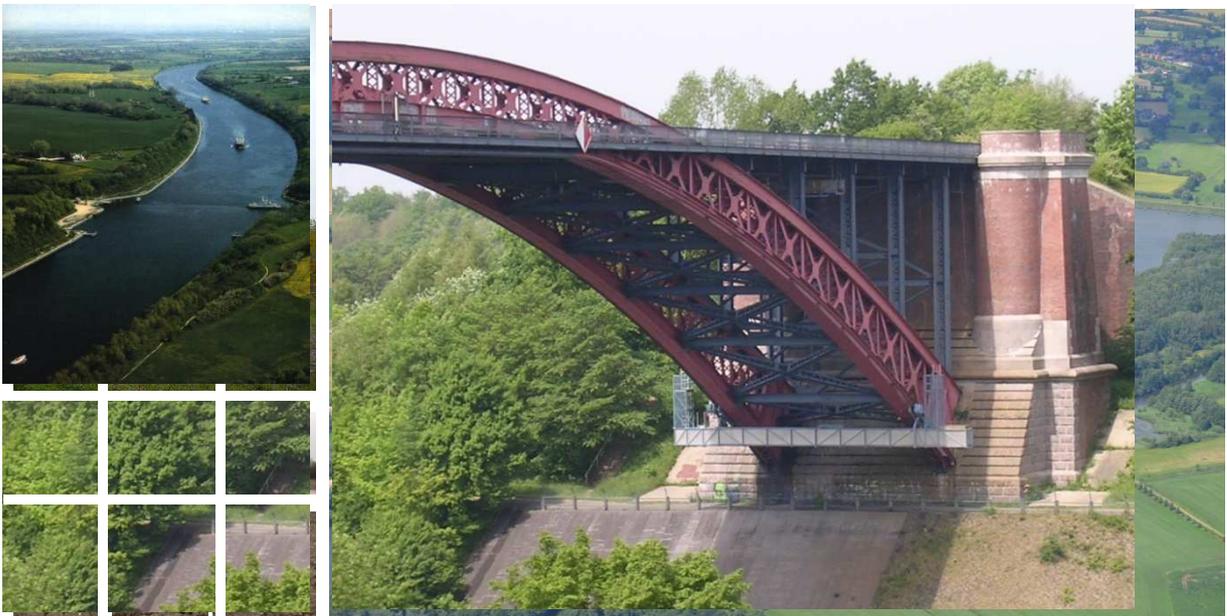


**Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau  
Schleuseninsel 2  
24159 Kiel**

**Aktenzeichen: 3114FBI 232.2HbLev/4401**

## **NOK, Ersatzbauwerk „Hochbrücke Levensau“**



### **Baustraße Nord / K24 - Abflachung der Dammböschung**

hier: Vermerk über den Nachweis der Gelände- und Böschungsbruchsicherheit (Endzustand)

Datum: 09.07.2019

## Inhaltsverzeichnis

	Seite	
<b>1</b>	<b>Veranlassung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Unterlagen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Baugrund und bodenmechanische Kenngrößen</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Bewertung der Gesamtstandsicherheit „Geesthänge“</b>	<b>7</b>
4.1	Allgemeines	7
4.2	Böschungsneigung 1:1,8 im Bereich mit pleistozäner Rampenbasis	7
4.3	Böschungsneigung 1:2,0 im Bereich mit pleistozäner Rampenbasis	8
4.4	Böschungsneigung 1:2,0 im Bereich mit holozänen Böden	9
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
	<b>Anlagen</b>	<b>12</b>

## 1 VERANLASSUNG

Um dem erhöhten Schiffsaufkommen und der Veränderung der Flottenstruktur gerecht zu werden, plant die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) den Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals (NOK). Im Zuge dieser Baumaßnahme wird auch die alte Levensauer Hochbrücke durch einen Neubau ersetzt.

Für die Neubaumaßnahme muss auf der Nordseite des Kanals eine BE-Fläche eingerichtet werden. Die Zuwegung zu dieser Fläche soll über eine neu zu erstellende Baustraße, die Baustraße Nord, sichergestellt werden.

Die Baustraße Nord soll dabei auf der westlichen Seite des nördlichen Rampenbauwerkes parallel der K24 (Landkreis Rendsburg-Eckernförde) verlaufen. Das nachfolgende Bild 1 zeigt die Lage und den Verlauf der geplanten Baustraße Nord im Bezug zur nördlichen BE-Fläche.

