



**Gesellschaft für Grundbau
und Umwelttechnik mbH**

Braunschweig

Telefon +49 (0)531 / 312895

Telefax +49 (0)531 / 313074

www.ggu.de

post-bs@ggu.de

Baugrund

Grundwasser

Umwelttechnik / Altlasten

Damm- und Deichbau

Straßen- und Erdbau

Spezialtiefbau

Deponiebau

Kunststofftechnik

Software-Entwicklung

Baugrunderkundung

Feldmesstechnik

Prüflabore für Boden

Prüflabor für Kunststoff

Inspektionsstelle

Braunschweig

Magdeburg

Öhringen

Schwerin

Eisversatz und Eisdruck auf Deiche

Geotechnische Untersuchungen

Teil 2: Standsicherheitsberechnungen

Bericht: 10281.2/2019

Auftraggeber: Artlenburger Deichverband

Braunschweig, 08.02.2019

Beratende Ingenieure VBI,
BDB, DWA, DGGT, ITVA, BWK
Sachverständige für
Erd- und Grundbau
Vereidigte Sachverständige

Amtsgericht Braunschweig
HRB 9354

Geschäftsführer:

Prof. Dr.-Ing. Johann Buß,

Dr.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing.

Peter Grubert, M.Sc.,

Dr.-Ing. Carl Stoewahse

Dipl.-Ing. Birk Kröber

Dipl.-Ing. Axel Seilkopf

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Unterlagen	5
3	Baumaßnahme.....	5
4	Grundbautechnische Auswertung	9
4.1	Sicherheitskonzept.....	9
4.2	Hydraulische Berechnungen	10
4.3	Eisdruckansatz.....	16
5	Stand sicherheitsberechnungen	18
5.1	Allgemeines	18
5.2	Berechnungsergebnisse.....	18
6	Maßnahmen und Empfehlungen	20
7	Zusammenfassung.....	20

Abbildungen

Abbildung 1:	Schäden am Deich durch Eisschollen, Hochwasser am 15.01.2003 (Foto Artlenburger Deichverband	5
Abbildung 2:	Aufgeschobene Eisschollen bei Radegast, Hochwasser am 15.01.2003 (Foto Artlenburger Deichverband)	6
Abbildung 3:	Querprofil des derzeitigen Deiches im Bereich der Vitico bei Deichkilometer 8+500 [2]	7
Abbildung 4:	Regelquerschnitt	7
Abbildung 5:	Geschwindigkeitsverteilung im Ist-Zustand	12
Abbildung 6:	Geschwindigkeitsvektoren im Ist-Zustand	12
Abbildung 7:	Geschwindigkeitsverteilung nach Deichrückverlegung bis zur K 27 .13	
Abbildung 8:	Geschwindigkeitsvektoren nach Deichrückverlegung bis zur K 27 ...13	
Abbildung 9:	Ersatzmodell zur Ermittlung des dynamischen Eisdrucks.....	14
Abbildung 10:	Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt Hochwert 5911000 Abfluss 2.000 m ³ /s.....	15
Abbildung 11:	Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt Hochwert 5911000 Abfluss 4.545 m ³ /s.....	15

Tabellen

Tabelle 1:	Lastfälle bei Hochwasserschutzanlagen nach DIN 19712:2013-019
Tabelle 2:	Eislaster nach den Ansätzen in [1]16
Tabelle 3:	Ist-Zustand: Ausnutzungsgrade Böschungsbruch Berechnung ohne Teilsicherheitsbeiwerte.....19
Tabelle 4:	Regelprofil: Ausnutzungsgrade Böschungsbruch Berechnung ohne Teilsicherheitsbeiwerte.....20

Anlagen

Anlage 1	Lageplan
Anlage 2	Ist-Zustand
Anlage 2.1	Untergrundhydraulik
Anlage 2.1.1	BS-P „Bemessungshochwasser“
Anlage 2.1.2	BS-A „Ausfall Dichtung“
Anlage 2.2	Standssicherheit
Anlage 2.2.1	BS-P „Bemessungshochwasser“ ohne Eislast
Anlage 2.2.2	BS-P „Bemessungshochwasser“ Eislast $P_E = 50 \text{ kN/m}$
Anlage 2.2.3	BS-A „Ausfall Dichtung“ ohne Eislast
Anlage 2.2.4	BS-A „Ausfall Dichtung“ Eislast $P_E = 50 \text{ kN/m}$
Anlage 3	Regelquerschnitt
Anlage 3.1	BS-P „Bemessungshochwasser“ ohne Eislast
Anlage 3.2	BS-P „Bemessungshochwasser“ Eislast $P_E = 50 \text{ kN/m}$
Anlage 3.3	BS-A „Ausfall Dichtung“ ohne Eislast
Anlage 3.4	BS-A „Ausfall Dichtung“ Eislast $P_E = 50 \text{ kN/m}$

1 Einleitung

Der linksseitige Elbdeich zwischen Bleckede und Radegast soll möglicherweise zur Verbesserung der Abflussverhältnisse zurückverlegt werden. In der Voruntersuchung werden drei Trassen zwischen dem bestehenden Deich und der Kreisstraße K 5 von Karze nach Radegast betrachtet (Anlage 1).

Der Deichabschnitt liegt nördlich von Bleckede im Prallhang der Elbe. Durch die Deichrückverlegung wird südlich von Radegast im Prallhang eine „Bucht“ angelegt. Es wurden Befürchtungen geäußert, dass sich bei Eishochwasser hier vermehrt Eisschollen aufstauen und die Deiche zusätzlich belasten.

Zur Untersuchung der Auswirkungen des Eisstaus auf die Standsicherheit der Deiche werden zunächst in einer Literaturstudie vorhandene Ansätze zum Eisdruck auf Uferneinfassungen, Deckwerke und Deiche zusammengestellt und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit bewertet [1].

Die hydraulischen Grundlagen, Strömungsgeschwindigkeiten, -richtungen und Auftreffwinkel auf den Deich, werden durch numerische Berechnungen vom Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig ermittelt.

Aus der Literaturrecherche und den hydraulischen Berechnungen werden erdstatische Lastansätze hergeleitet. Diese gehen als Randbedingungen in die Standsicherheitsberechnungen für zwei Deichquerschnitte ein. Die Standsicherheitsberechnungen erfolgen mit „klassischen“ Methoden.

Die Durchströmung des Deiches wird in vertikal-ebenen Berechnungsmodellen nach der Methode der Finiten-Elemente für die maßgebenden Lastfälle ermittelt. Ein teilweiser bzw. vollständiger Ausfall der wasserseitigen Dichtung infolge der Beschädigung durch Eisschollen wird berücksichtigt.

Dieser Bericht fasst die hydraulischen Berechnungen im Hinblick auf die Deichstandsicherheit zusammen. Standsicherheitsberechnungen für den Deich im Ist-Zustand und einen Deich nach dem Regelquerschnitt werden durchgeführt und bewertet.

Empfehlungen für die Behandlung von Eisdruckansätzen bei der Standsicherheitsanalysen von Deichen werden gegeben.

2 Unterlagen

- [1] Artlenburger Deichverband – Eisversatz und Eisdruck auf Deiche – Literaturstudie, GGU-Bericht 10281.1/2019, GGU, Braunschweig, 06.02.2019
- [2] Machbarkeitsstudie für eine Deichrückverlegung im Bereich der Stadt Bleckede, Flurlage Vitico, (Elbe-km 551,4 bis 554,5), NLWKN, Lüneburg, 30.11.2018
- [3] Ergebnisse hydraulischer Berechnungen, Leichtweiß-Institut, TU Braunschweig, interne Ergebnismitteilung, E-Mail vom 17.07.2019 und 04.02.2019

3 Baumaßnahme

Der hier betrachtete Deichabschnitt liegt südlich von Radegast am Westufer der Elbe (Anlage 1). Dieses Ufer bildet oberhalb von Radegast einen Prallhang. Bedingt durch den Deichverlauf kommt es unmittelbar südlich der Ortslage Radegast zu Eisversätzen.



Abbildung 1: Schäden am Deich durch Eisschollen, Hochwasser am 15.01.2003
(Foto Artlenburger Deichverband)



Abbildung 2: Aufgeschobene Eisschollen bei Radegast, Hochwasser am 15.01.2003
(Foto Artlenburger Deichverband)

Aufgrund der eingetretenen extremen Hochwasserereignisse mit Überschreitung des Bemessungswasserstandes wurde auch der Deich im Bereich der Vitico mehrmals stark belastet und konnte dabei stets erfolgreich verteidigt werden. Dennoch haben diese Hochwasserereignisse zu äußeren und inneren Schäden am Deich und der dazugehörigen Infrastruktur geführt [2].

Das Deichprofil zwischen Bleckede und Radegast hat laut Planfeststellungsbeschluss von 1981 eine Kronenbreite von 5 m, ein Dachgefälle von 6% und eine beidseitige Böschungsneigung von 1:3. Der Stützkörper besteht aus einem Sandkern, die Deichböschungen und die Krone sind mit einer 60 cm starken Kleischicht im Binnenbereich und 100 cm im Außenbereich abgedeckt. Außendeichs bindet ein Kleisporn in den Untergrund ein. Die Binnen-/Außenböschung besitzt eine Neigung von 1:3 und der Bereich des Radegaster - Haken eine Neigung von 1:4 (erhöhter Angriff durch Wellen und Eis). Zudem wurde im nördlichen Bereich in Richtung Radegast der scharliegende Deich mit einem ca. 140 m langen Betonsteindeckwerk zum Schutz vor mechanischer Belastung durch z.B. Eisversatz verstärkt [2].

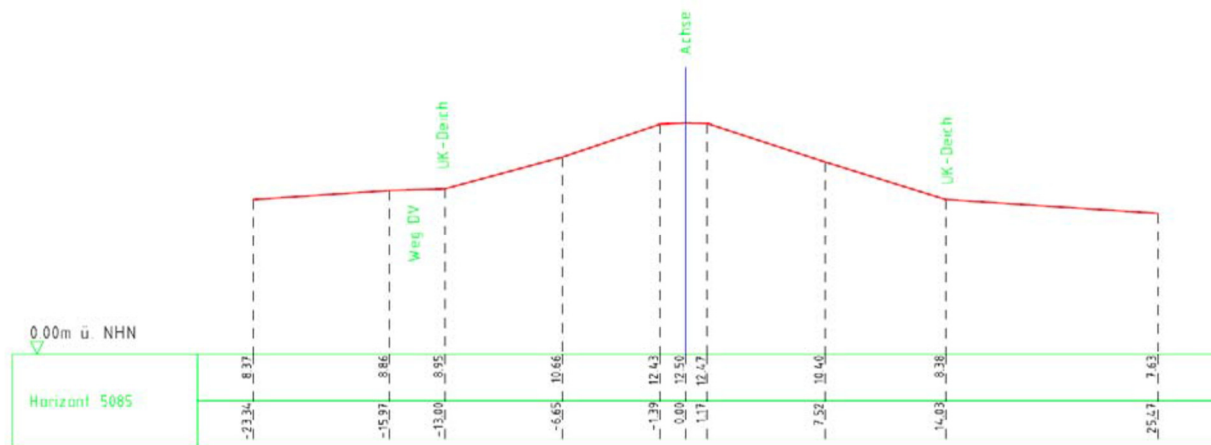


Abbildung 3: Querprofil des derzeitigen Deiches im Bereich der Vitico bei Deichkilometer 8+500 [2]

Der vorhandene Deich weist Fehlhöhen auf und ist nach den Instandsetzungsmaßnahmen nicht mehr entsprechend des Hochwasserschutzplan untere Mittelelbe ausgebildet. Die Krone hat sich im Zuge der Instandsetzung auf ca. 3 m Breite reduziert und der Deichverteidigungsweg liegt im Mittel mehr als 3 m unter dem BHW.

