

Amt für Grünordnung, Naturschutz und  
Friedhofswesen, Augsburg

## **Herrenbach Augsburg**

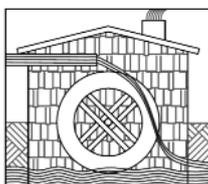
**Bereich**

**Heinestraße bis Reichenberger Straße**

# **Mindestabmessungen eines Erdkörpers zur Stützung der linksseitigen Ufermauer**

**Stand sicherheitsbetrachtung**

**18.10.2018**



Wasserbau Ringle GmbH  
Ingenieurbüro für Wasserbau und Erneuerbare Energien



## Inhaltsverzeichnis

Titel            Seite

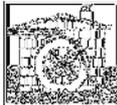
---

### Inhaltsverzeichnis

1.	<b>VORHABENSTRÄGER</b>	<b>3</b>
2.	<b>VERANLASSUNG</b>	<b>3</b>
3.	<b>GRUNDLAGEN – VERWENDETE UNTERLAGEN</b>	<b>4</b>
4.	<b>HERANGEHENSWEISE</b>	<b>4</b>
5.	<b>EINGANGSWERTE ZUR STATISCHEN BERECHNUNG</b>	<b>6</b>
5.1	<b>Allgemeines</b>	<b>6</b>
5.2	<b>Bodenkennwerte</b>	<b>6</b>
5.3	<b>Grundwasser</b>	<b>7</b>
6.	<b>LASTFÄLLE / EINWIRKUNGEN / LASTFALLKOMBINATION</b>	<b>7</b>
7.	<b>STATISCHES SYSTEM</b>	<b>8</b>
8.	<b>STATISCHE NACHWEISE</b>	<b>8</b>
8.1	<b>Allgemeines</b>	<b>8</b>
8.2	<b>Nachweis Böschungsbruch</b>	<b>8</b>
8.3	<b>Nachweis Gleiten</b>	<b>10</b>
9.	<b>SONSTIGES</b>	<b>11</b>
9.1	<b>Handlungsoptionen für kritische Bäume</b>	<b>11</b>
9.2	<b>Empfehlungen für Kontrollintervalle für das Dammbauwerk</b>	<b>12</b>
9.3	<b>Regelbarkeit des Herrenbachs</b>	<b>12</b>
9.4	<b>Automatisierung der Regelung der Kanäle</b>	<b>13</b>
10.	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>14</b>

### Anlagen

Rechengang 1 – 9: Berechnungsergebnisse



## 1. VORHABENSTRÄGER

Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen  
Dr.-Ziegenspeck-Weg 10  
86161 Augsburg

## 2. VERANLASSUNG

Der Herrenbach ist ein Teil des Lechkanalsystems im Stadtbereich von Augsburg. Die Lechkanäle werden südlich des Stadtgebiets am Hochablass aus dem Lech ausgeleitet und verzweigen sich vielfach. Der Rückfluss in das Mutterbett erfolgt nördlich des Stadtgebiets bei der sog. Wolfzahnau.

Der Herrenbach weist eine Wasserführung von konstant ca. 21 m<sup>3</sup>/s auf, lediglich bei sehr geringer Wasserführung des Lechs wird diese Wasserführung gelegentlich unterschritten. Die Wasserführung wird durch eine kontinuierliche Überwachung an der Ausleitungsstelle geregelt, eine höhere Wasserführung ist nicht vorgesehen.

Der Herrenbach befindet sich im betreffenden Bereich zwischen der Hei-  
nestraße und der Reichenberger Straße im Dammprofil, am Ufer befindet sich eine Vielzahl großer Bäume, die bei einer Entwurzelung Standsicherheitsprobleme für das Kanalgerinne mit sich bringen können.

Das Wasserwirtschaftsamt Donauwörth bemängelte diesen Zustand und forderte eine schrittweise Fällung mit Beginn im Winterhalbjahr 2017/2018. Aus unbekanntem Gründen wurde die Fällung jedoch nicht wie vorgesehen im Winterhalbjahr durchgeführt. Im Sommer 2018 wurde ein Teil der Bäume aufgrund der Vorhersage von starken Sturmböen kurzfristig gefällt, was Proteste seitens der Öffentlichkeit und des Naturschutzes mit sich brachte.

Wegen der Proteste wurde seitens der Stadt Augsburg beschlossen, eingehend zu überprüfen, ob die noch ausstehenden Fällungen eingegrenzt werden können und beauftragte in diesem Zusammenhang einen Baumgutachter, der durch ein auf wasserbauliche Fragestellungen spezialisiertes Ingenieurbüro unterstützt werden soll.

Als Baumgutachter wurde Herr Andreas Detter (IB Brudi & Partner TreeConsult, Gauting) beauftragt, mit der Bearbeitung der wasserbaulichen Fragestellungen wurde das Ingenieurbüro Wasserbau Ringle GmbH (WBRI) beauftragt.