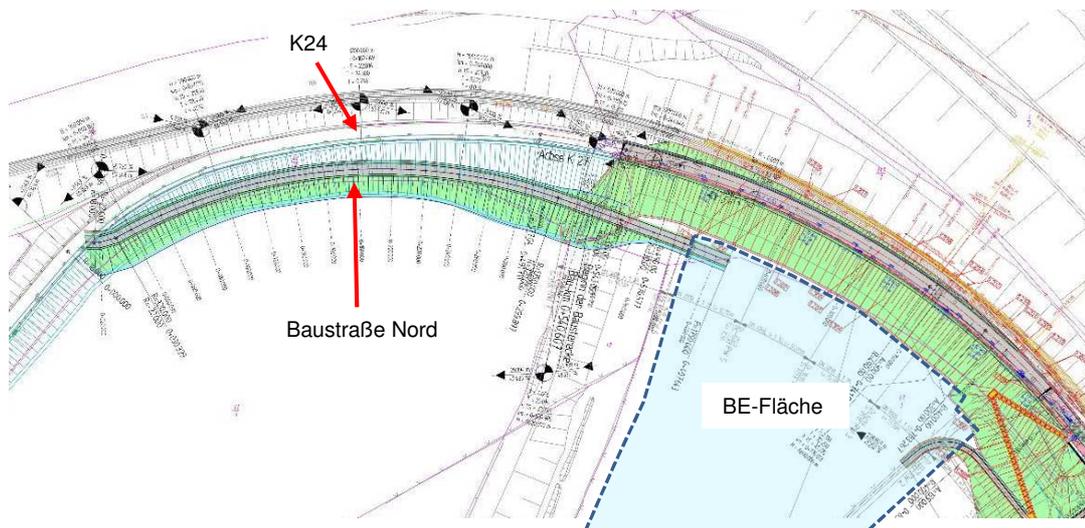
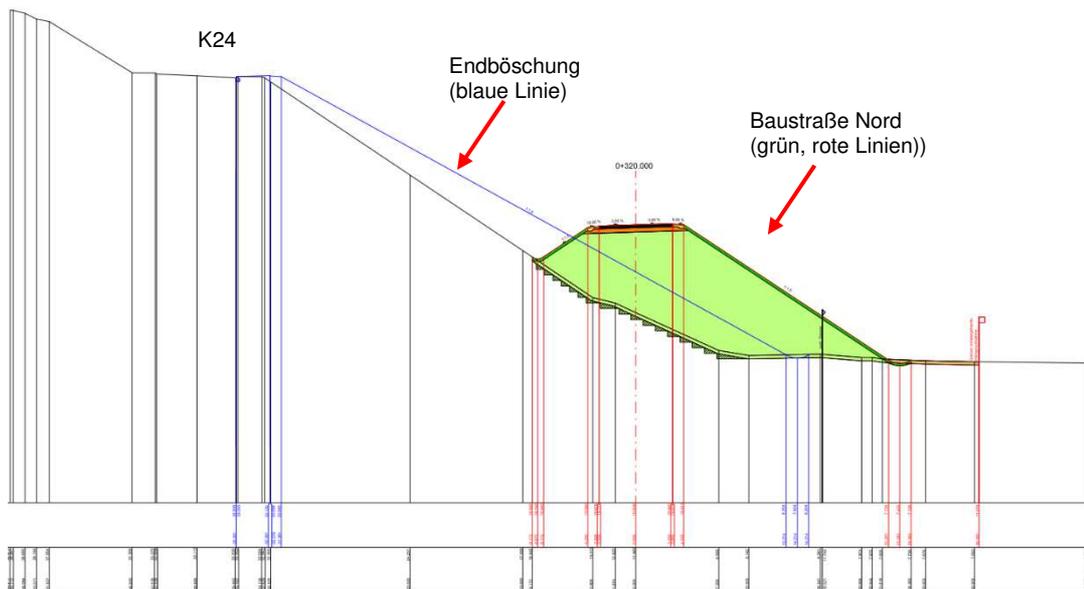


Bild 1: Lage der Baustraße Nord

(Quelle: eds-planung)

Für Neubau der Baustraße Nord ist ein neues Erdbauwerk, welches zum Teil in die vorhandene Rampe der K24 einschneiden soll, zu errichten. Die maximale Höhendifferenz zwischen der Baustraßenrampe und der Geländehöhe des Rampenfußes soll bis zu ~12,0 m betragen. Die Gradienten der K24 liegt dagegen bis zu ~13,0 m über dem Baustraßenniveau und somit bis zu ~25,0 m über dem angrenzenden Geländeniveau.

Das nachfolgende Bild 2 zeigt schematisch am Bau-km 0+320 das bestehende Rampenbauwerk der K24 und den geplanten neuen Erdkörper der Baustraße Nord. An dieser Station liegen die größten Höhendifferenzen vor.



*Bild 2: Querschnitt Baustraße Nord bei Bau-km 0+320 (Quelle: eds-planung)*

Für die Baustraße Nord liegen mit einem Geotechnischen Gutachten der Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH, Kiel, vom 30.01.2019 (vgl. Unterlage [U 1]) die entsprechenden Baugrundaufschlüsse, die bodenmechanischen Kenngrößen und erdstatische Nachweise vor.

Nach Fertigstellung der neuen Hochbrücke Levensau soll die Baustraße zurückgebaut werden.

Das Material soll hierbei nach einer Vereinbarung zwischen dem Kreis Rendsburg-Eckernförde und der WSV für das Abflachen der alten Rampenböschung, die mit einer Böschungsneigung von 1:1,5 ausgebildet wurde, verwendet werden. Mit dieser Maßnahme soll die Standsicherheit des Rampenbauwerkes der K24 nachhaltig verbessert werden.

Für die Planungen der Gesamtmaßnahme mit der Baustraße Nord und dem anschließenden Abflachen des alten Rampenbauwerkes ist die später herzustellende Böschungsneigung der K24 festzulegen und die entsprechenden erdstatischen Nachweise zu erbringen. In dem vorliegenden Vermerk werden die Randbedingungen für die Ermittlung der Böschungsneigung dargelegt und die Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen erläutert sowie die Böschungsneigung für den Endzustand des alten Dammbauwerkes festgelegt.

## 2 UNTERLAGEN

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen standen folgende Unterlagen vom Planungsstand und die ergänzenden Ergebnisse von Untersuchungen des Baugrundes zur Verfügung:

- [U 1] NOK, Ersatzbauwerk „Hochbrücke Levensau“ Baustraße Nord, Geotechnisches Gutachten inkl. orientierende Schadstoffuntersuchung, Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH, Datum: 30.01.2019,
- [U 2] Nord-Ostsee-Kanal, Ersatzbauwerk Hochbrücke Levensau, Dammbauwerke - Untersuchung der Standsicherheit, Zusammenfassender geotechnischer Bericht (Bearbeitungsstand: 22.01.2015 - Rev.01), IGB Ingenieurgesellschaft mbH, Datum: 22.01.2015,
- [U 3] Ersatzneubau der Hochbrücke Levensau, Nord-Ostsee-Kanal, NOK-km 93,491, Geotechnischer Bericht, BAW, Datum: 09.06.2009,
- [U 4] Kiel, Eckernförder Straße K27, Radweg Nordseite Levensauer Hochbrücke, Geotechnischer Bericht - Standsicherheitsuntersuchungen, IGB Ingenieurgesellschaft mbH, Datum: 11.08.2014,
- [U 5] K24, Sanierung und Verbreiterung des Radweges im Abschnitt 40, Darstellung der Profile, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Maßstab: 1:100, Datum: März 2015,
- [U 6] Ersatzneubau der alten Levensauer Hochbrücke, Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals Kkm 93,2 - 94,2, Verkehrsplanung Baustraße Damm-Nord Variante 2, Bauwerksverzeichnis – Bauwerksnummern Verkehrsanlagen, eds-planung beratende ingenieure GmbH, M. 1:1.000, Datum: 05.10.2015 und
- [U 7] Ersatzneubau der alten Levensauer Hochbrücke, Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals Kkm 93,2 - 94,2, Baustraße Nord, Querprofile Bau-km 0+050, Bau-km 0+100, Bau-km 0+200, Bau-km 0+300 und Bau-km 0+320, eds-planung beratende ingenieure GmbH, M. 1:100, Datum: 23.11.2018.

