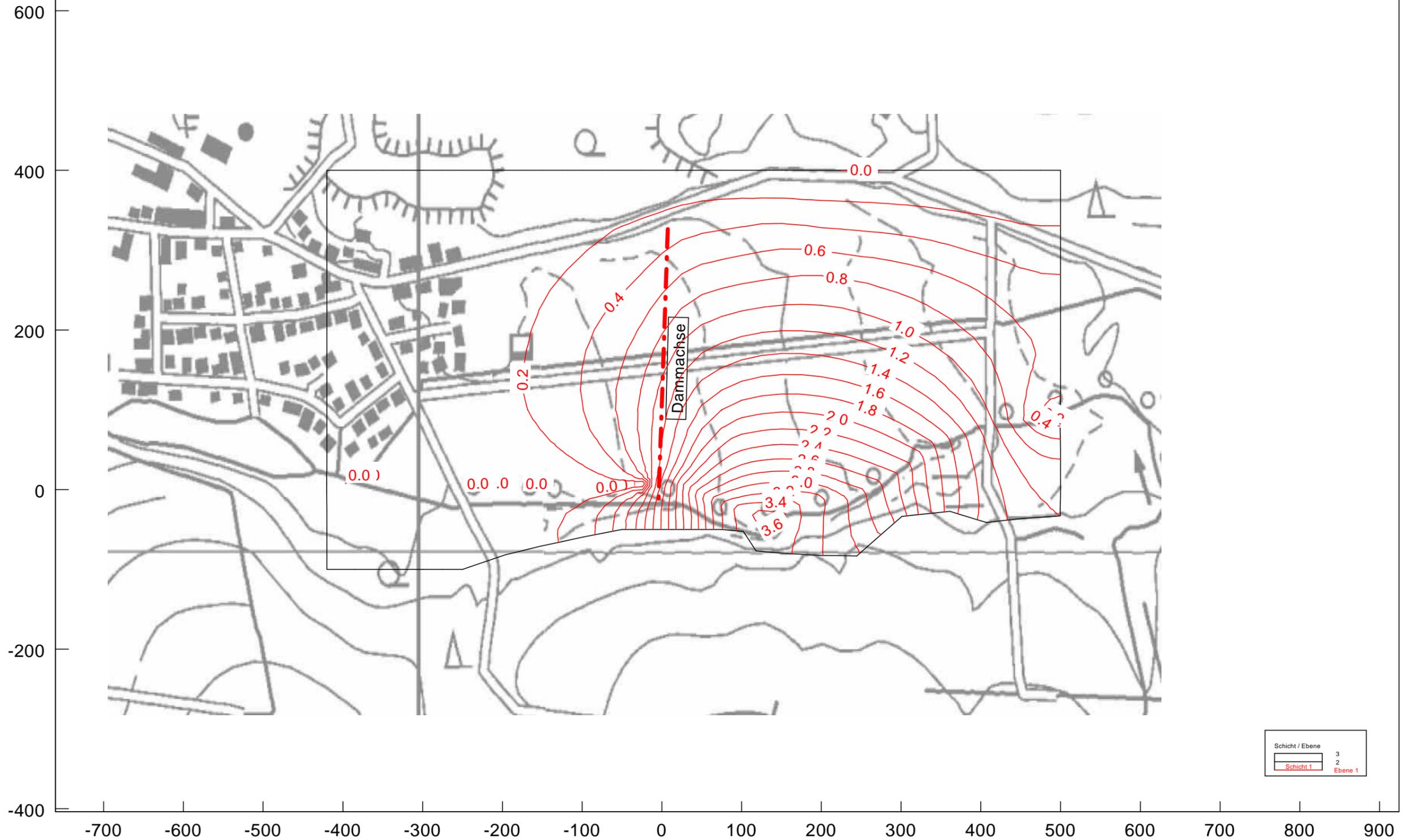


Schicht / Ebene	
	3
	2
	Schicht 1
	Ebene 1



Grundwasser
 Veränderung der Grundwasserstände
 gegenüber Ist-Zustand Normaler Abfluss