Ein neuer Deich wird nach dem Regelquerschnitt in Abbildung 4 mit Böschungsneigungen von 1:3 und dem Deichverteidigungsweg auf einer Berme aufgebaut.

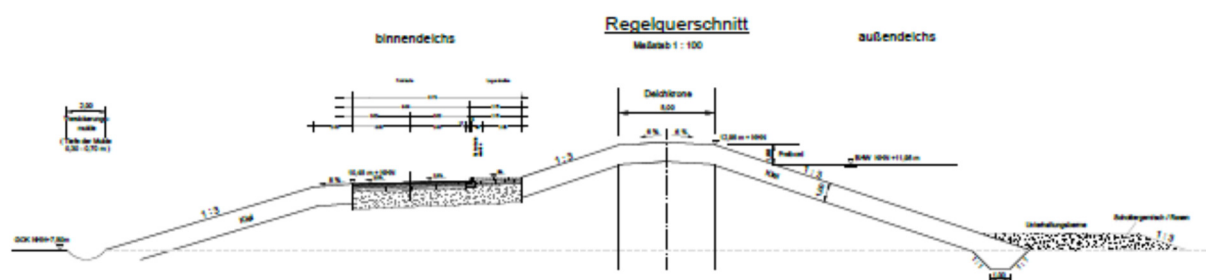


Abbildung 4: Regelquerschnitt

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden unterschiedliche Trassen einer Deichrückverlegung untersucht [2], mit denen zusätzlicher Retentionsraum geschaffen werden soll. Die möglichen Rückverlegungsvarianten sind in Anlage 1 dargestellt.

Die Trassenverläufe werden in [2] wie folgt beschrieben:

„Zunächst folgen die untersuchten Trassenverläufe der drei Varianten der K 27 ab dem Parkplatz bis durch das angrenzende Achterholz. Variante I verschwenkt bei der ersten Abfahrtsmöglichkeit auf den vorhandenen Wirtschaftsweg und verläuft dann parallel des Weges in Richtung Radegast. Kurz vor dem Sportplatz in Radegast schließt die Trasse der Variante I wieder an den bestehenden Elbdeich an. Die Varianten II und III folgen zunächst der K 27, wobei Variante II (Mittl.-Variante) der K 27 folgt und oberhalb von Radegast wieder an den vorhandenen Deich anschließt. Variante III (Max-Variante) verlässt die K 27 im Kurvenbereich in Richtung Waldkante bzw. Bruchwetter und stößt dann an die K 5. Anschließend verläuft die Trasse in Richtung Nord-Ost parallel zur K5 und kreuzt dabei zwei Feldwege, den Seegraben und den Marschwetter Graben. Auf Höhe der K 4 Abzweigung wird die Trasse in Richtung Elbedeich geführt und schließt wie zuvor Variante I und II an den bestehenden Elbedeich an.“

Durch die Deichrückverlegung wird südlich von Radegast im Prallhang eine „Bucht“ angelegt. Es wurden Befürchtungen geäußert, dass sich bei Eishochwasser hier vermehrt Eischollen aufstauen und die Deiche zusätzlich belasten.

4 Grundbautechnische Auswertung

4.1 Sicherheitskonzept

Standortsicherheitsnachweise für Flussdeiche sind in DIN 19712 „Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern“ vom Januar 2013 geregelt. Tabelle 1 enthält die nachzuweisenden Lastfälle.

Tabelle 1: Lastfälle bei Hochwasserschutzanlagen nach DIN 19712:2013-01

Einwirkungen		Bemessungssituation					
		BS-P ständig		BS-T vorübergehend	BS-A außergewöhnlich		
		(Hochwasserzustand)		(Bau- und Revisionszustand)	(Besondere Belastungen und Situationen)		
		P.1	P.2	T.1	A.1	A.2	A.3
Ständige	Eigenlasten und Auflasten	x	x	x	x	x	x
Veränderliche	Verkehrslasten	x	x	x	x	x	x
	Beanspruchung durch BHW	x				x	
	Beanspruchungen durch aus BHW fallenden Wasserspiegel		x				
	Beanspruchung durch BauHW			x	x		
Außergewöhnliche	Beanspruchung durch Wasserstand „bordvoll“ ^a						x
	Beanspruchungen infolge Versagen von Dichtungen bzw. Dräns ^b				x	x	

^a Dies entspricht bei Deichen einem wasserseitigen Einstau bis zur wasserseitigen Böschungsschulter ohne Berücksichtigung von lokalen Über- oder Unterhöhen (z. B. aus Überfahrten oder Überlaufstrecken) und konstruktiv erforderlichen Überhöhen.

^b Systemsicherheit von Dichtungs- und Dränelementen ist zu berücksichtigen. Bei nachweislich erosionsstabilen Systemen darf gegebenenfalls ein Teilversagen angesetzt werden. Das Maß des Versagens ist jeweils systemabhängig festzulegen.

Neben den ständigen Bemessungssituationen aus Eigengewicht und Verkehrslasten sowie den Wasser- und Strömungskräften beim Bemessungswasserstand sind z. B. als außergewöhnliche Bemessungssituationen der Ausfall von Sicherungselementen wie Dichtungen und Drägen zu betrachten.

Eisversatz kann folgende Belastungen auf den Deichkörper bewirken:

- Anstieg des Wasserspiegels und daraus resultierende hydrostatische Belastungen und Porenwasserdrücke im Deichkörper,
- Quasistatische Belastungen aus dem Eisdruck auf den Deich,

- dynamische Belastungen aus dem Eisdruck auf den Deich,
- Beschädigungen des Deichkörpers durch Penetration oder Abrasion und Anstieg der Sickerlinie im Deichkörper.

Die oben genannten hydraulischen Einwirkungen sowie die quasistatischen und dynamischen Einwirkungen aus dem Eisversatz sind in der Tabelle nicht explizit genannt. Sie müssen in den Verkehrslastansätzen erfasst und in den entsprechenden Bemessungssituationen berücksichtigt werden.

Der Eisversatz führt zu einem Aufstau der Elbe mit entsprechend hohen Wasserständen am Deich. Diese Wasserstände bewirken als hydrostatische Belastung eine entsprechende Sickerlinie und Porenwasserdruckverteilungen im Deichkörper, die für die Standsicherheitsberechnung maßgebend werden. Erdstatistisch ist es dabei unerheblich, ob der hohe Wasserstand am Deich durch Eisversatz mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten oder ein Hochwasserereignis mit hohem Abfluss und hohen Strömungsgeschwindigkeiten verursacht wird. Der Anstieg des Wasserspiegels infolge des Eisversatzes wird in dem Ansatz des Bemessungshochwassers erfasst.

Beschädigungen des Deiches durch Eisschollen sind durch den Lastfall „Ausfall der Dichtung“ abgedeckt.

Es verbleiben somit die quasistatischen und dynamischen Einwirkung. Für die dynamische Belastung des Deiches ist die Geschwindigkeit, mit der ein Eisfeld auf den Deich auftrifft, zu ermitteln. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse hydraulischer Berechnungen vorgestellt. In Abschnitt 4.3 werden die in der Literaturstudie [1] enthaltenen Eisdruckansätze auf die hier vorliegenden Verhältnisse angewendet.

4.2 Hydraulische Berechnungen

Zu Eisversatz kommt es in den Wintermonaten bei eher geringen Abflüssen und somit kleinen Strömungsgeschwindigkeiten. Durch die Beschränkung des Abflussquerschnitts kommt es aber zu einem Aufstau mit hohen Wasserständen am Deich. Andererseits treten Hochwässer bei hohen Abflüssen vor allem in Jahreszeiten ein, in denen temperaturbedingt ein Eisversatz eher auszuschließen ist.

Wie oben bereits beschrieben, ist es aus erdstatischer Sicht unerheblich, durch welches Ereignis der Bemessungswasserstand am Deich eintritt.

Zur Herleitung der dynamischen Einwirkungen sind die Strömungsgeschwindigkeiten am Deich bzw. im Vorland zu ermitteln. Im hydraulischen Berechnungsmodell sind die für hohe Abflüsse Strömungsgeschwindigkeiten jedoch für den Lastfall Eisversatz zu groß. Bei niedrigen Abflüssen hingegen, die für den Eisversatz maßgebend sind, ergeben sich im hydraulischen Modell keine hohen Wasserstände mit einer Überflutung des Deichvorlandes.

Für die hier durchgeführten hydraulischen Berechnungen wurde dieser Widerspruch so gelöst, dass zwei Ereignisse betrachtet wurden:

- der Hochwasserabfluss mit 4545 m³/s und
- der Abfluss mit 2000 m³/s, bei dem die Elbe ausufert und das Wasser am Deich steht.

Weiter wurden zwei Deichlinien untersucht:

- die Deichtrasse im Ist-Zustand und
- die Trasse der Deichrückverlegung bis zur Kreisstraße K 27.

Die numerischen Berechnungen wurden am Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig für zwei Abflussszenarien und durchgeführt [3].

In den Abbildung 5 bis Abbildung 8 sind die Strömungsgeschwindigkeiten als farbige Isolien und in vektorieller Darstellung zusammengestellt. An den Vektordarstellungen ist gut zu erkennen, dass bei hohem Abfluss im deichnahen Bereich eine fast deichparallele Strömung eintritt, während es bei dem niedrigen Abfluss auch zu Rückströmungen kommt.

Durch die Rückverlegungen ergeben sich im Vorland geringere Strömungsgeschwindigkeiten, die einen Eisversatz begünstigen können. Andererseits sind im Fall der Rückverlegung die Strömungsverhältnisse am Deich gleichmäßiger und deutlicher parallel zum Deich ausgerichtet als im Ist-Zustand, was wiederum für einen besseren Abtransport der Eisschollen sorgt.