## 3 BAUGRUND UND BODENMECHANISCHE KENNGRÖßEN

Der anstehende Baugrund wurde durch mehrere Untersuchungskampagnen erkundet und untersucht. Von der Bearbeitung liegen entsprechende geotechnischen Gutachten und Berichte vor (vgl. Unterlagen [U 1] bis [U 5]).

Nach den Unterlagen wurde das nördliche Rampenbauwerk im Bereich der Baustraße Nord überwiegend mit schluffigen Sanden und gemischtkörnigen Böden aufgebaut. Die Auffüllungen reichen nach den Erkundungsergebnissen bis zum umliegenden Geländeniveau. Nach den Erkundungsergebnissen wurde das nördliche Rampenbauwerk auf dem Niveau des umliegenden Bestandsgeländes aufgebaut.

Die Lagerung der aufgefüllten Sande kann nach Auswertung der Drucksondierungen nur mit locker bis ansatzweise mitteldicht ( $q_c = 2$  bis  $8 \text{ MN/m}^2$ ) beschrieben werden. Die stark sandig ausgeprägten Schluffe, die nach ihrer Korngrößenzusammensetzung einem sandigen Geschiebemergel entsprechen, weisen eine steife Zustandsform auf und sind überwiegend im unteren Rampenkern vorzufinden. Aus den vorliegenden Untergrundaufschlüssen lässt sich aber keine eindeutige Baugrundsichtung ableiten.

Unterhalb der Rampenbasis folgen überwiegend eiszeitliche Böden in Form von Geschiebelehm, Geschiebemergel, Beckenschluffe und Sande. Nur im Bereich des Flusslaufes der alten Levensau sind teilkonsolidierte organische Weichschichten vorzufinden (vgl. Unterlage [U 1] und [U 2]).

Weitere Einzelheiten zum Baugrundaufbau können den Unterlagen [U 1] bis [U 5] entnommen werden.

In der Unterlage [U 1] werden für den zu betrachtenden Planungsabschnitt die bodenmechanischen Kenngrößen festgelegt. Vorrangig ist in der Unterlage die Bewertung der Böden im Rampenbauwerk für die Standsicherheitsberechnungen von Bedeutung. Diese Bewertung wurde für die vorliegenden Standsicherheitsberechnungen übernommen. Nachfolgend wird hierzu nochmals die entsprechende Erläuterung abgebildet:

„Die Baugrundsichtung im Bereich des Straßendamms variiert stark, sodass hier auf die Eingabe einzelner Schichten verzichtet wurde. Da die anstehenden aufgefüllten Sande mit bindigen Lagen sowie die aufgefüllten bindigen Böden mit Sandlagen durchzogen sind, werden in den Berechnungen für die Auffüllung, auf der sicheren Seite liegend, folgende Bodenkennwerte angesetzt.“ (Quelle: Unterlage [U 1])

Tabelle 1: Bodenkennwerte Auffüllung vorhandener Straßendamm für erdstatische Berechnungen (Quelle: Unterlage [U 1])

Bodenart	$\gamma$ , [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ , [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'k$ , [°]	$c'k$ , [kN/m <sup>2</sup> ]
Auffüllung, Straßendamm	19,0	9,0	27,5	0,0

Die genannten Bodenkennwerte für die Auffüllung des Straßendamms können im Vergleich zu den in anderen Geotechnischen Berichten genannten Werten als konservativ angesehen werden und liegen somit deutlich auf der sicheren Seite.

Die weiteren Bodenkennwerte für die erdstatischen Berechnungen wurden aus der Unterlage [U 1] übernommen.

## **4 BEWERTUNG DER GESAMTSTANDSICHERHEIT „GEESTHÄNGE“**

### **4.1 Allgemeines**

Für die Ermittlung der notwendigen Böschungsneigung des nördlichen Rampenbauwerkes der K24 wurden Gelände- und Böschungsbruchberechnungen gemäß der DIN EN 1997-1<sup>1</sup> und DIN 4084<sup>2</sup> durchgeführt. Hierzu wurde das EDV-Programm „GGU-STABILITY“<sup>3</sup> genutzt. In dem Programm sind die Berechnungsvorgaben der oben genannten Normen implementiert.

Die Nachweise der Gesamtstandsicherheit wurden gemäß dem EC7 (GEO) für die Bemessungssituation BS-P (Permanent - Endzustand) durchgeführt. Der so ermittelte Ausnutzungsgrad spiegelt die vorliegende Sicherheit, bezogen auf die Bemessungssituation, wieder. Der Ausnutzungsgrad gibt für das System aber keine Aussage über die Restsicherheit.

Für die Ermittlung der Böschungsneigung wurden die bodenmechanisch ungünstigsten Geländeprofile ausgewählt. Diese Profile liegen im Bereich des Bau-km 0+300 bis Bau-km 0+320. Hier liegt ein maximaler Geländesprung von ~25,0 m vor (siehe Unterlage [U 7]).

Die Bodenschichtung in den Berechnungsprofilen wurde aus den Ergebnissen der vorliegenden Untergrundaufschlüssen interpoliert.