### 3. GRUNDLAGEN – VERWENDETE UNTERLAGEN

Zur Projektbearbeitung wurden im Wesentlichen folgende Unterlagen verwendet:

- [1] Teilsicherheitsbeiwerte gemäß EC 7 und EAU
- [2] Standsicherheitsnachweise gemäß EC 7
- [3] Geotechnikum Augsburg: Geotechnischer Bericht vom 01.08.2018
- [4] Tiefbauamt Augsburg: Vermessung Uferbereiche und Baumbestand

### 4. HERANGEHENSWEISE

Als „worst case“ Betrachtung wird angenommen, dass bei einem Sturm ein Baum im Uferbereich des Herrenbachs entwurzelt und die bestehende Uferwand instabil wird. Der Herrenbach könnte dadurch in das tieferliegende Vorland ausufernd.

Um zu klären, ab welcher Entfernung zur Uferwand ein Baum in dieser Hinsicht als unkritisch zu sehen ist, ist zu definieren, welcher Erdkörper mindestens stehen bleiben muss, um eine ausreichende Stützwirkung für die Uferwand zu gewährleisten.

Als Grundlage für die erforderlichen Berechnungen wurde eine geotechnische Untersuchung [3] durchgeführt, aus der die erforderlichen Angaben für die Berechnungen hervorgehen.

Nach der Ermittlung dieses mindestens erforderlichen Erdkörpers bestimmt der Baumgutachter den bei einer Entwurzelung zu erwartenden Erdkrater für die als kritisch zu beurteilenden Bäume.

Bäume, die bei einer Entwurzelung einen Eingriff in den betreffenden Erdkörper erwarten lassen, sind als kritisch zu betrachten und sollten gefällt werden. Diejenigen Bäume, die bei einer Entwurzelung keinen Eingriff in den Erdkörper erwarten lassen, können aus statischen Gesichtspunkten bleiben.