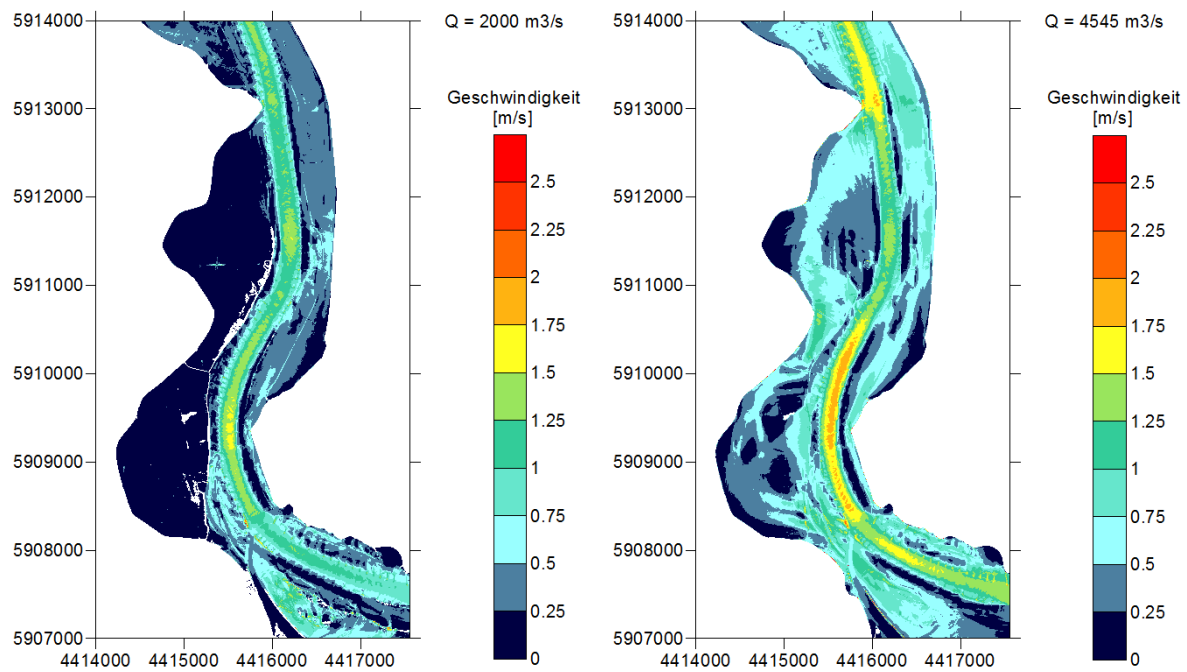


Abbildung 5: Geschwindigkeitsverteilung im Ist-Zustand

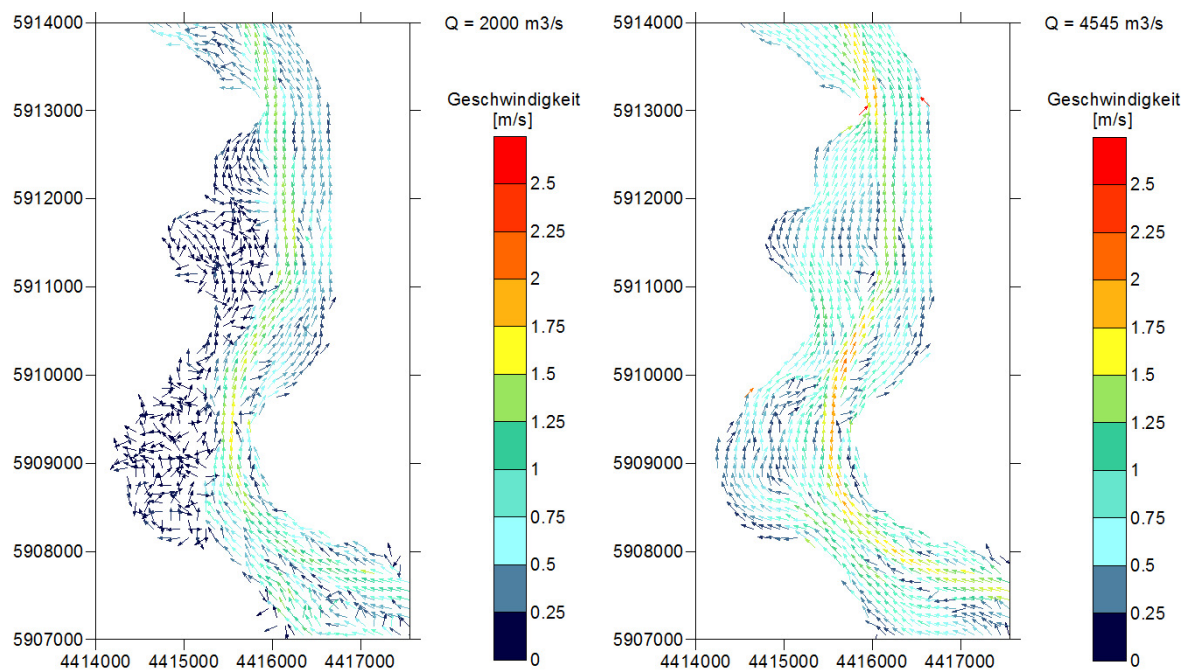


Abbildung 6: Geschwindigkeitsvektoren im Ist-Zustand

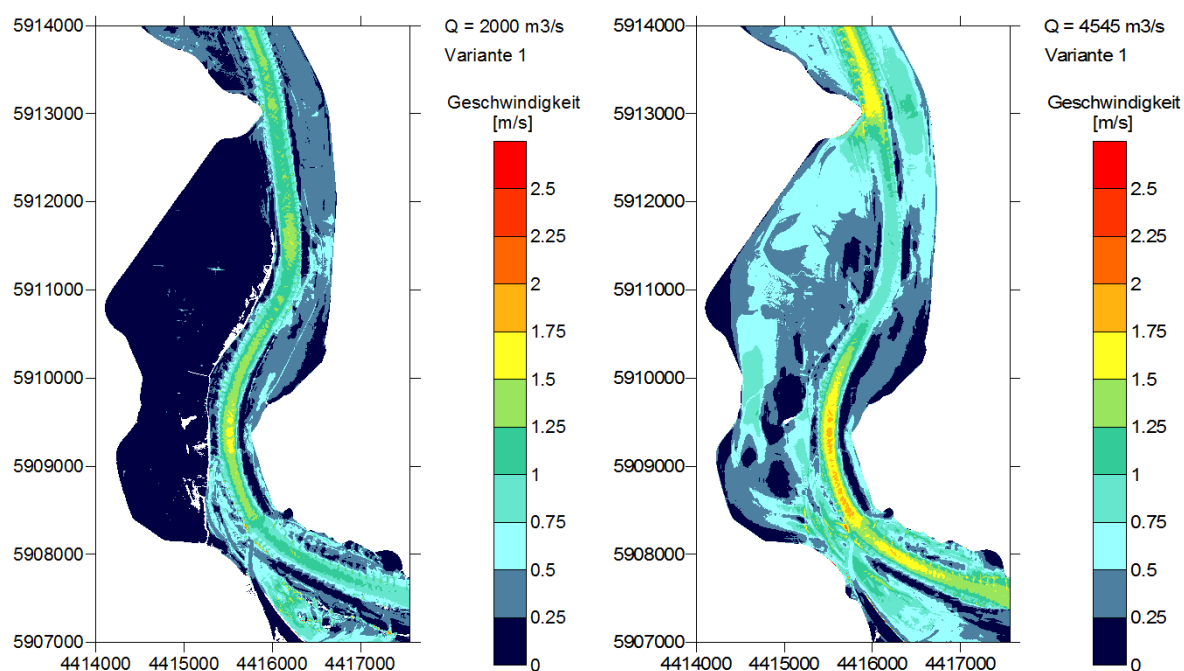


Abbildung 7: Geschwindigkeitsverteilung nach Deichrückverlegung bis zur K 27

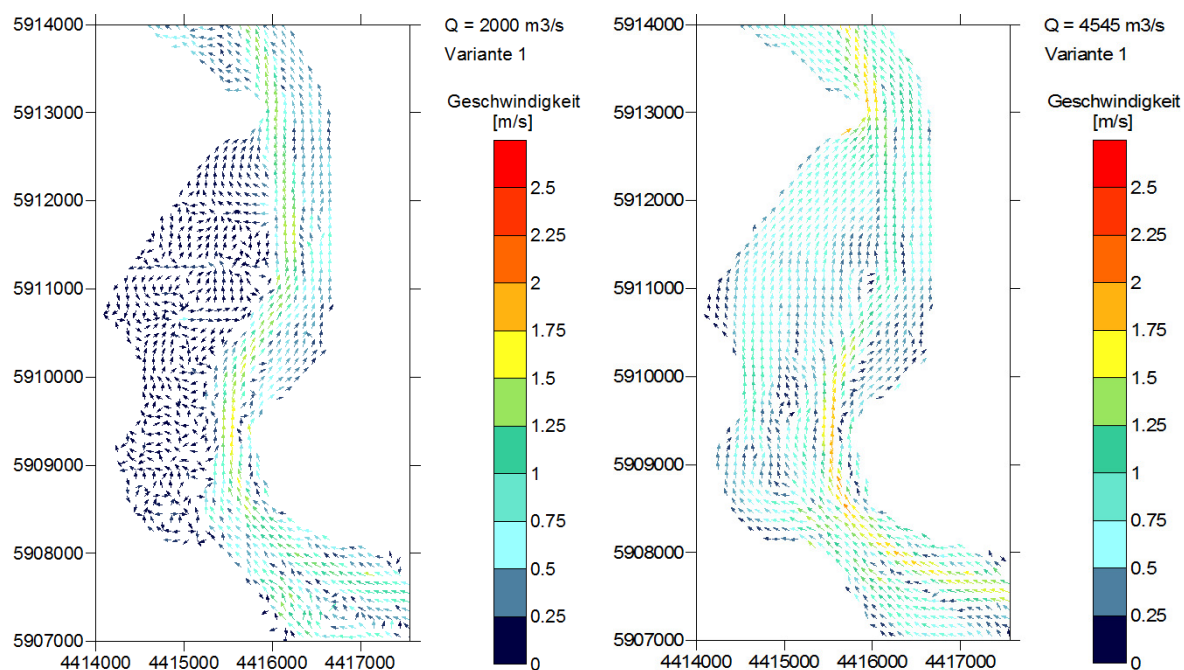


Abbildung 8: Geschwindigkeitsvektoren nach Deichrückverlegung bis zur K 27

Erdstatistisch relevant sind Kräfte, die senkrecht auf dem Deich stehen. Bei einer deichparallelen Strömung ist lokal keine derartige Kraftkomponente vorhanden. Daher wird ein Eisfeld betrachtet, das sich am Deich festsetzt und in das Vorland reicht. Idealisiert ist dieses in Abbildung 9 dargestellt.

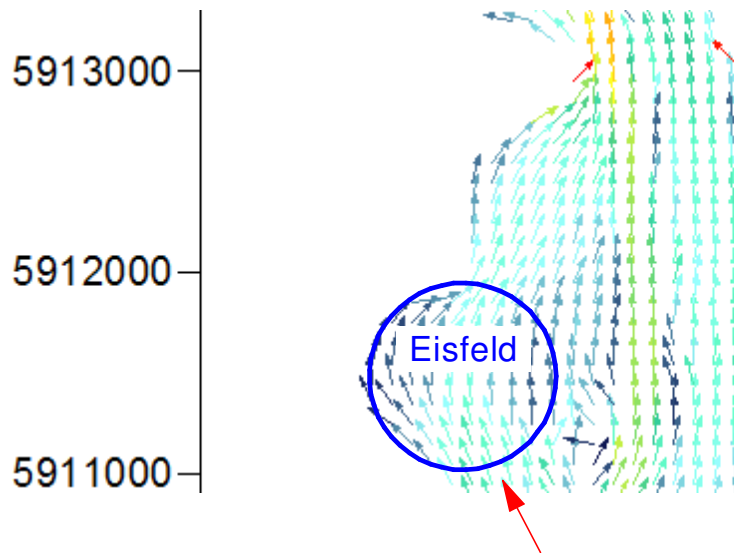


Abbildung 9: Ersatzmodell zur Ermittlung des dynamischen Eisdrucks

Für den Querschnitt bei Hochwert 5911000 sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 für beide Abflüsse die Geschwindigkeitsprofile in der Elbe und im Deichvorland aufgetragen. Bei dem Abfluss von $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$, bei dem die Elbe gerade ausufert, ergeben sich im Vorland nur geringe Strömungsgeschwindigkeiten und im Fluss selber sind die Geschwindigkeiten fast identisch. In dem das Eisfeld betreffenden Bereich im Deichvorland beträgt die mittlere Strömungsgeschwindigkeit $0,03 \text{ m/s}$.

Bei dem hohen Abfluss von $4.545 \text{ m}^3/\text{s}$ unterscheiden sich die Geschwindigkeitsprofile. Mit der Deichrückverlegung nehmen die Strömungsgeschwindigkeiten ab. Die maximalen Geschwindigkeiten im Vorland betragen $0,74 \text{ m/s}$ im Ist-Zustand und $0,46 \text{ m/s}$ nach der Deichrückverlegung.