Bei den angesetzten charakteristischen Werten der geotechnischen Kenngrößen wurden bei allen Berechnungen die in den Unterlagen ungünstigsten Angaben verwendet (siehe hierzu [U 1], Gutachten BIG vom 30.01.2019). Die für die Gesamtstandsicherheit verbessernden Effekte, wie fortschreitende Konsolidierung von organischen Böden, Ansätze einer scheinbaren Kohäsion, Einfluss von Bewuchs der Böschung etc. wurden in den Berechnungsmodellen nicht beachtet und sind als weitere Sicherheiten für die Gesamtstandsicherheit der Rampenböschung anzusehen.

Das Rampenbauwerk wurde mit den entsprechenden Verkehrslasten für die K24 beaufschlagt.

Alle Eingaben der Berechnungsmodelle können den als Anlage 1 bis 3 beiliegenden grafischen Darstellungen der Berechnungen der Böschungssicherheit eingesehen werden.

### **4.2 Böschungsneigung 1:1,8 im Bereich mit pleistozäner Rampenbasis**

Zunächst wurde die Gesamtstandsicherheit eines Geländeprofiles mit einer Böschungsneigung 1:1,8 untersucht. Die Bodenschichtung des Rampenbauwerkes wurde hierzu in Anlehnung an die Unterlagen [U 1] bis [U 4] schematisch entwickelt. Aufgrund der kleinräumigen Ausdehnung kann zunächst auf die im Bereich des

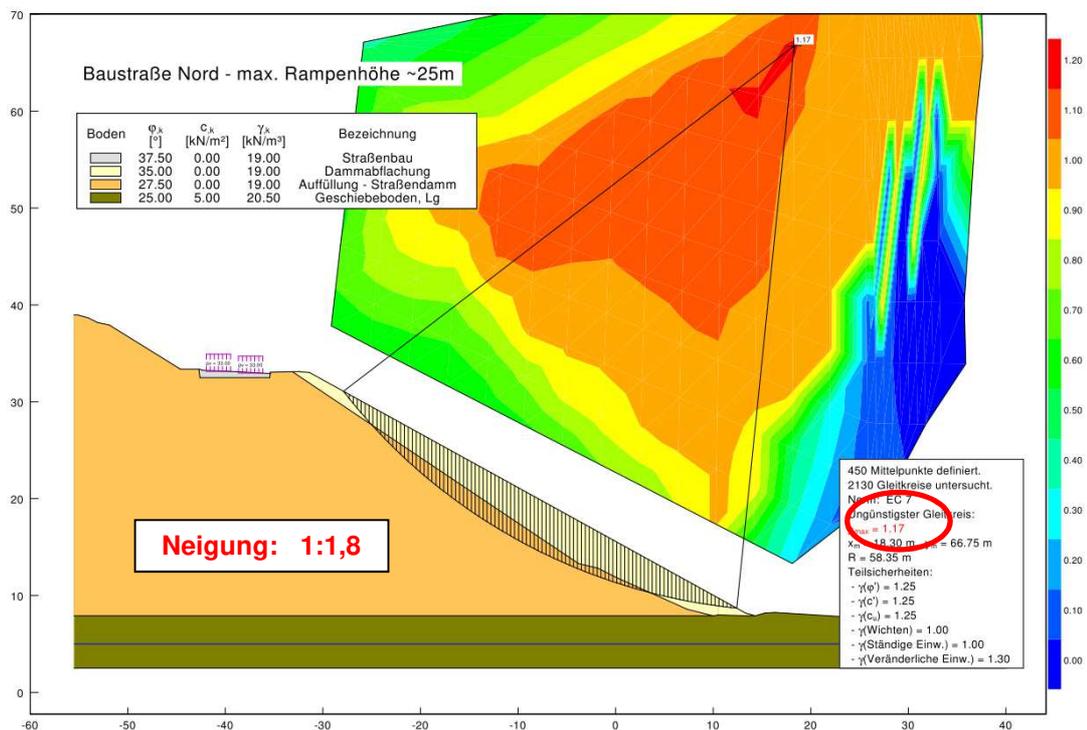
---

<sup>1</sup> DIN EN 1997-1:2009-09 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln  
<sup>2</sup> DIN 4084:2009-01 - Baugrund - Geländebruchberechnungen  
<sup>3</sup> GGU – Programmreihe des Software-Unternehmens Civilserve GmbH, Braunschweig

Flusslaufes der Alten Levensau festgestellten organischen Schichten verzichtet werden.

Wie der Berechnungslauf zeigt, kann aufgrund der ungünstigen charakteristischen Werten der geotechnischen Kenngrößen die notwendige Standsicherheit des Erdbauwerkes für den Endzustand nicht nachgewiesen werden. Der ermittelte Ausnutzungsgrad liegt mit  $\mu = 1,17$  deutlich über den maximal zulässigen Wert von  $\mu = 1,0$ .

Das nachfolgende Bild 3 zeigt zur Übersicht das Berechnungsergebnis. Detailliert kann dieses auf Anlage 1 eingesehen werden.



**Bild 3:** Standsicherheitsberechnung für eine max. Rampenhöhe von ~25m; Neigung 1:1,8

Das Berechnungsergebnis lässt eine Umsetzung einer Böschungsneigung von 1:1,8 mit der vorliegenden Datenlage nicht zu. Für die Realisierung der geforderten Standsicherheiten wird als wirtschaftliche Lösung ein Abflachen der Böschung weiter verfolgt.

### 4.3 Böschungsneigung 1:2,0 im Bereich mit pleistozäner Rampenbasis

Als Schlussfolgerung der oben beschriebenen Berechnungen wurde für das ~25 m hohe Rampenbauwerk ein zweiter Rechendurchlauf mit einer Böschungsneigung von 1:2,0 durchgeführt.

Der Berechnungslauf weist für das Rampenbauwerk einen Ausnutzungsgrad von  $\mu = 1,00$  nach und erfüllt somit die aktuellen Forderungen für die Gesamtstandsicherheit bei der Bemessungssituation BS-P.

Das nachfolgende Bild 4 zeigt zur Übersicht das Berechnungsergebnis. Detailliert kann dieses auf Anlage 2 eingesehen werden.