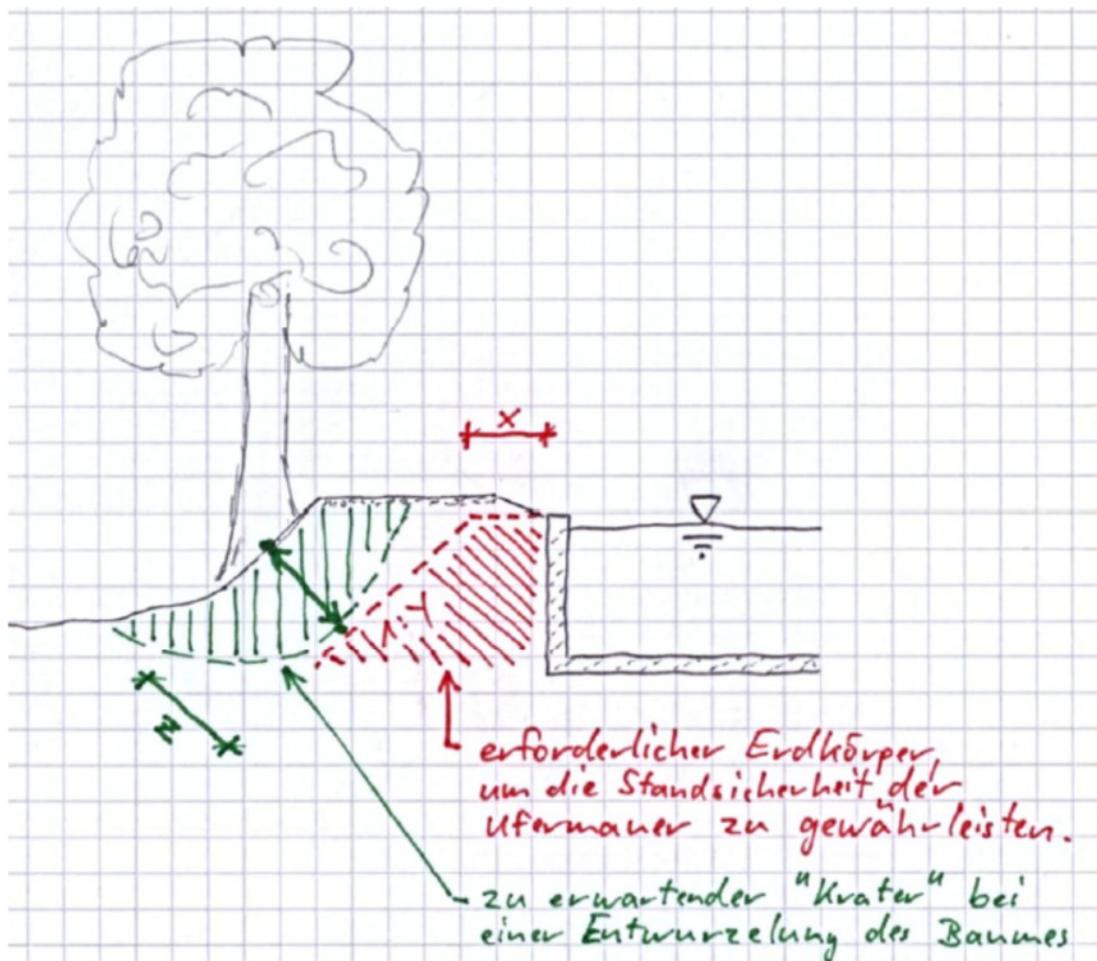


Abb. 01: Skizze „erforderlicher Erdkörper“ und „zu erwartender Krater“

Anmerkung:

Bei der beschriebenen Herangehensweise sind Vorgaben aus einschlägigen Normen für Deiche bzw. Stauhaltungsdämme nicht vollständig eingehalten. Bei einer kompromisslosen Anwendung müssten die Böschungen des Dammes gänzlich von Bäumen freigestellt werden.

Aufgrund der hier vorhandenen Kanalauskleidung aus Beton, die einen sehr guten Schutz der Ufer vor z.B. Erosion oder Wühltierbefall darstellt, sind Abweichungen von Normvorgaben möglich.

Hinzu kommt, dass am Herrenbach kein Hochwasser auftreten kann und die Wasserführung des Kanals für z.B. Reparaturarbeiten gedrosselt werden kann.

Ohne diese besondere Situation wäre eine Abweichung von Normvorgaben nicht zielführend.



## 5. EINGANGSWERTE ZUR STATISCHEN BERECHNUNG

### 5.1 Allgemeines

Als Grundlage für die Berechnung der Standsicherheit des erforderlichen Erdkörpers wurde exemplarisch das Querprofil bei Schurf 8 verwendet. Schurf 8 befindet sich etwa 100 m südlich der Reichenberger Straße und weist mit die größte Wandhöhe und Wassertiefe auf, so dass dieses Profil als maßgebendes Profil herangezogen wird.

### 5.2 Bodenkennwerte

Bei den Bodenaufschlüssen wurden im Wesentlichen die folgenden vier Bodenarten angetroffen:

- Oberboden
- Schicht 1: Auffüllungen
- Schicht 2: Aueablagerungen
- Schicht 3: Quartäre Kiessande

Allgemeine Schichtober- bzw. Schichtunterkanten waren nicht erkennbar, da die Schichtgrenzverläufe sehr unregelmäßig verlaufen. Der Stützkörper für die Kanalwand liegt maßgeblich im Bereich der Auffüllungen (Schicht 1), teilweise auch im Bereich der Aueablagerungen (Schicht 2).

Aufgrund der unklaren Schichtverläufe werden die Berechnungen für beide Schichten durchgeführt. Die Bodenkennwerte werden gemäß Bodengutachten wie folgt angesetzt:

#### Schicht 1: Auffüllungen

	Wert gemäß Gutachten	Angesetzter Wert in der Berechnung
Wichte (erdfeucht)	$\gamma = 18 - 20 \text{ kN/m}^3$	$\rightarrow 19 \text{ kN/m}^3$
Wichte (unter Auftrieb)	$\gamma = 9 - 11 \text{ kN/m}^3$	$\rightarrow 10 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 30 - 35$	$\rightarrow 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 - 2 \text{ kN/m}^2$	$\rightarrow 0^\circ$



## Schicht 2: Aueablagerungen

	Wert gemäß Gutachten	Angesetzter Wert in der Berechnung
Wichte (erdfeucht)	$\gamma = 19 - 21 \text{ kN/m}^3$	$\rightarrow 20 \text{ kN/m}^3$
Wichte (unter Auftrieb)	$\gamma = 9 - 11 \text{ kN/m}^3$	$\rightarrow 10 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 20 - 27,5$	$\rightarrow 22,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 10 - 15 \text{ kN/m}^2$	$\rightarrow 12,5^\circ$

### 5.3 Grundwasser

Gemäß Baugrundgutachten kann die linke Gerinneseite als dicht betrachtet werden, das Grundwasser wird gemäß Baugrundgutachten auf 477,90 mNN angenommen. Der Grundwasserstand befindet sich damit rund 1 m unter der Kanalsole.

## 6. LASTFÄLLE / EINWIRKUNGEN / LASTFALLKOMBINATION

Die Nachweise werden gemäß EC 7 geführt.

Es werden folgende maßgebenden Bemessungssituationen angesetzt:

- Lastfall BS-P: Permanente/ Ständige Bemessungssituation
- Lastfall BS-T: Temporäre Bemessungssituation
- Lastfall BS-A: Außergewöhnliche Bemessungssituation.