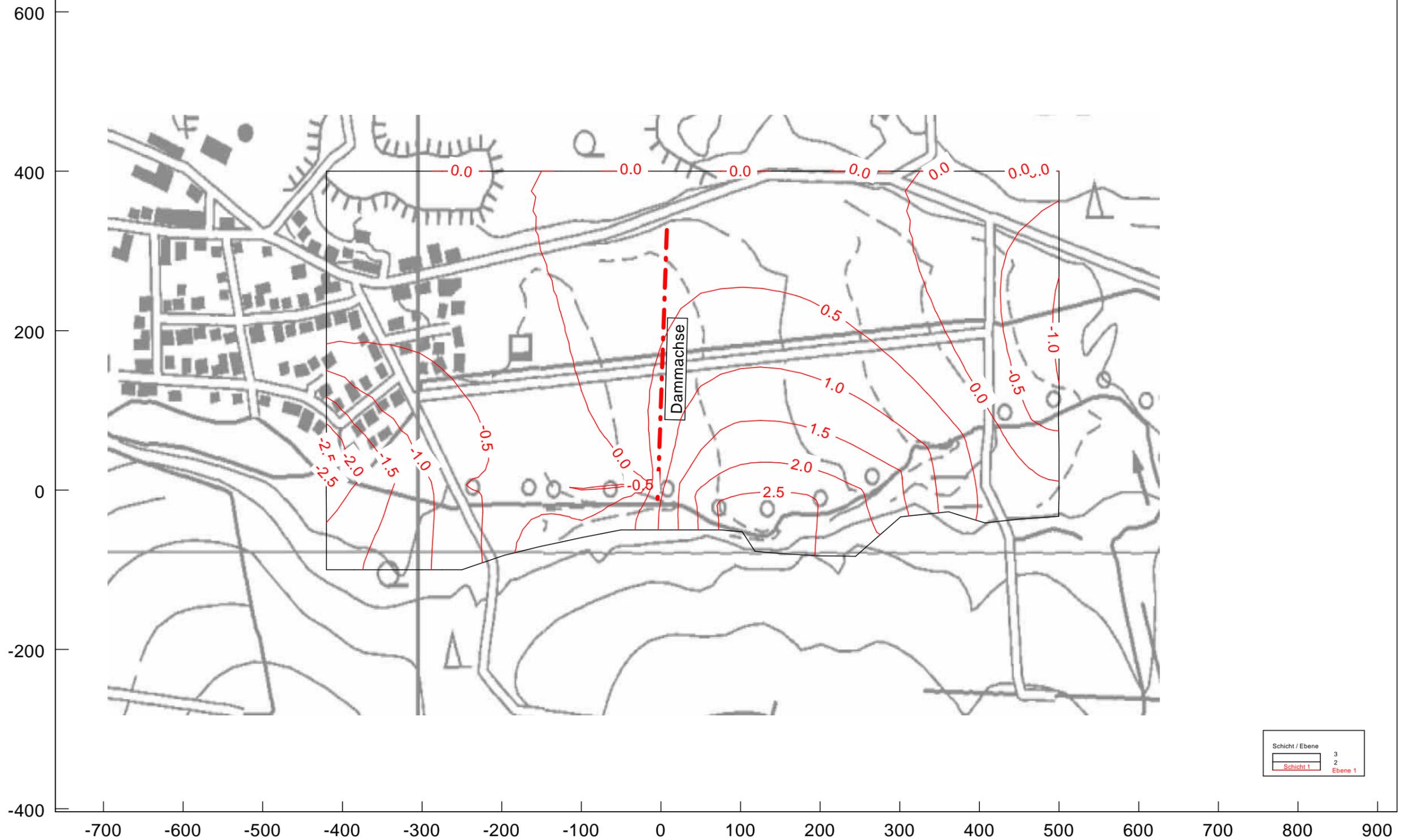
Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle





Grundwasser
 Veränderung der Grundwasserstände
 gegenüber Ist-Zustand Hochwasser

Boden	k_x [L/T]	k_y [L/T]	k_z [L/T]	n_{eff} [-]	Bezeichnung
	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	$1.000 \cdot 10^{-3}$	0.20	Kies
	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	$1.000 \cdot 10^{-8}$	0.20	Auelehm
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Gewässersohle