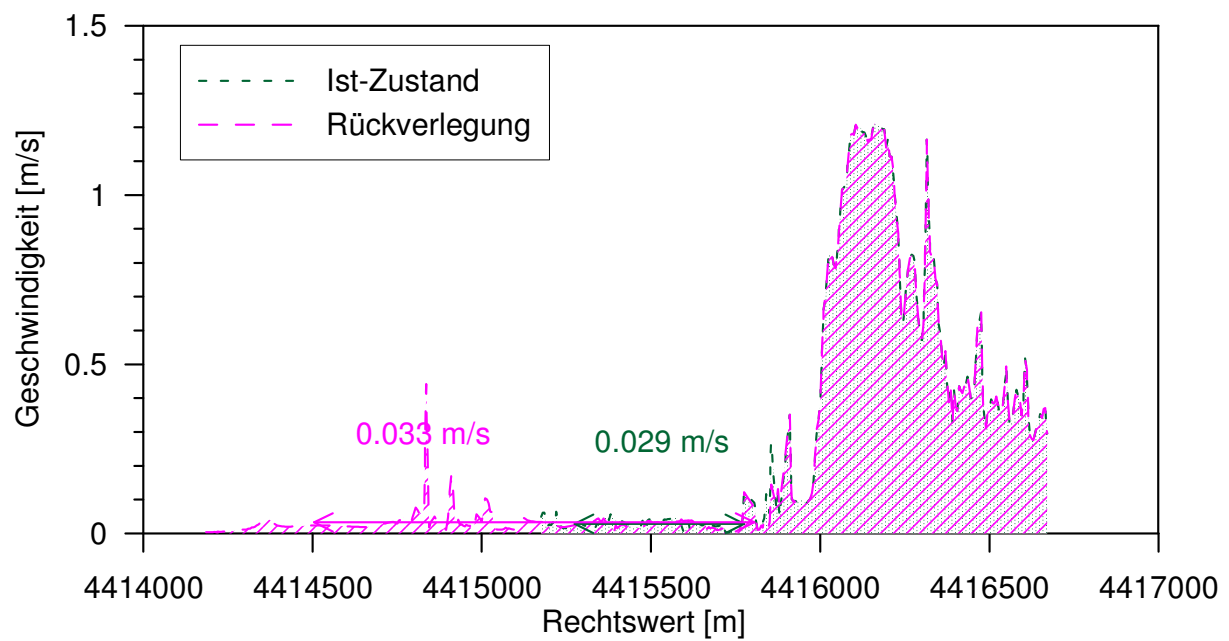


Abbildung 10: Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt Hochwert 5911000
Abfluss 2.000 m³/s

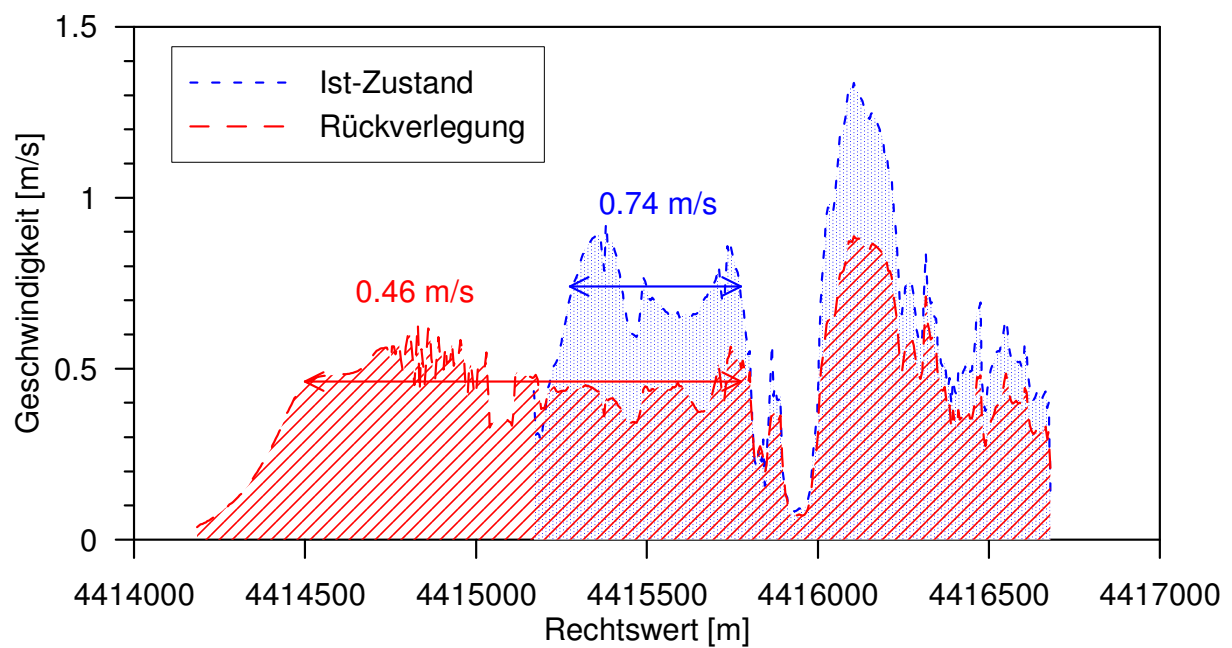


Abbildung 11: Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt Hochwert 5911000
Abfluss 4.545 m³/s

4.3 Eisdruckansatz

Mit den in [1] vorgestellten Lastansätzen werden unter folgenden Annahmen die Belastungen des Deiches ermittelt:

Druckfestigkeit des Eises	$\sigma_f =$	3.500	kN/m ²
Biegefestigkeit des Eises	$\sigma_B =$	800	kN/m ²
Eisdicke	$h =$	0,3	m
Höhe des Eisaufschubs	$z =$	1,0	m
Breite des Eisfeldes	$L_E =$	100	m
Dichte des Eises	$\rho_i =$	917	kg/m ³

Nicht genannte Parameter wurden jeweils ungünstig angesetzt. Damit ergeben sich die in Tabelle 2 zusammengestellten Kräfte.

Tabelle 2: Eislasten nach den Ansätzen in [1]

	P_E [kN/m]
Shore Protection Manual	360
DIN 19704-1	45
Ice Engineering	23
Germanischer Lloyd ohne Trümmereis	184 ^{*)}
Germanischer Lloyd mit Trümmereis	542 ^{*)}
Carstensen ($v = 0,03$ m/s, Fläche des Eisfelds = 5000 m ²)	1
Carstensen ($v = 0,46$ m/s, Fläche des Eisfelds = 5000 m ²)	11
Carstensen ($v = 0,74$ m/s, Fläche des Eisfelds = 5000 m ²)	17
Carstensen („Versagenslast“)	24
Bureau Veritas	56
EAU (2012)	39
HPA	30

^{*)} mit Sicherheitsbeiwert $S_F = 4$

Es zeigt sich, dass je nach Ansatz sehr unterschiedliche Eislasten berechnet werden. Dabei wird der Pauschalansatz nach dem Shore Protection Manual als deutlich auf der sicheren Seite liegender Ausreißer nicht weiter berücksichtigt.

Auch die beiden Ansätze des Germanischen Lloyds werden nicht weiter berücksichtigt. Zum einen fällt auf, dass sich bei Ansatz des Trümmereises die Eisdruckkraft gegenüber dem Zustand ohne Trümmereis um mehr als den Faktor 3 erhöht. Diese Größenordnung erscheint wenig plausibel, zumal die Höhe des Trümmereises nicht in den maßgebenden Term der Gleichung eingeht. Zudem liefern beide Ansätze bei der Anwendung des geforderten Sicherheitsbeiwerts von mindestens $S_F = 4$ im Vergleich zu den anderen Ansätzen sehr hohe Eisdrücke. Da in der Veröffentlichung des Germanischen Lloyds auch darauf hingewiesen wird, dass diese Ergebnisse vorsichtig zu bewerten sind, erscheint der gesamte Rechenansatz trotz seines umfassenden Formelapparats als wenig geeignet.

Die mit den übrigen Ansätzen berechneten Kräfte variieren zwischen 23 und 56 kN/m. Dabei kann nicht beurteilt werden, ob die mit teilweise komplexen Formeln berechneten Eislasten wirklichkeitsnäher sind als die relativ einfachen Ansätze.

Für alle weiteren Betrachtungen wird eine Eislast von $P_E = 50 \text{ kN/m}$ angesetzt.

Die Eislast wirkt an der Stelle, an der die Eisschollen auf den Deichkörper auftreffen, also an der wasserseitigen Böschung. Im Deichkörper verteilt sich diese Kraft, so dass an einem Gleitkreis auf der Binnenseite des Deiches nur noch ein Teil dieser Kraft angreift. Die genaue Verteilung dieser Kräfte am Gleitkörper ist nicht bekannt.

Für die Standsicherheitsberechnungen wurde vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend innerhalb des Gleitkörpers eine Ersatzkraft in der Größe der Eislast und auf ihrer Wirkungslinie angesetzt. Damit geht die volle Eislast in die Standsicherheitsberechnung ein.

5 Standsicherheitsberechnungen

5.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Auswirkungen auf den Deich an einem Modelldeich analysiert, der in seinen Abmessungen dem vorhandenen Deich im Untersuchungsgebiet entspricht (s. Abbildung 3) sowie an einem Deich, der nach dem Regelprofil (Abbildung 4) aufgebaut ist.

Die Höhen der Deichkrone sowie des Geländes und das Bemessungshochwasser wurden wie folgt festgelegt:

Deichkrone:	19,50 mNHN
GOK Vorland:	14,50 mNHN
GOK Hinterland:	14,80 mNHN
Kronenbreite:	3,00 m
Böschungsneigungen:	1 : 3
Bemessungshochwasser BHW ₂₀₀₄ :	18,50 mNHN

Die Berechnungen folgen den üblichen Regelungen für Standsicherheitsnachweise für Deiche, wobei für die hier vorliegende Fragestellung nur die Bemessungssituationen

BS-P	Bemessungshochwasser
BS-A	Ausfall Dichtung

betrachtet werden.

Beide Bemessungssituationen werden jeweils mit und ohne Eislast berechnet.

Um die Berechnungsergebnisse besser vergleichen zu können, wird in allen Berechnungen auf den Ansatz von Teilsicherheitsbeiwerten verzichtet.

5.2 Berechnungsergebnisse

Als Grundlage für die Standsicherheitsberechnungen werden zunächst die Sickerlinien und Potentialverteilungen im Deichkörper berechnet. In Anlage 2.1.1 und Anlage 2.1.2 sind die Ergebnisse als Linien gleicher Wasserstände dargestellt. Die Porenwasserdruckverteilungen werden über eine Schnittstelle in die Modelle der Standsicherheitsberechnungen übertragen.

Die Standsicherheiten werden nach dem Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitflächen nach DIN 4084:2009-01 mit dem Programmsystem GGU-STABILITY berechnet. Auf der Deichkrone wird eine Verkehrslast von 10 kN/m² angesetzt.

In Anlage 2.2.1 bis Anlage 2.2.4 sind die Berechnungsergebnisse für den vorhandenen Deich (Ist-Zustand) enthalten. Ausgewertet wurde jeweils der gleiche Gleitkreis, der für ein Gesamtversagen des Deichs kennzeichnend ist. In Tabelle 3 sind die Ausnutzungsgrade zusammengestellt. Die Ausnutzungsgrade enthalten keine Teilsicherheiten. Der Eisdruck erhöht den Ausnutzungsgrad um rd. 20 %.

Die Ausnutzungsgrade zeigen, dass die Standsicherheit des vorhandenen Deiches nicht gefährdet ist. Werden jedoch in der Bemessungssituation BS-P die erforderlichen Teilsicherheiten angesetzt, ergibt sich Ausnutzungsgrade von über 1, die eine Verletzung des erforderlichen Sicherheitsniveaus bedeuten.

Für den Deich nach dem geplanten Regelprofil sind die Berechnungen in Anlage 3.1 bis Anlage 3.4 beigelegt. Die Ausnutzungsgrade (ohne Teilsicherheitsbeiwerte) sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Durch den massiveren Deichquerschnitt mit Berme ergeben sich insgesamt geringere Ausnutzungsgrade und damit ein höheres Sicherheitsniveau. Mit dem Ansatz der Eislast erhöhen sich die Ausnutzungsgrade um rd. 10 %.