Die Nachweise werden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) geführt.

Eine Verkehrslast ist nicht zu berücksichtigen.

Teilsicherheitsbeiwerte werden nach EC 7 berücksichtigt.



## 7. STATISCHES SYSTEM

Schnitt bei Schürfe Nr. 8

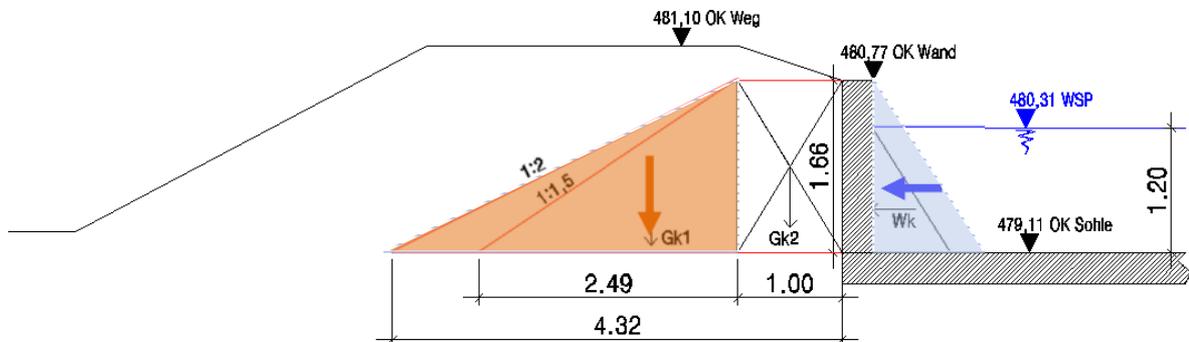


Abb. 02: Skizze statisches System

Auf der sicheren Seite liegend und um angemessene „Reserven“ zu gewährleisten wird angenommen, dass ein mindestens 1 m breiter Erdkörper auf Höhe der betonierten Kanalwand bestehen bleiben soll, von dessen Oberkante sich dann die fiktive Böschung eines fiktiven „mindestens erforderlichen Erdkörpers“ in Richtung Landseite erstreckt.

## 8. STATISCHE NACHWEISE

### 8.1 Allgemeines

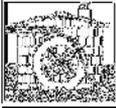
Die Standsicherheit des Erdkörpers wird jeweils mit Bodenschicht 1 und Bodenschicht 2 untersucht, wobei die ungünstigere Bodenschicht als maßgeblich anzusetzen ist.

### 8.2 Nachweis Böschungsbruch

Der Nachweis wird mit dem Programm GGU Stability 10 geführt.

Untersucht werden verschiedene Böschungsneigungen von 1:1,5 bzw. 1:2, nachrichtlich wurden auch Verkehrslasten mit untersucht.

Die Ergebnissausdrucke der Rechengänge sind liegen als Anlage bei, im Einzelnen wurden folgende Berechnungsergebnisse erzielt:



## Schicht 1: Auffüllungen

Nr.	Böschungsneigung	Verkehrslast [kN/m <sup>2</sup> ]	Lastfall	Ausnutzungsgrad
1)	1:2	0	BS-P	0,98
2)	1:2	10,0	BS-T	1,04 ~ 1,0
3)	1:2	16,67 (SLW 30)	BS-A	1,03 ~ 1,0
4)	1:1,5	0	BS-P	>1,0 B.-bruch
5)	1:1,5	0	BS-T	>1,0
6)	1:1,5	0	BS-A	oberflächennahe Böschungsbrüche

## Schicht 2: Aueablagerungen

Nr.	Böschungsneigung	Verkehrslast [kN/m <sup>2</sup> ]	Lastfall	Ausnutzungsgrad
7)	1:1,5	33,33 (SLW 60)	BS-P	0,90
8)	1:1,5	33,33 (SLW 60)	BS-T	0,80
9)	1:1,5	33,33 (SLW 60)	BS-A	0,69

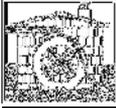
## Interpretation der Ergebnisse:

Aus den Berechnungsergebnissen ist erkennbar, dass für Schicht 1 (Auffüllungen) deutlich schlechtere Ergebnisse erzielt werden als für Schicht 2. Schicht 1 ist damit auf der sicheren Seite liegend als maßgeblich anzusehen.

Demnach liegt bei einer Böschungsneigung von 1:2 und ohne Verkehrslast eine Ausnutzung von 0,98 vor. Sobald eine Verkehrslast mit angesetzt wird, kommt es zu einer (wenn auch zunächst geringen) Überlastung des Systems.

Eine Böschungsneigung von 1:1,5 ist für Schicht 1 rechnerisch nicht möglich.

Als maßgebliche Böschungsneigung für den mindestens erforderlichen Erdkörper ist somit 1:2 anzusetzen.