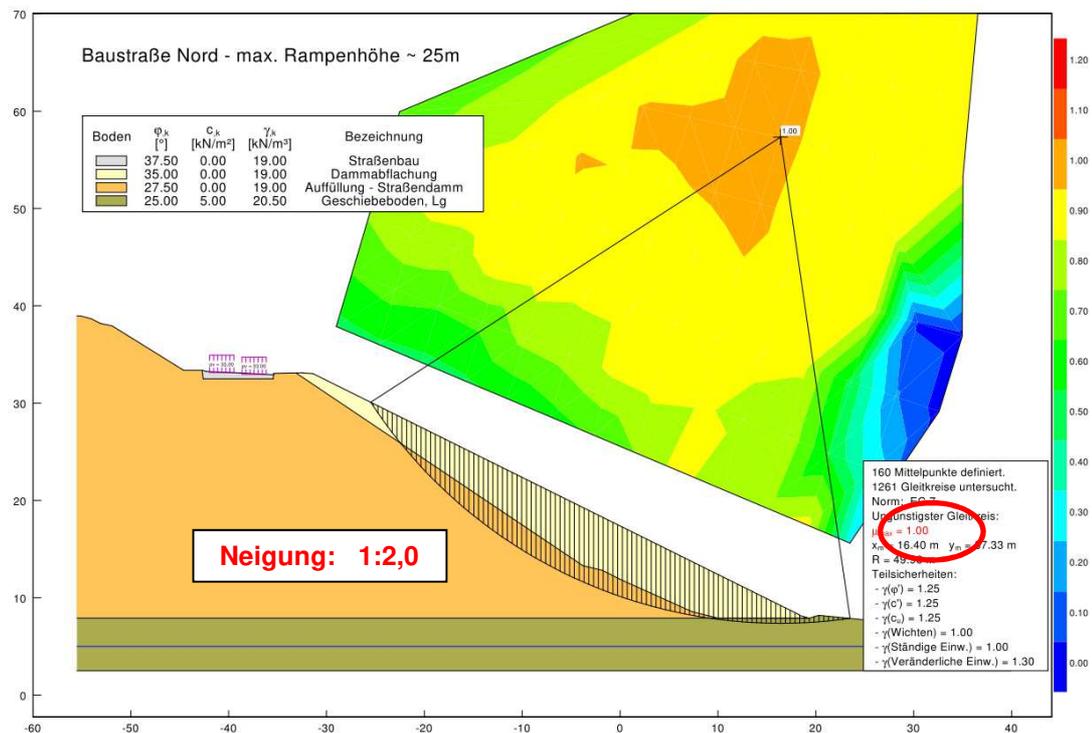


Bild 4: Standsicherheitsberechnung für eine max. Rampenhöhe von ~25m; Neigung 1:2,0

Wenn das vorliegende Berechnungsergebnis auch im oberen noch zulässigen Grenzbereich für die Gesamtstandsicherheit liegt, ist hier aber nochmals darauf zu verweisen, dass das Berechnungsmodell und die charakteristischen Werten der geotechnischen Kenngrößen konservativ, deutlich auf der sicheren Seite angesetzt wurden.

Bei einer Verringerung der Böschungshöhe ist zum Teil mit deutlichen Verbesserung der Gesamtstandsicherheit zu rechnen. Für eine ausführungssichere Umsetzung der Baumaßnahme wird aber von einer durchgängigen Ausführung einer Böschungsneigung von 1:2,0 ausgegangen.

#### 4.4 Böschungsneigung 1:2,0 im Bereich mit holozänen Böden

Im Bereich des Flussbettes der alten Levensau, ca. Bau-km 0+320, wurden im Rahmen der Baugrunderkundung holozäne Böden in Form von nicht- bis teilkonsolidierten Torfen nachgewiesen. Aufgrund der geringen Größen der Scherparameter können diese Böden die Gesamtstandsicherheit des Rampenbauwerkes beeinflussen.

Zur Überprüfung der Gesamtstandsicherheit wurde das Berechnungsmodell um die Torfschicht ergänzt. Die charakteristischen Werte der geotechnischen Kenngrößen für den Torf wurden der Unterlage [U 1] entnommen.

Die ersten Berechnungsläufe zeigten, dass bei einem direkten Aufbau des neuen Erdkörpers auf dem Urgelände die maßgebenden Gleitkreise durch die im Fußbereich anstehenden Torfe verliefen. Es konnte mit  $\mu > 1,00$  keine ausreichende Sicherheit für die Verbreiterung der Rampe nachgewiesen werden.

Für die Realisierung einer ausreichenden Gesamtstandsicherheit wurde am Böschungsfuß durch Bodenaustausch ein sogenannter Reibungsfuß aufgebaut. Hierbei wurde der Torf durch einen zu verdichtenden Kiessand ausgetauscht. In den Berechnungen wurde dies zur Optimierung in 1,0 m breiten Schritten ausgeführt. Letztlich muss der Reibungsfuß in dem Torfbereich ab vorhandenem Böschungsfuß über die gesamte Fläche der Verbreiterung ausgeführt werden. Erst mit dem Ansatz eines vollständigen Bodenaustausches konnte für die Bemessungssituation BS-P ein Ausnutzungsgrad von  $\mu = 1,00$  ermittelt werden.

Das nachfolgende Bild 5 zeigt zur Übersicht den aufgebauten Reibungsfuß und das Berechnungsergebnis. Detailliert kann dieses auf Anlage 3 eingesehen werden.