Tabelle 3: Ist-Zustand: Ausnutzungsgrade Böschungsbruch
Berechnung ohne Teilsicherheitsbeiwerte

Lastfall	Ohne Eislast	Eislast $P_E = 50 \text{ kN/m}$
BS-P: Bemessungshochwasser	0,63	0,77
BS-A: Ausfall Dichtung	0,69	0,84

Tabelle 4: Regelprofil: Ausnutzungsgrade Böschungsbruch
Berechnung ohne Teilsicherheitsbeiwerte

Lastfall	Ohne Eislast	Eislast $P_E = 50 \text{ kN/m}$
BS-P: Bemessungshochwasser	0,50	0,56
BS-A: Ausfall Dichtung	0,52	0,59

6 Maßnahmen und Empfehlungen

Durch Eisversatz belastete Deiche werden üblicherweise durch Deckwerke gegen Beschädigungen gesichert. Weitere Maßnahmen sind bei einem sonst ausreichenden Sicherheitsniveau nicht erforderlich.

Für hoch ausgelastete Deiche, für die nach herkömmlichen Berechnungsansätzen ohne Eislast Ausnutzungsgrade über 0,8 berechnet wurden, werden zusätzliche Standsicherheitsanalysen empfohlen.

Die Eislast wirkt auf der Wasserseite des Deiches. Infolge der Lastausbreitung im Deichkörper ergibt sich eine unbekannte Belastung am Gleitkörper. Diese kann z. B. durch Finite-Elemente-Berechnungen ermittelt werden. Da diese relativ aufwändig sind, kann vereinfachend, die Eislast in voller Größe auf ihrer Wirkungslinie im Gleitkörper angesetzt werden. Zur Ermittlung der Eislast wird der Ansatz nach EAU (2012) empfohlen.

Die Eislast ist als zusätzliche Verkehrslast in den jeweiligen Bemessungssituationen anzusetzen.

7 Zusammenfassung

Der linksseitige Elbdeich zwischen Bleckede und Radegast soll möglicherweise zur Verbesserung der Abflussverhältnisse zurückverlegt werden. Durch die Deichrückverlegung wird südlich von Radegast im Prallhang eine „Bucht“ angelegt. Es wurden Befürchtungen geäußert, dass sich bei Eishochwasser hier vermehrt Eisschollen aufstauen und die Deiche zusätzlich belasten.

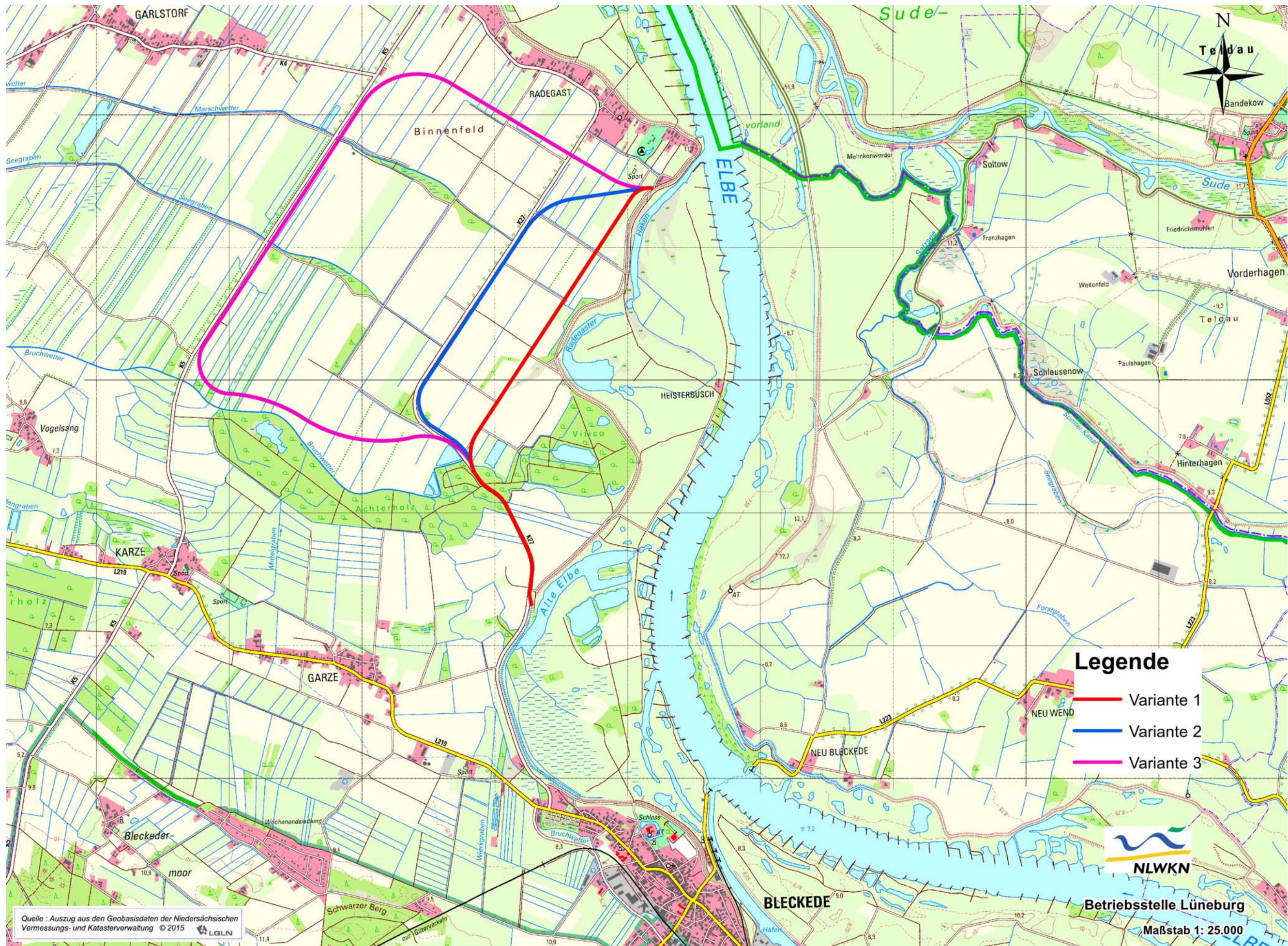
In GGU-Bericht 10281.1/2019 wurden Ansätze zum Eisdruck auf Deiche zusammengestellt. Strömungsgeschwindigkeiten, -richtungen und Auftreffwinkel auf den Deich, wurden für zwei Abflussszenarien durch numerische Berechnungen vom Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig ermittelt. Aus der Literaturrecherche und den hydraulischen Berechnungen werden erdstatische Lastansätze hergeleitet.

Die Standsicherheitsberechnungen zeigen einen Einfluss der Eislast auf die Standsicherheit des Deiches. Je nach Deichaufbau erhöht sich der Ausnutzungsgrad um bis zu rd. 20 %. Dabei ist der Einfluss bei höher ausgelasteten Deichquerschnitten größer als bei Deichquerschnitten mit geringen Ausnutzungsgraden.

Für hoch ausgelastete Deiche, für die nach herkömmlichen Berechnungsansätzen ohne Eislast Ausnutzungsgrade über 80 % berechnet wurden, sind daher zusätzliche Standsicherheitsanalysen erforderlich.

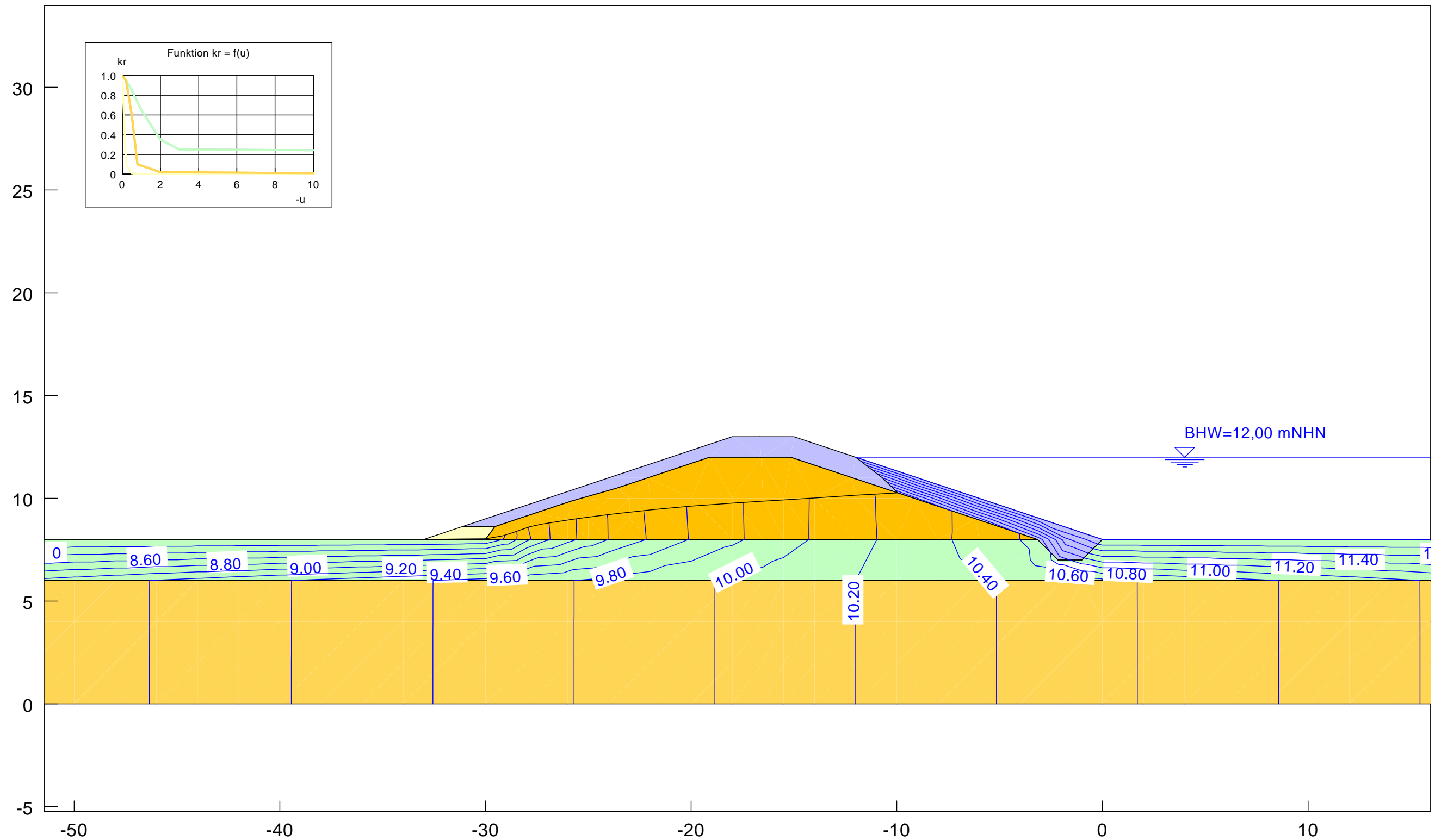
Bei einem sonst ausreichenden Sicherheitsniveau sind Deckwerke als Schutz vor gegen Beschädigungen durch Eisversatz ausreichend.


Dr.-Ing. C. Stoewahse
The professional seal is circular with a blue border. Inside the circle, the text reads: 'Ing. Carl Stoewahse' at the top, 'Vorstandsvorsitzender' and 'Niedersachsen' in the middle, 'anerkannter Sachverständiger' and 'für Erd- und Grundbau' at the bottom, and 'Braunschweig' at the very bottom.