### 8.3 Nachweis Gleiten

Der Nachweis Gleiten wird auf der sicheren Seite mit der steileren Böschung 1:1,5 geführt. Der Wasserspiegel wird auf die maximale Höhe der Uferwand (bordvoll) angesetzt. Die Ufermauer und die 1,0 m breite Berme werden auf der sicheren Seite liegend nicht angesetzt.

$$w_{k/lfm} = 10 \text{ kN/m}^3 * 1,66 \text{ m} = 17 \text{ kN/m}^2$$

$$W_k = 17 \text{ kN/m}^2 * 1,66 \text{ m} / 2 = \underline{14 \text{ kN/m}}$$

$$G_{k,1} = 1/2 * 2,49 \text{ m} * 1,66 \text{ m} * 19 \text{ kN/m}^3 = \underline{39 \text{ kN}}$$

$$(G_{k,2} = 1,0 \text{ m} * 1,66 \text{ m} * 19 \text{ kN/m}^3 = 32 \text{ kN})$$

$$\varphi_k = \rho = 32,5^\circ (<= 35^\circ)$$

#### Nachweis für Schicht 1 (Auffüllungen):

$$\begin{aligned} R_{t,k} &= N_k * \tan \delta_{sk} &= G_k * \tan \varphi_k \\ & &= 39 \text{ kN} * \tan 32,5 = 25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis:

$$\begin{aligned} R_{t,d} &= R_{t,k} / \gamma_{Gl} &>! &F_d = \gamma * W_k \\ R_{t,d} &= 25 / 1,1 = 23 \text{ kN} &>! &F_d = 1,1 * 14 = 15 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis ist erfüllt.

#### Nachweis für Schicht 2 (Aueablagerungen):

$$R_{t,k} = A * c_{uk} = 2,07 \text{ m}^2 * 12,5 \text{ kN/m}^3 = 26 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\begin{aligned} R_{t,d} &= R_{t,k} / \gamma_{Gl} &>! &F_d = \gamma * W_k \\ R_{t,d} &= 26 / 1,1 = 24 \text{ kN} &>! &F_d = 1,1 * 14 = 15 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis ist erfüllt.



## 9. SONSTIGES

### 9.1 Handlungsoptionen für kritische Bäume

Als Handlungsoption ergibt sich die Fragstellung, ob die als kritisch anzusehenden Bäume durch bauliche Sicherungsmaßnahmen erhalten werden können.

Als bauliche Sicherungsmaßnahmen kämen der Einbau eines statisch wirksamen Betontrogs oder die Einbringung von Spundwänden in Betracht. Derartige Maßnahmen erfordern in jedem Fall einen erheblichen baulichen Aufwand mit Eingriffen in den Wurzelraum der betreffenden Bäume. Zudem sind Schäden am bestehenden Kanal nicht auszuschließen, mit möglichen Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse in der Umgebung des betreffenden Bereichs.

#### Begründung:

Für den Fall des Einbaus eines statisch wirksamen Betontrogs müsste die bestehende Betonauskleidung zurückgebaut und dann neu betoniert werden. Die dafür erforderliche Baugrube müsste durch eine bereichsweise Abgrabung des Uferbereiches hergestellt werden, mit entsprechenden Eingriffen in den Wurzelraum der benachbarten Bäume.

Auch der Einbau einer Spundwand im Uferbereich würde zu einer Kappung von Wurzeln und damit zu einer Beeinträchtigung von nahe stehenden Bäumen führen. In der Regel ist in dieser Konstellation zudem der Lichtraum nach oben nicht ausreichend, was die Entnahme von Ästen erfordern würde.

Hinzu kommt in beiden Fällen, dass durch Abbrucharbeiten oder den Einsatz einer Vibrationsramme Erschütterungen auftreten würden, die zu Schäden am Kanalgerinne führen können.

Als Bauvorbereitung wäre die Kanalsohle durch eine (bereichsweise) Kiesschüttung für eine Befahrung mit schweren Baumaschinen zu versehen. Durch diese zusätzliche Belastung und durch die Befahrung der Kanalsohle mit schwerem Gerät können Schäden an der Kanalsohle entstehen.

Dadurch können neue Sickerwegigkeiten im Untergrund entstehen, was zu einem Anstieg von Grundwasser in der näheren Umgebung führen kann.



Ein weiterer Grund, der gegen die Einbringung von Sicherungsmaßnahmen spricht ist die Tatsache, dass dadurch nahe am Ufer stehende Bäume, welche Dammunterhaltung und Dammverteidigung nachhaltig behindern, „legalisiert“ werden.