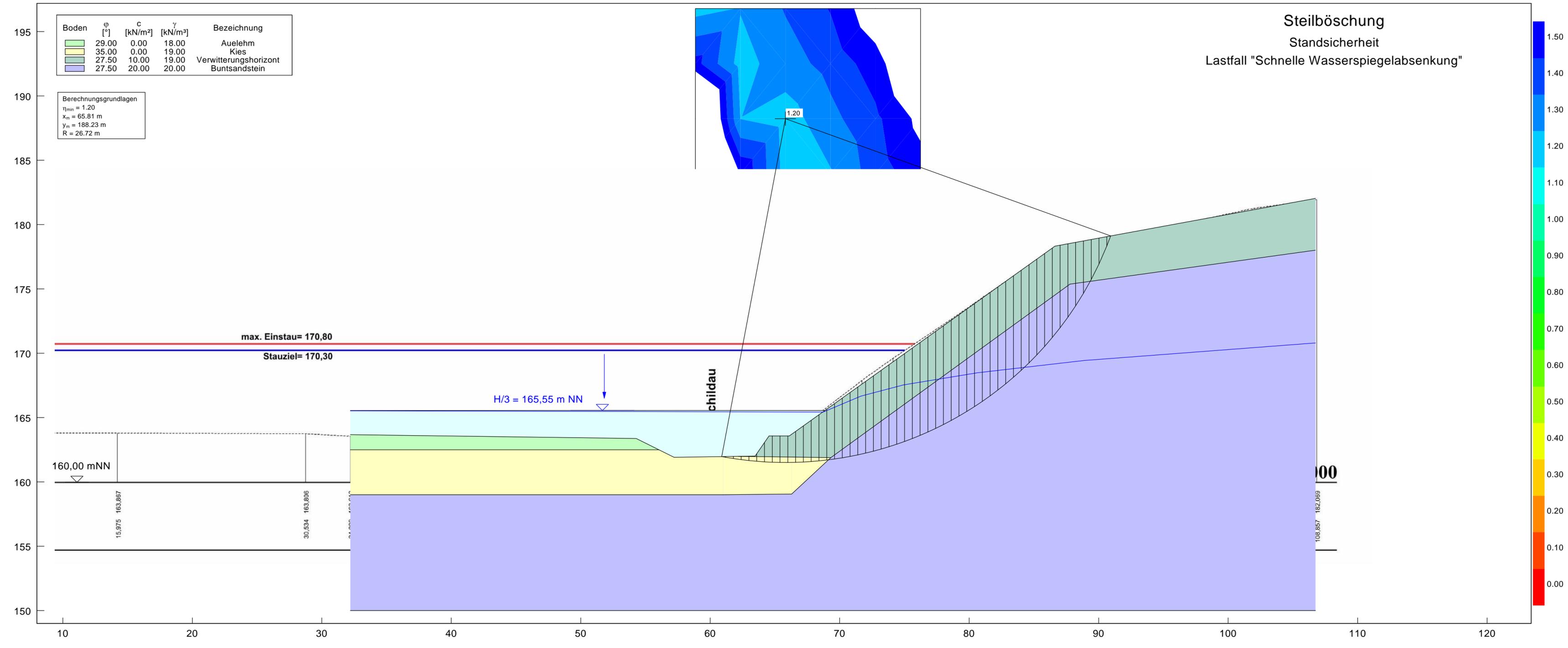
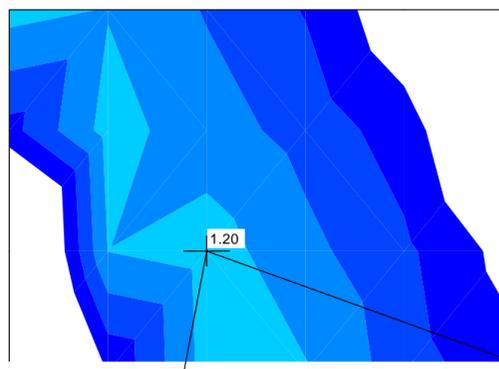
Steilböschung

Standsicherheit

Lastfall "Schnelle Wasserspiegelabsenkung"

Boden	φ [°]	C [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	Bezeichnung
[Light Green]	29.00	0.00	18.00	Auelehm
[Yellow]	35.00	0.00	19.00	Kies
[Light Green]	27.50	10.00	19.00	Verwitterungshorizont
[Purple]	27.50	20.00	20.00	Buntsandstein

Berechnungsgrundlagen
 $\eta_{min} = 1.20$
 $x_m = 65.81$ m
 $y_m = 188.23$ m
 $R = 26.72$ m



160,00 mNN

15,975 163,867

30,534 163,806

100

108,857 182,069