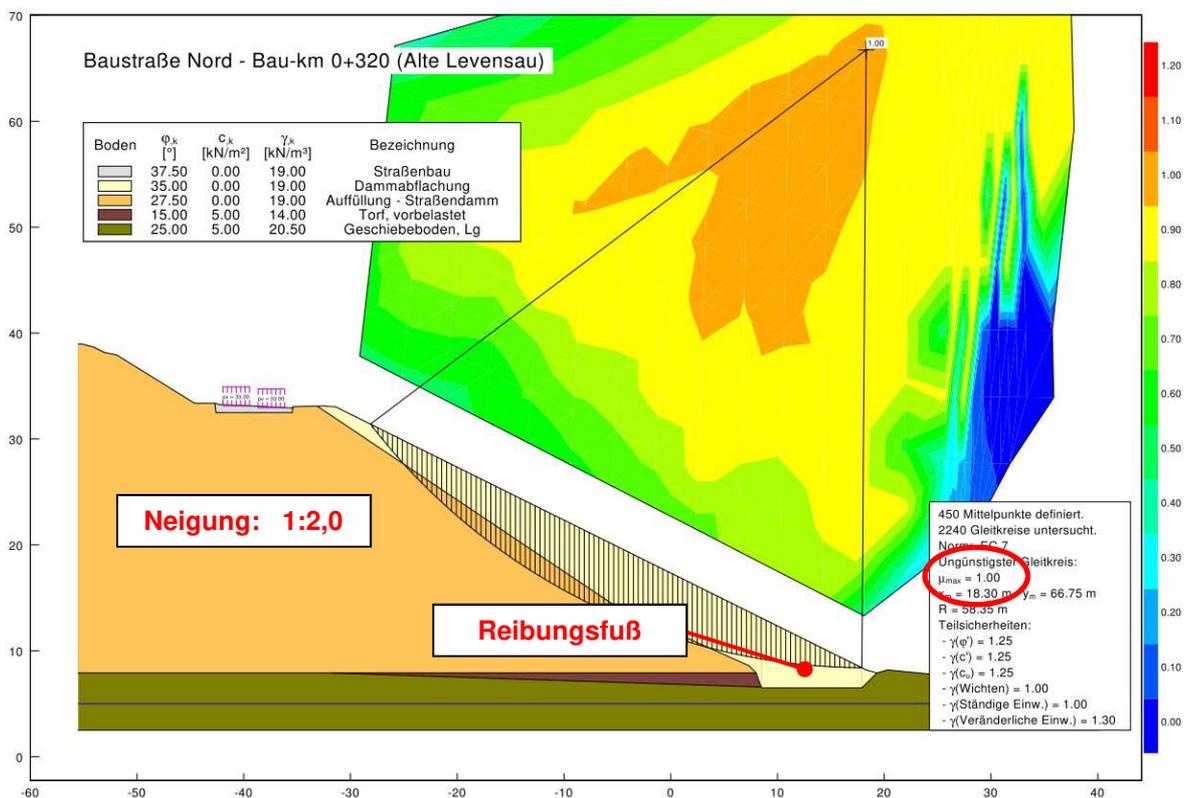


Bild 5: Standsicherheitsberechnung für eine max. Rampenhöhe von ~25m; Neigung 1:2,0 mit Reibungsfuß

Nach den Berechnungen muss dieser Reibungsfuß bereits im Rahmen des Aufbaus der Baustraße hergestellt werden. Das bedeutet, für die Gründung der Baustraße ist ein Austausch des Torfes mit Kiessand durchzuführen. Nach den Erkundungsergebnissen sollte hier von einem Streifen von ca. 25 m und einer mittleren Tiefe von 3,5 m ausgegangen werden.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Erneuerung der Levensauer Hochbrücke ist auf der Nordseite des Kanals die Errichtung einer BE-Fläche vorgesehen. Für die Zufahrt zur BE-Fläche soll parallel zur vorhandenen Straßenrampe der K24 eine Baustraße als Dammbauwerk errichtet werden.

Das Bodenmaterial der Baustraße soll nach Abschluss der Arbeiten für das Abflachen des alten Rampenbauwerkes genutzt werden. In dem vorhandenen Vermerk werden für den Endzustand ausschließlich die Böschungsbruchberechnungen erläutert und dargelegt. Weitere Fragestellungen sind den vorliegenden geotechnischen Berichten zu entnehmen.

Nach den vorliegenden Berechnungen ist der Straßendamm durchgängig mit einer Böschungsneigung

**1:2,0**

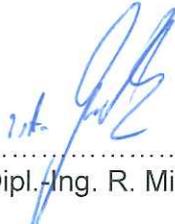
herzustellen.

Im Bereich mit holozänen Böden (Flussbett der alten Levensau, Bau-km 0+320) ist im Rahmen der Gründungsarbeiten zusätzlich ein Austausch der hier anstehenden Torfe mit einem hoch zu verdichteten Kiessandgemisch durchzuführen.

Mit den beschriebenen Maßnahmen kann für die zukünftige Böschung die Gesamtstandsicherheit mit  $\mu = 1,0$  für die Bemessungssituation BS-P nachgewiesen werden. Aufgrund der konservativen Ansätze in den Berechnungen liegen die Ergebnisse auf der sicheren Seite.

Für die Planung und Umsetzung der Erdbaumaßnahmen wird auf die Hinweise in den bereits vorliegenden Gutachten und die ZTV E-StB 17 verwiesen.