## 9.2 Empfehlungen für Kontrollintervalle für das Dammbauwerk

Der Herrenbach wird zusammen mit dem gesamten Lechkanalsystem in der Regel einmal jährlich für zwei Wochen abgestaut. In diesem Rahmen sollten Damm und Betonauskleidung durch Fachpersonal kontrolliert und etwaige Veränderungen oder Schäden dokumentiert und bei Bedarf repariert werden.

Unabhängig davon sollte in regelmäßigen Abständen (z.B. vierteljährlich) eine visuelle Kontrolle des Damms durchgeführt werden, um z.B. Vernässungen durch Undichtigkeiten oder Wühltierbefall frühzeitig zu erkennen.

Im Rahmen der Kontrollen sollte auch der vorhandene Freibord überprüft werden. Ein Mindestfreibord von 30 cm bis zur Oberkante der Betonauskleidung sollte vorhanden sein.

## 9.3 Regelbarkeit des Herrenbachs

Die Lechkanäle und damit auch der Herrenbach sind über die Schleusenanlagen am Hochablass regelbar. Das Kanalsystem ist überaus komplex und dessen Regelung bedarf einer genauen Kenntnis über die jeweiligen Zusammenhänge und möglichen Auswirkungen.

Der Herrenbach ist mit einer Wasserführung von rund 21 m<sup>3</sup>/s ein Hauptarm des Kanalsystems, eine Drosselung ist nur möglich, wenn mit einigem Vorlauf zunächst die Ausleitung am Hochablass gedrosselt wird. Bei ungenügendem Vorlauf würde eine hydraulische Überlastungen der parallel verlaufenden Kanäle eintreten mit unter Umständen unkontrollierbaren Ausuferungen im Stadtgebiet.

Eine Drosselung des Herrenbachs bedingt daher zunächst eine Drosselung der Ausleitung am Hochablass. Sobald eine Verringerung der Wassermenge am Herrenbach spürbar wird, kann dieser sukzessive gedrosselt werden.



Wie schnell genau eine solche Drosselung durchgeführt werden könnte, ist WBRI nicht bekannt. Vermutlich liegen hierzu beim Tiefbauamt Erfahrungen vor, ansonsten könnte ein Naturversuch einen Erfahrungsgewinn ergeben.

Aus derzeitiger Sicht ist jedoch damit zu rechnen, dass es unter optimalen Bedingungen mindestens 30 Minuten dauern dürfte, bis eine wirksame Drosselung des Herrenbachs eintreten würde. In der Praxis dürfte dieser Zeitraum durch Alarmierungs- und Reaktionszeiten deutlich länger sein.

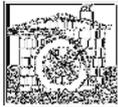
Jedenfalls ist der Zeitraum zu lange, um bei einem Versagen des Dammes die Flutung von angrenzenden Siedlungsbereichen zu verhindern. Bei einer Flutung von z.B. Kellern oder Tiefgaragen kann dies zu einer erheblichen Gefahr für Leib und Leben führen.

Eine Drosselung der Kanäle ist jedoch eine sehr gute Möglichkeit, um nach Eintreten eines Schadensfalles die Gefahr zu reduzieren und eine Reparatur zu ermöglichen bzw. zu erleichtern. Sie ersetzt jedoch nicht eine ordnungsgemäße Unterhaltung der Anlagen.

#### **9.4 Automatisierung der Regelung der Kanäle**

Das Kanalsystem in Augsburg ist weltweit einzigartig und in seiner Regelung sehr komplex. Ob eine automatische Regelung mit verhältnismäßigem Aufwand eingebaut und funktionssicher betrieben werden kann, wird bezweifelt. Im Übrigen kann auch die beste Regelung nicht verhindern, dass im Schadensfall zunächst Wasser austreten kann (siehe oben).

Ob durch die Nachrüstung einer Automatisierung Verbesserungen zu erwarten sind, wäre mit dem Tiefbauamt als Betreiber der Anlage zu klären.



## 10. ZUSAMMENFASSUNG

Als mindestens erforderlicher Erdkörper für eine Stützung der Uferwandung des Herrenbaches wird ein Erdkörper mit einer Breite an der Oberkante von 1,0 m und einer Böschungsneigung von 1:2 für zweckdienlich erachtet.

Ein Erdkörper mit dieser Dimension konnte mit den im Baugrundgutachten angegebenen Bodenkennwerten mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen werden.