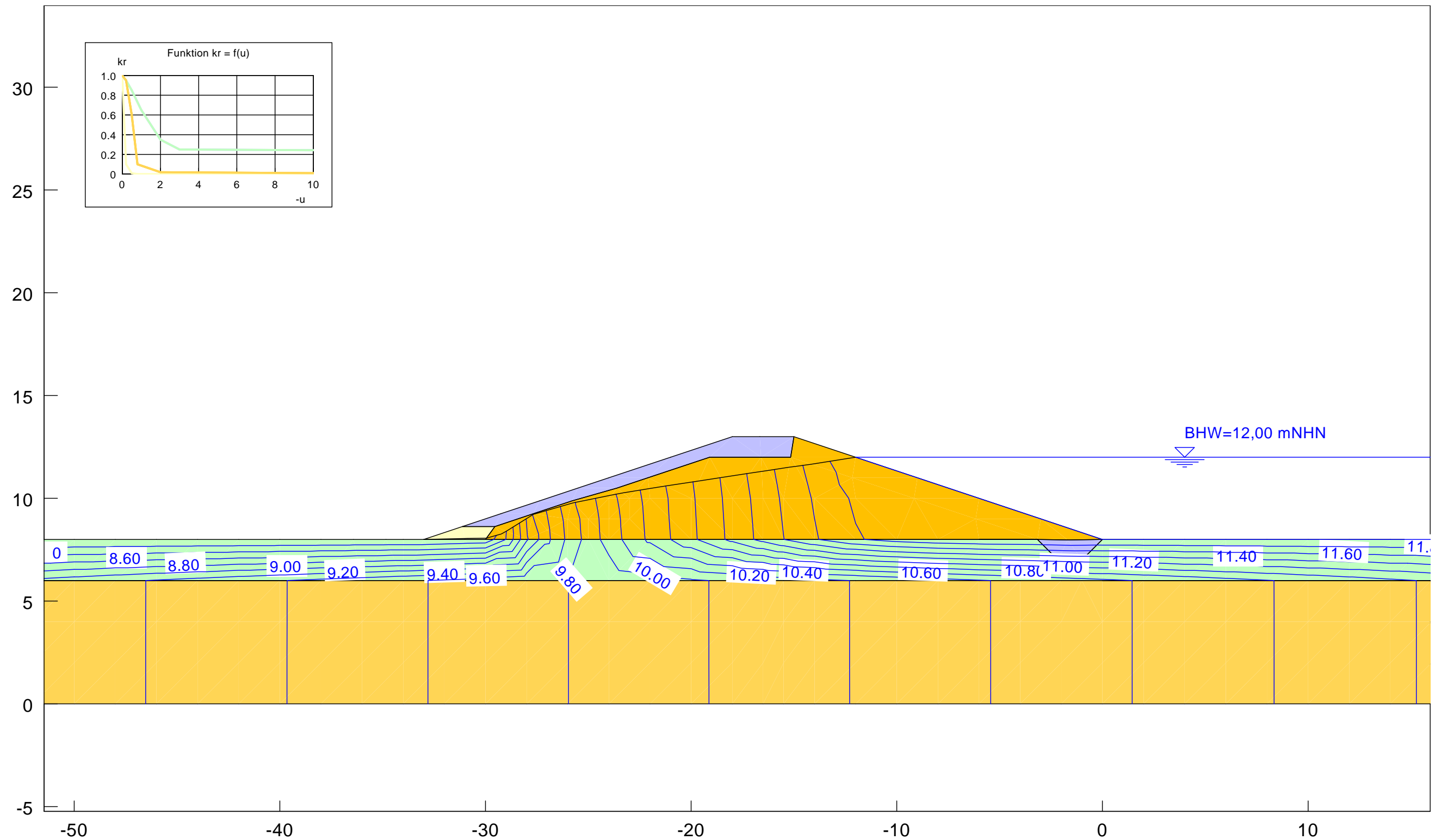


 <div>Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH Am Hafen 22 38112 Braunschweig Tel.: 0531 / 312895</div>		Artlenburger Deichverband Untersuchungen zum Eisversatz	
Gezeichnet:	Th	Lageplan	
Bearbeiter:	St		
Maßstab:	ohne		
Datum:	08.02.2019	Bericht Nr.: 10281.2/2019	Anlage Nr.: 1

Ist-Zustand
Linien gleicher Wasserstände
BS-P: Bemessungshochwasser

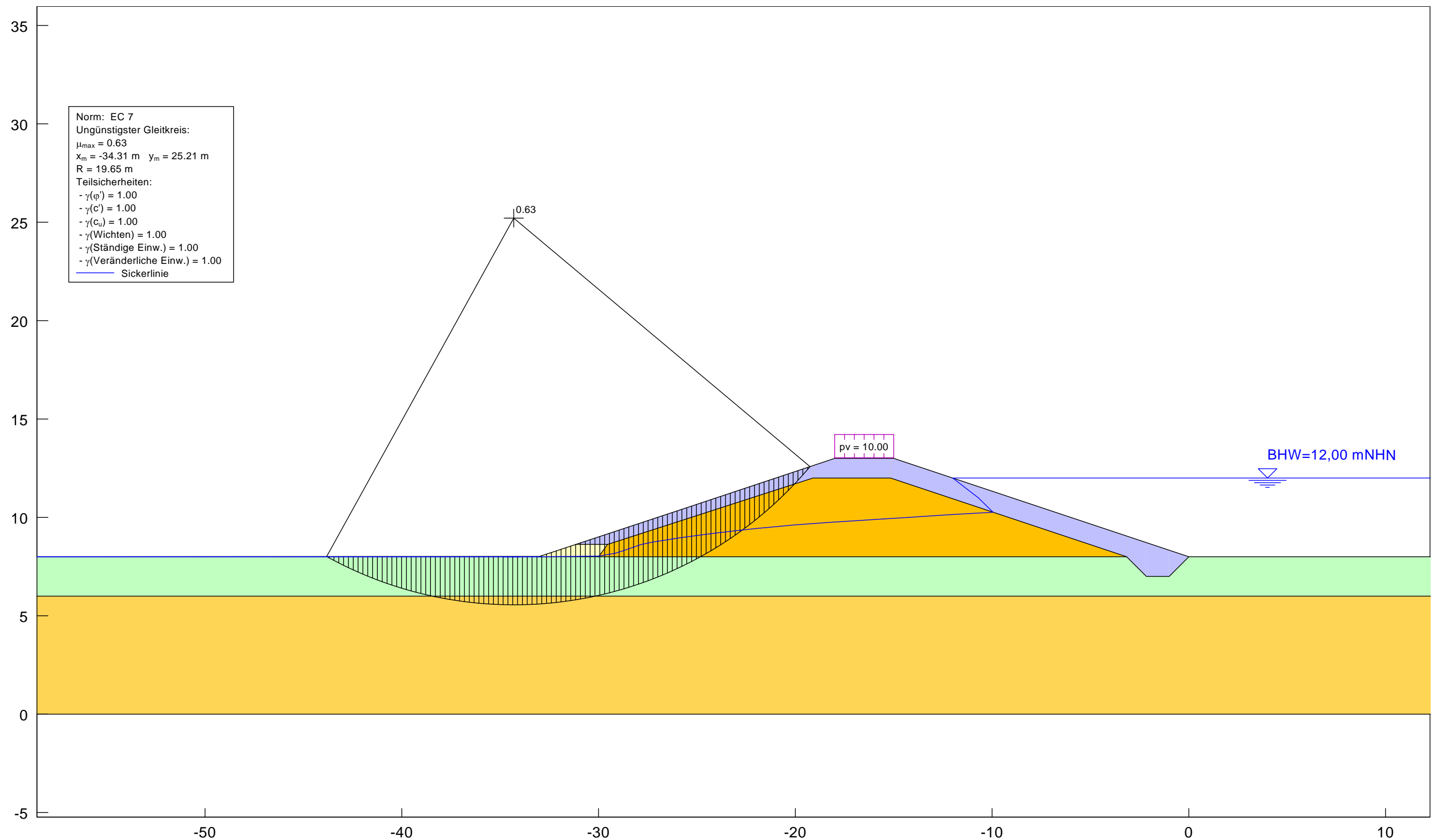


Ist-Zustand
Linien gleicher Wasserstände
BS-A: Ausfall Dichtung



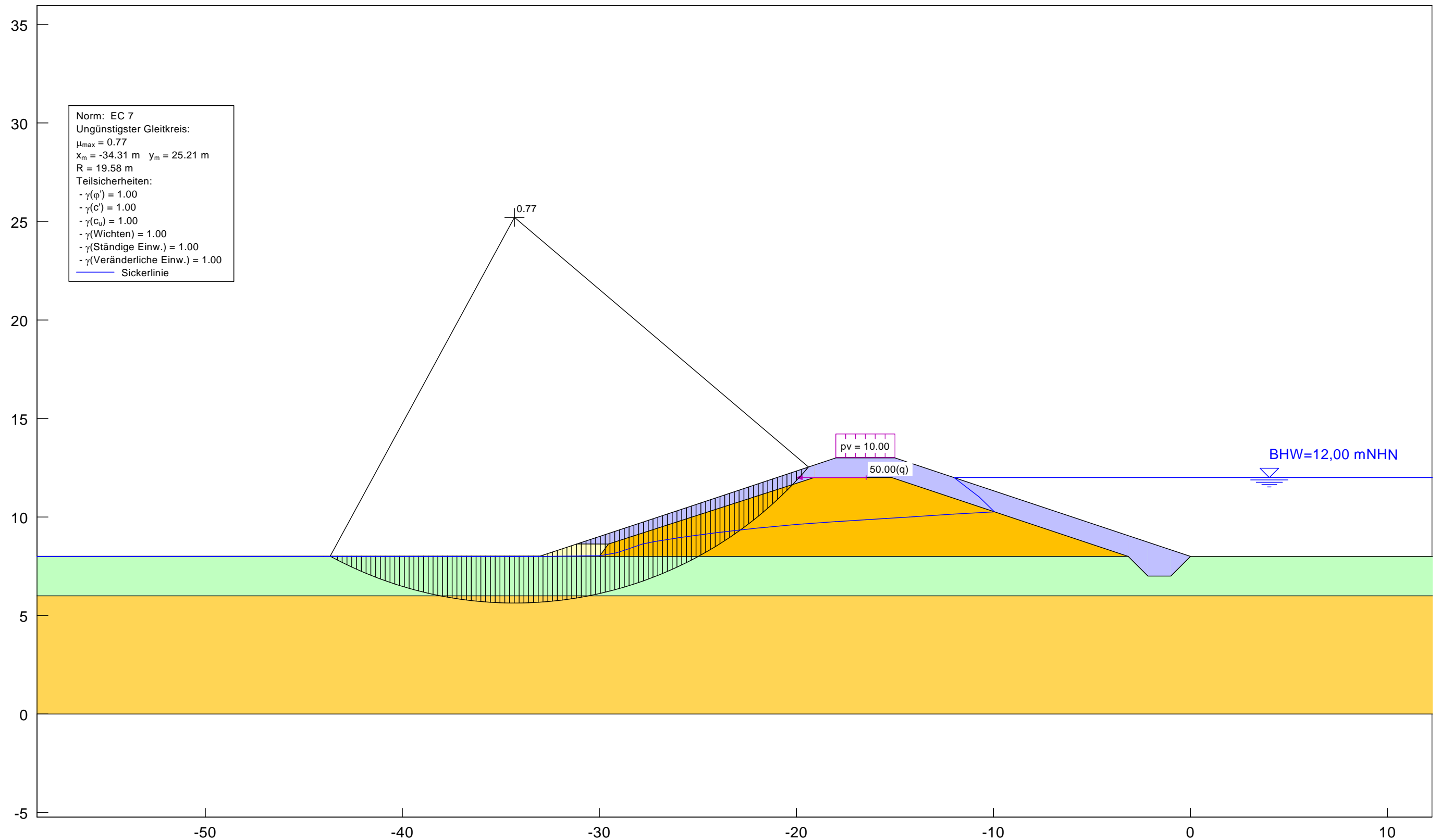
Ist-Zustand
Standicherheit
BS-P: Bemessungshochwasser
ohne Eislast