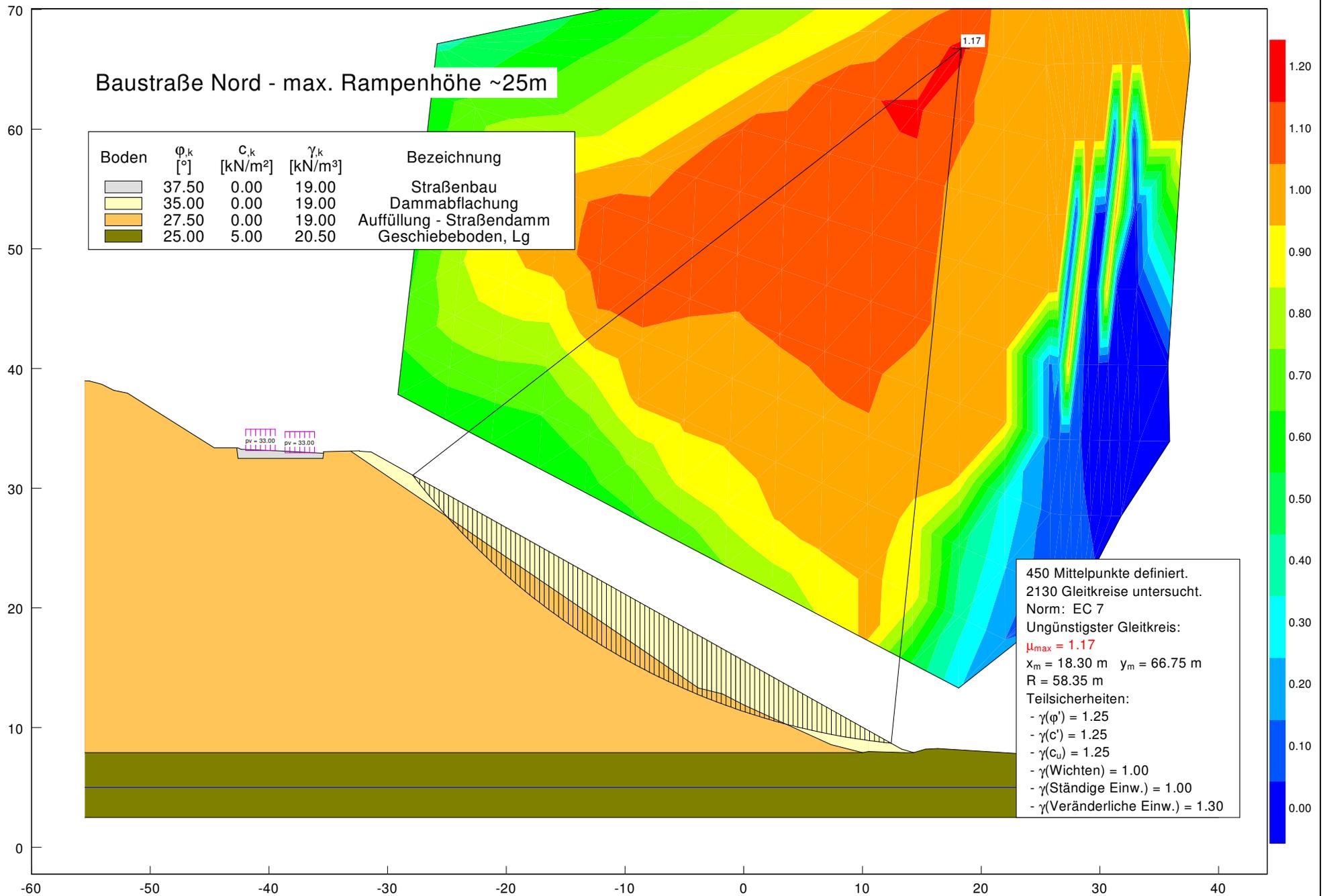
09. Juli 2019  
Datum



.....  
Dipl.-Ing. R. Michak, Q6-1

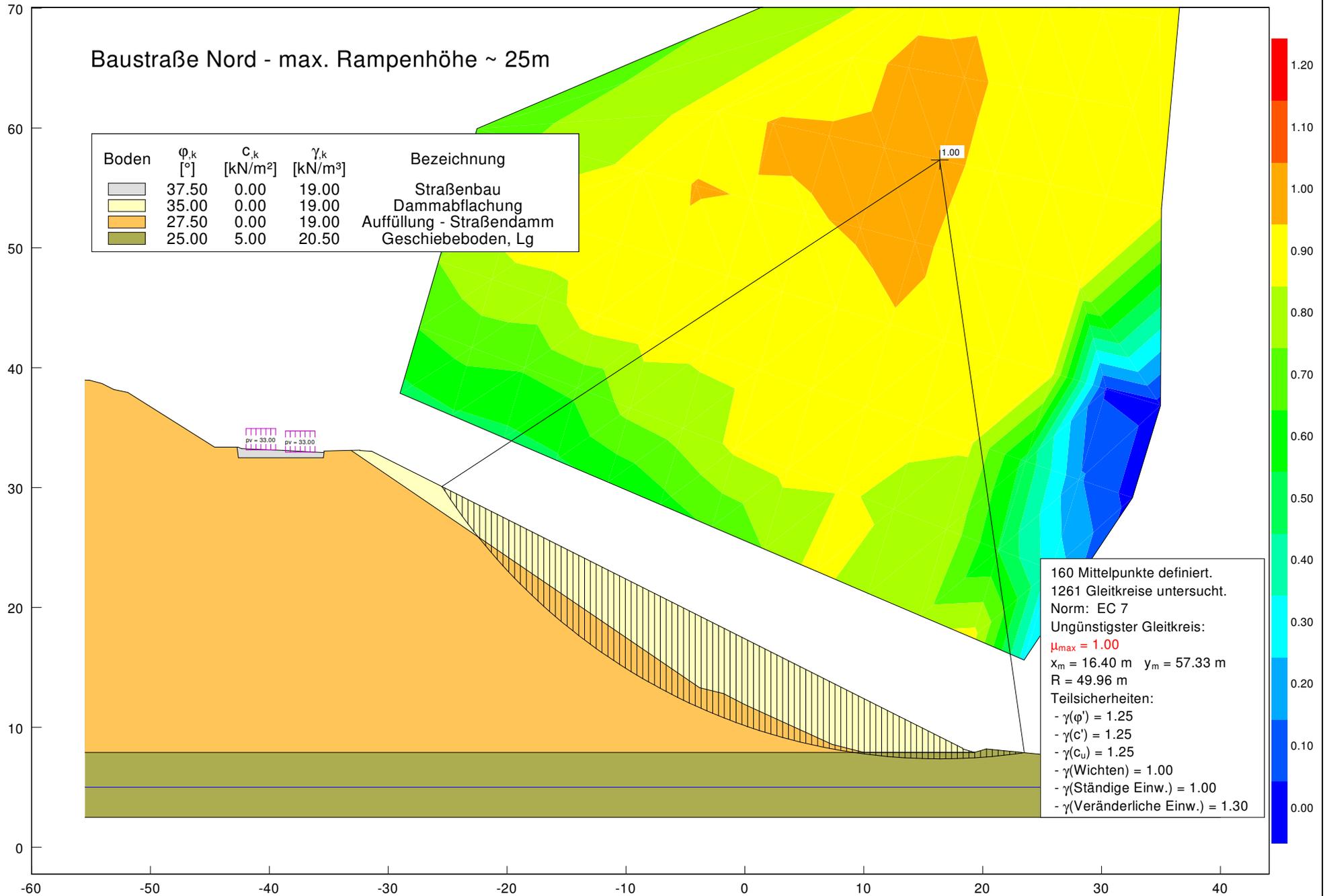
## **ANLAGEN**

- |          |  |
|----------|--|
| Anlage 1 | Gesamtstandsicherheit einer Böschung mit $h = 25$ m und 1:1,8              |
| Anlage 2 | Gesamtstandsicherheit einer Böschung mit $h = 25$ m und 1:2,0              |
| Anlage 3 | Gesamtstandsicherheit einer Böschung mit $h = 25$ m, 1:2,0 und Reibungsfuß |