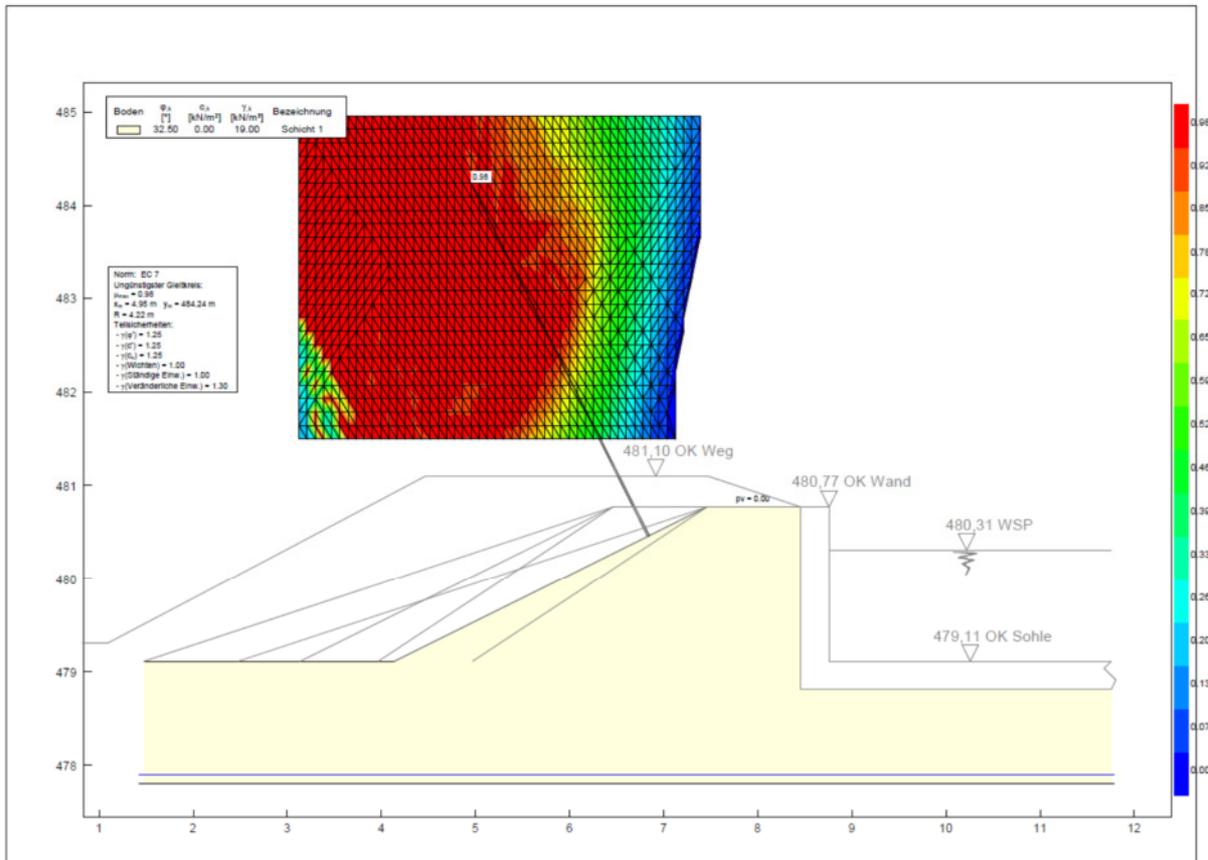
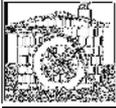
Eine Durchführung von anderweitigen Sicherungsmaßnahmen (z.B. Spundwände) wird als nicht zielführend erachtet.

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Andreas Ringler  
Dipl.-Ing. Anita Scherdi