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



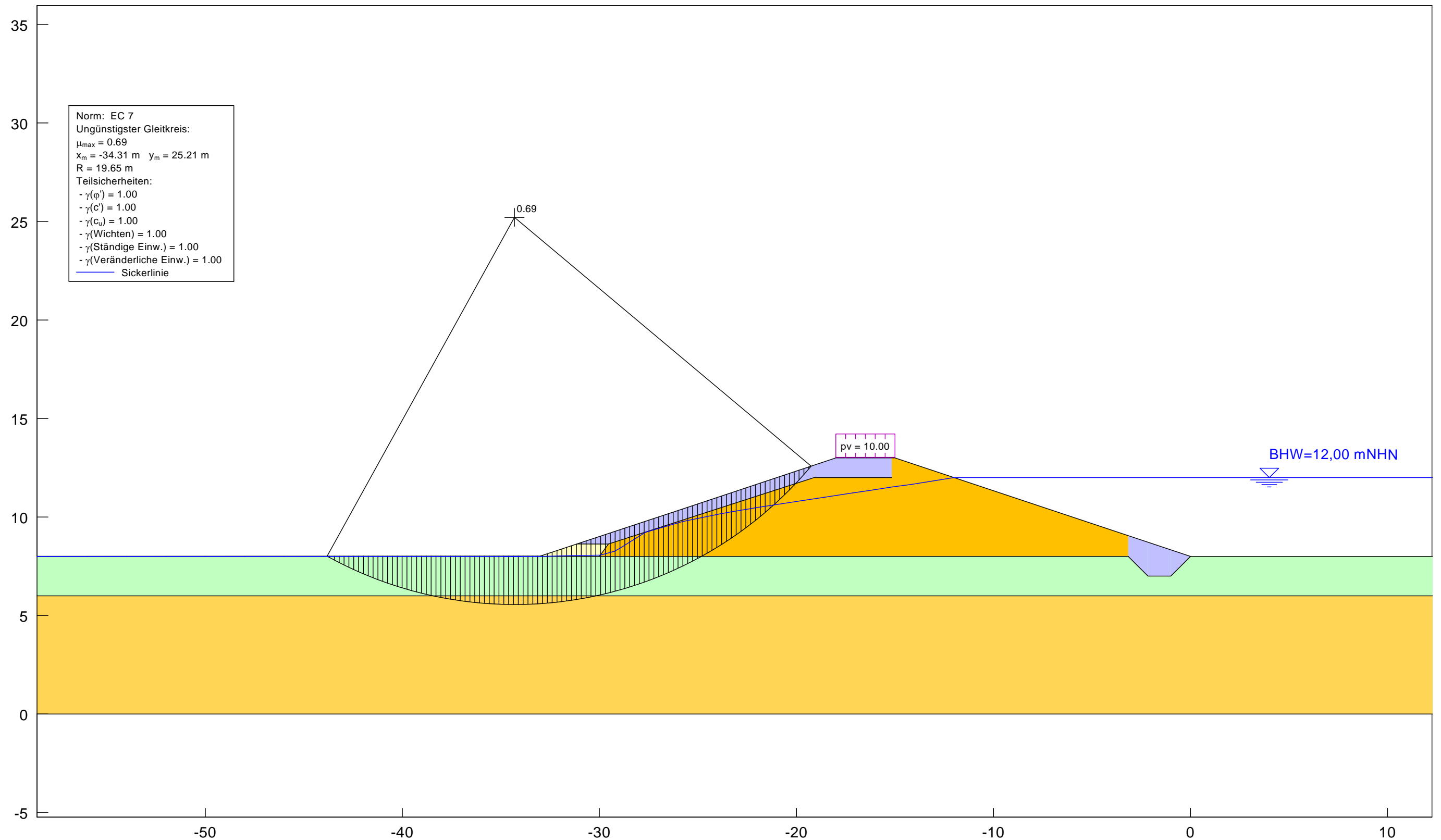
Ist-Zustand
Standicherheit
BS-P: Bemessungshochwasser
Eislastansatz: PE = 50 kN/m²

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



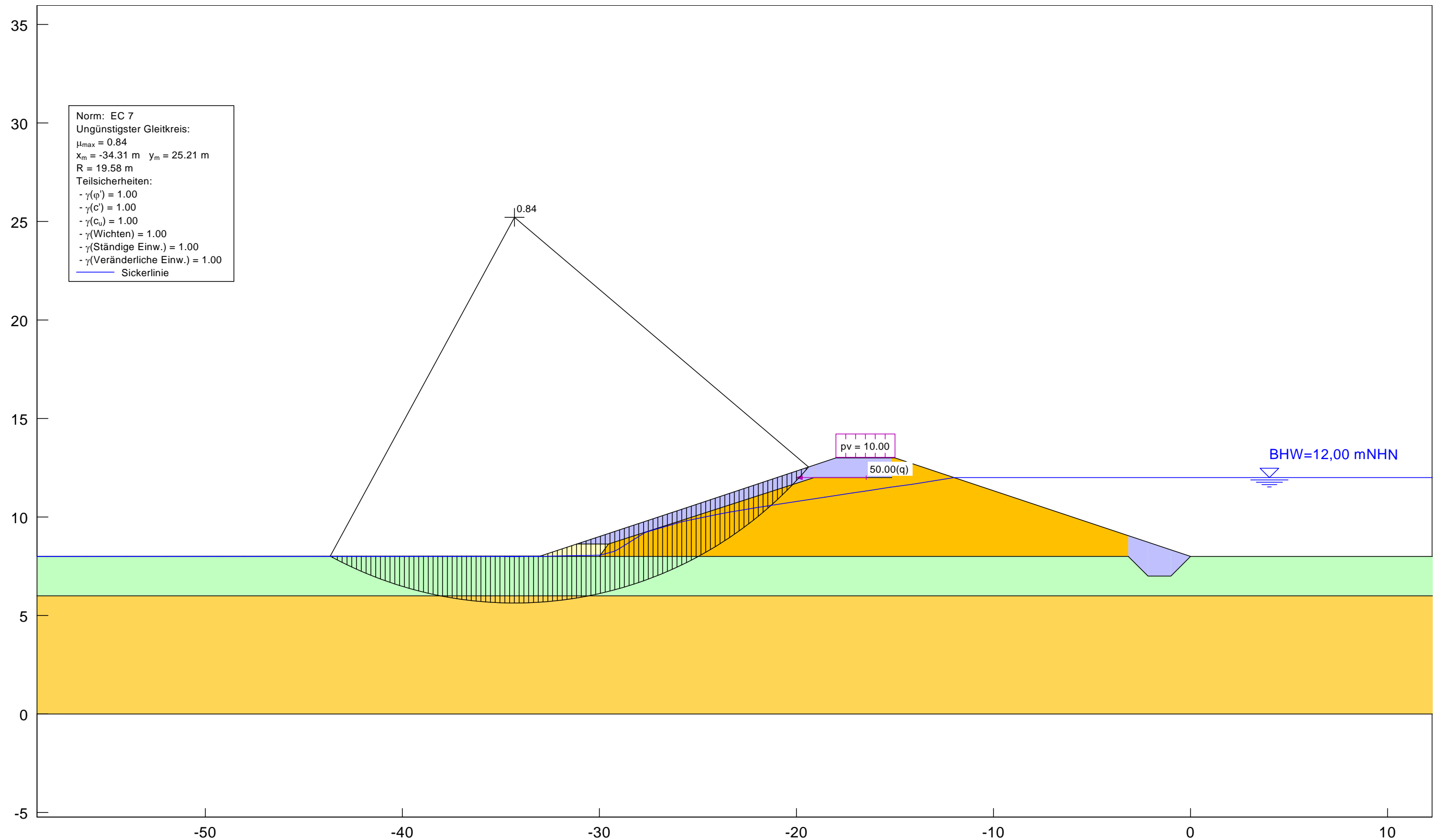
Ist-Zustand
Standicherheit
BS-A: Ausfall Dichtung
ohne Eislast

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



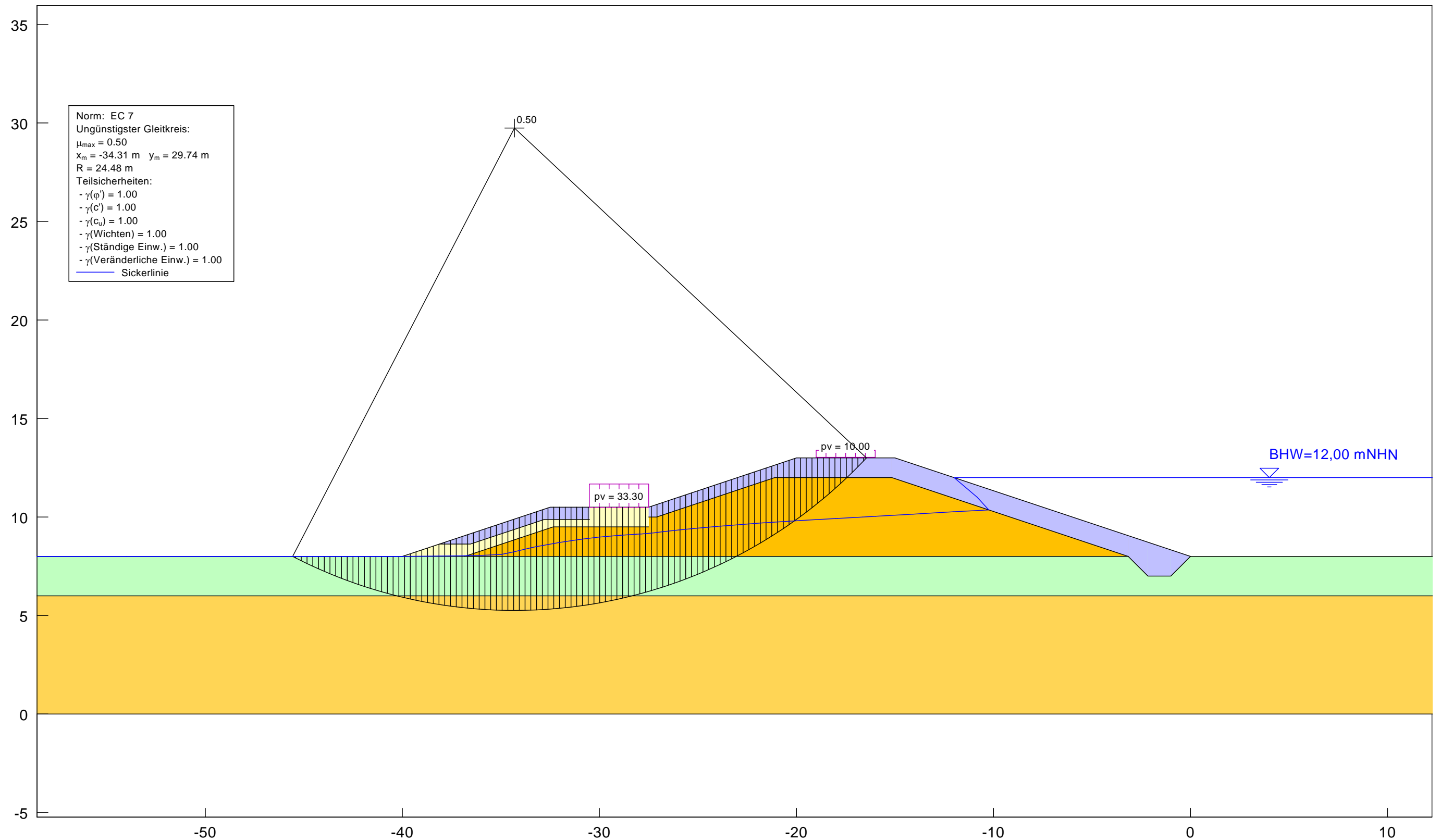
Ist-Zustand
Standicherheit
BS-A: Ausfall Dichtung
Eislastansatz: PE = 50 kN/m²