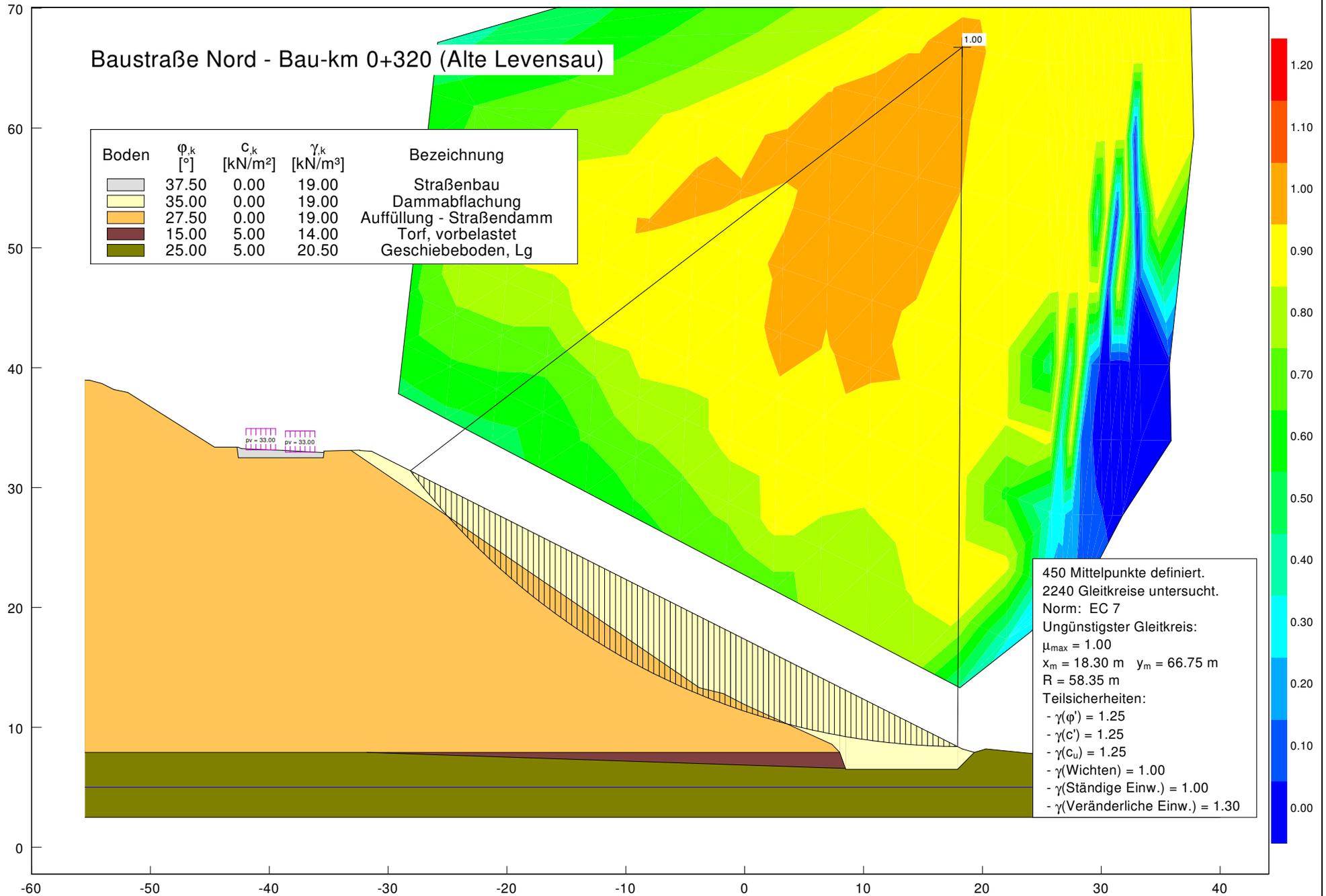
Baustraße Nord - max. Rampenhöhe ~ 25m

Boden	$\phi_{,k}$ [°]	$c_{,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_{,k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
■	37.50	0.00	19.00	Straßenbau
■	35.00	0.00	19.00	Dammabflachung
■	27.50	0.00	19.00	Auffüllung - Straßendamm
■	25.00	5.00	20.50	Geschiebeboden, Lg



Baustraße Nord - Bau-km 0+320 (Alte Levensau)

Boden	$\varphi_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Bezeichnung
	37.50	0.00	19.00	Straßenbau
	35.00	0.00	19.00	Dammabflachung
	27.50	0.00	19.00	Auffüllung - Straßendamm
	15.00	5.00	14.00	Torf, vorbelastet
	25.00	5.00	20.50	Geschiebeboden, Lg



450 Mittelpunkte definiert.  
2240 Gleitkreise untersucht.  
Norm: EC 7  
Ungünstigster Gleitkreis:  
 $\mu_{max} = 1.00$   
 $x_m = 18.30 \text{ m}$   $y_m = 66.75 \text{ m}$   
 $R = 58.35 \text{ m}$   
Teilsicherheiten:  
-  $\gamma(\varphi') = 1.25$   
-  $\gamma(c') = 1.25$   
-  $\gamma(c_u) = 1.25$   
-  $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$   
-  $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$