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



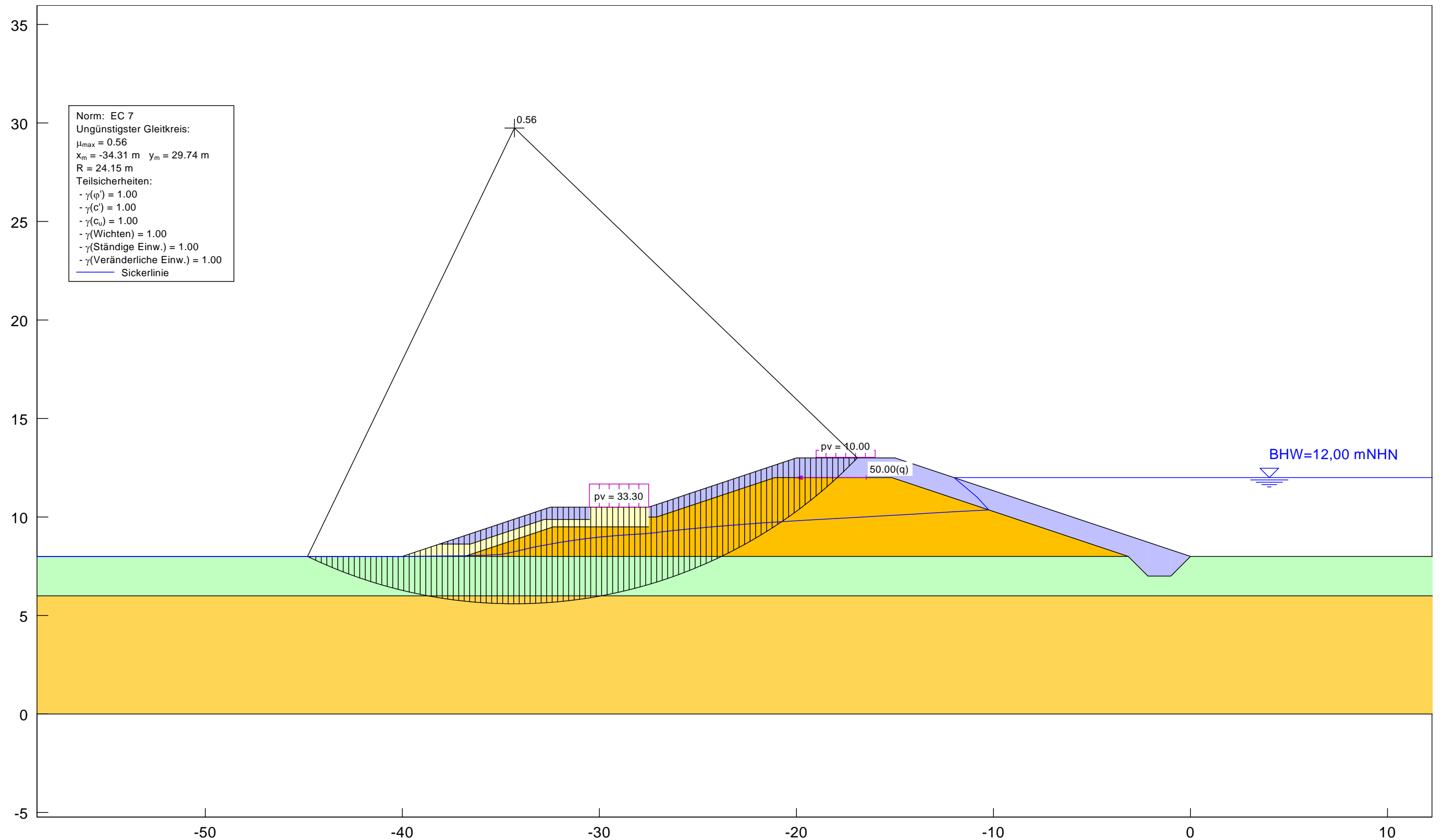
Regelquerschnitt
Standicherheit
BS-P "Bemessungshochwasser" ohne Eislast

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



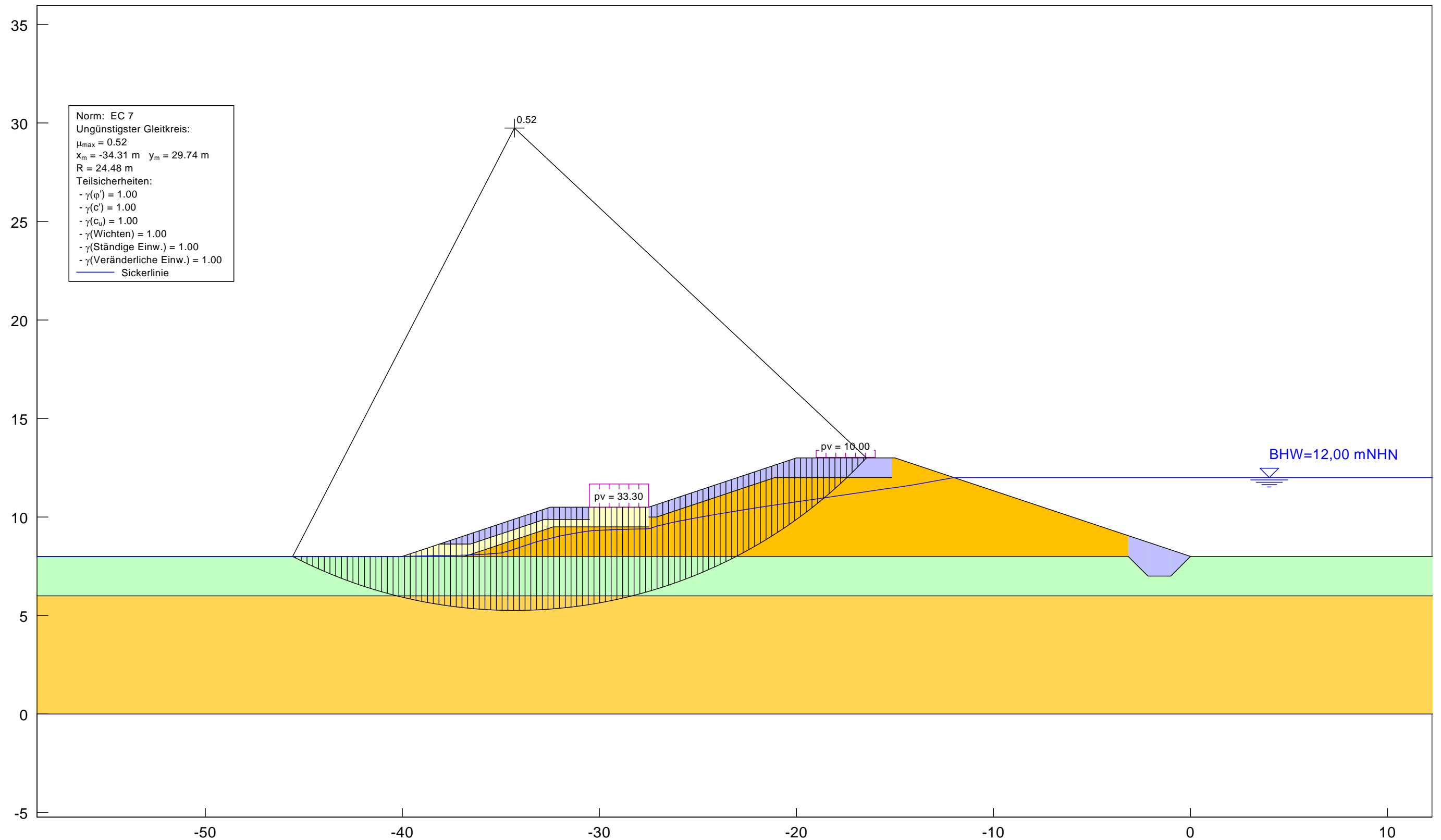
Regelquerschnitt
Standicherheit
BS-P.1: Bemessungshochwasser
Eislastansatz: PE = 50 kN/m

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



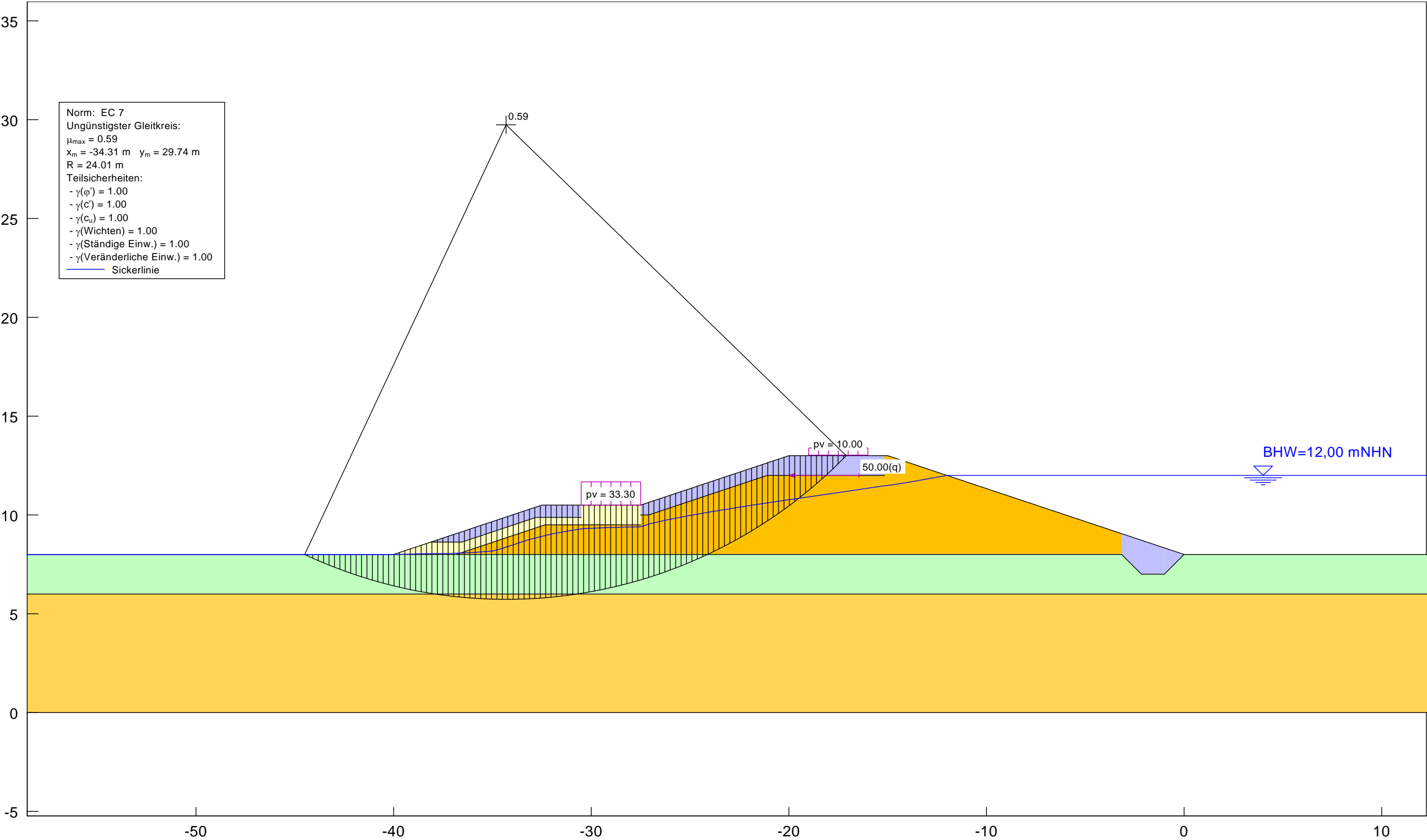
Regelquerschnitt
Standicherheit
BS-A "Ausfall Dichtung" ohne Eislast

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



Regelquerschnitt
 Standsicherheit
 BS-A: Ausfall Dichtung
 Eislastansatz: PE = 50 kN/m

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	18.00	Dichtung
	30.00	0.00	19.00	Stützkörper
	32.50	0.00	18.00	Drän
	27.50	5.00	18.00	Auelehm
	32.50	0.00	21.00	Sand



-50
 -40
 -30
 -20
 -10
 0
 10