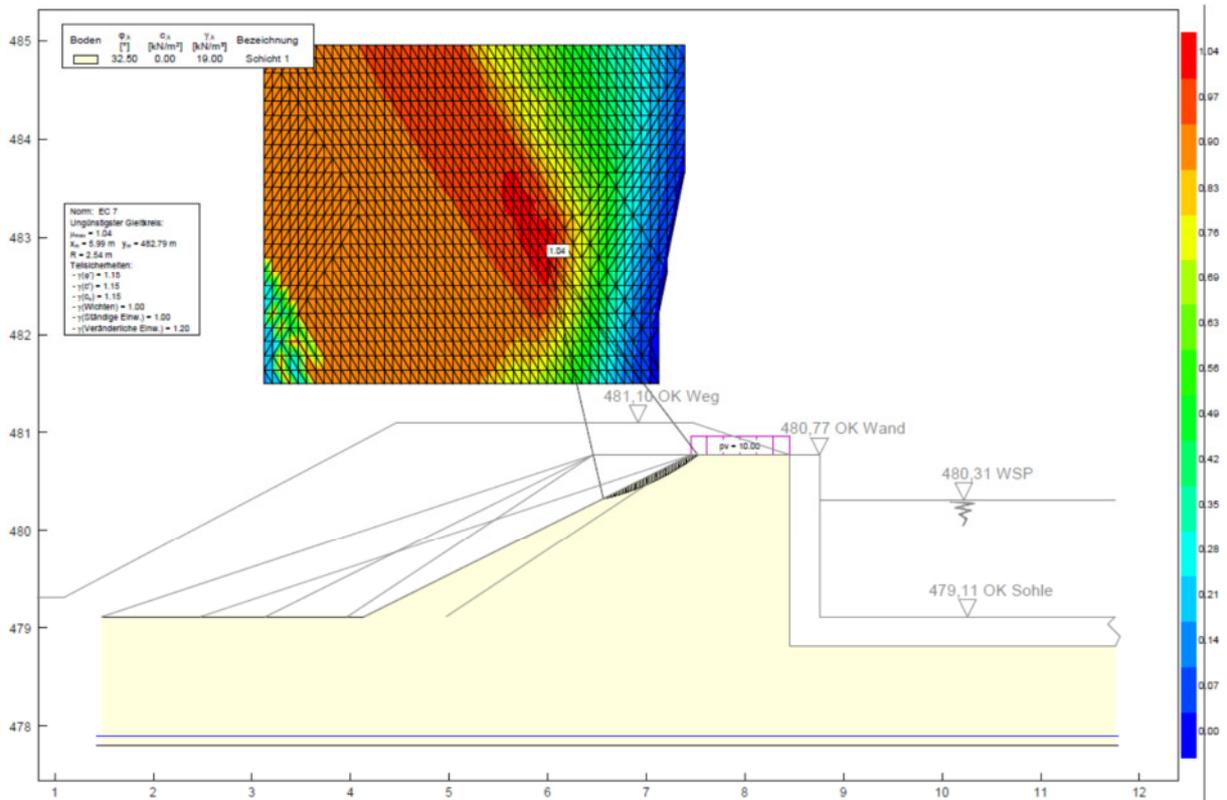
Landsberg am Lech, 18.10.2018

Wasserbau Ringle GmbH

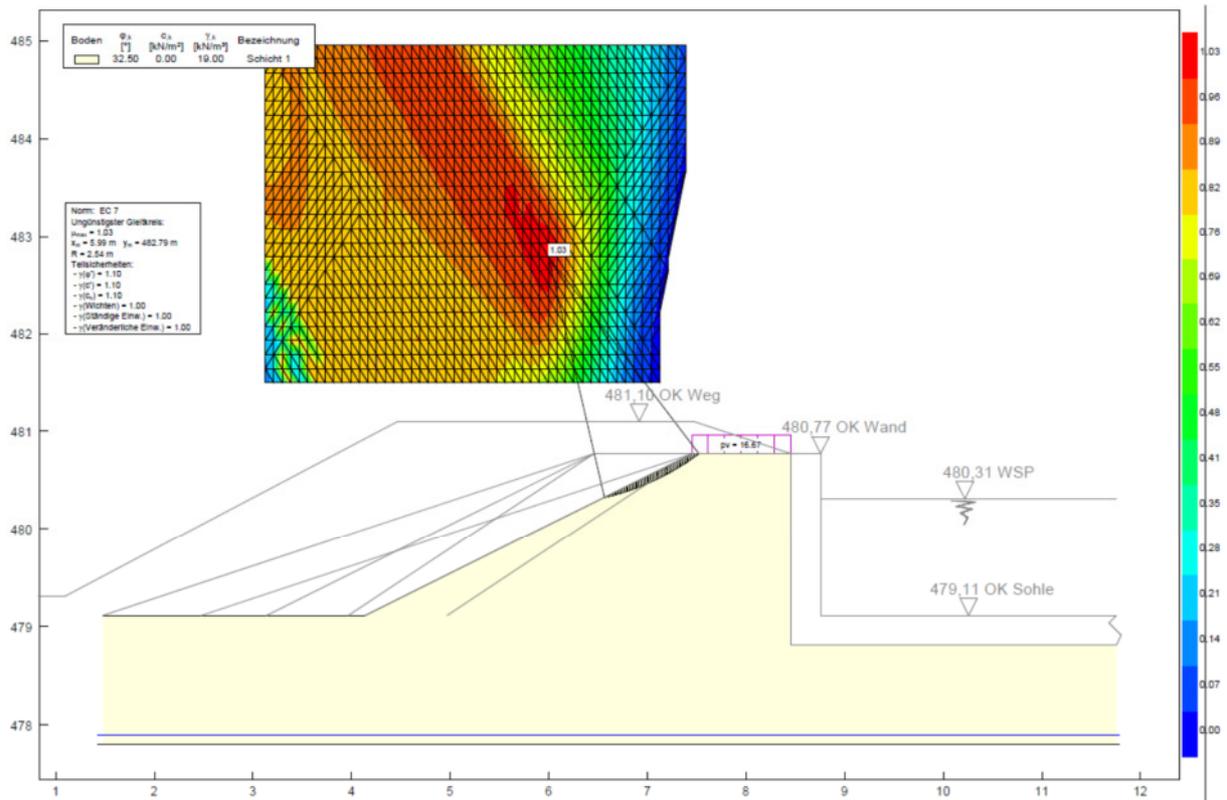
Andreas Ringler



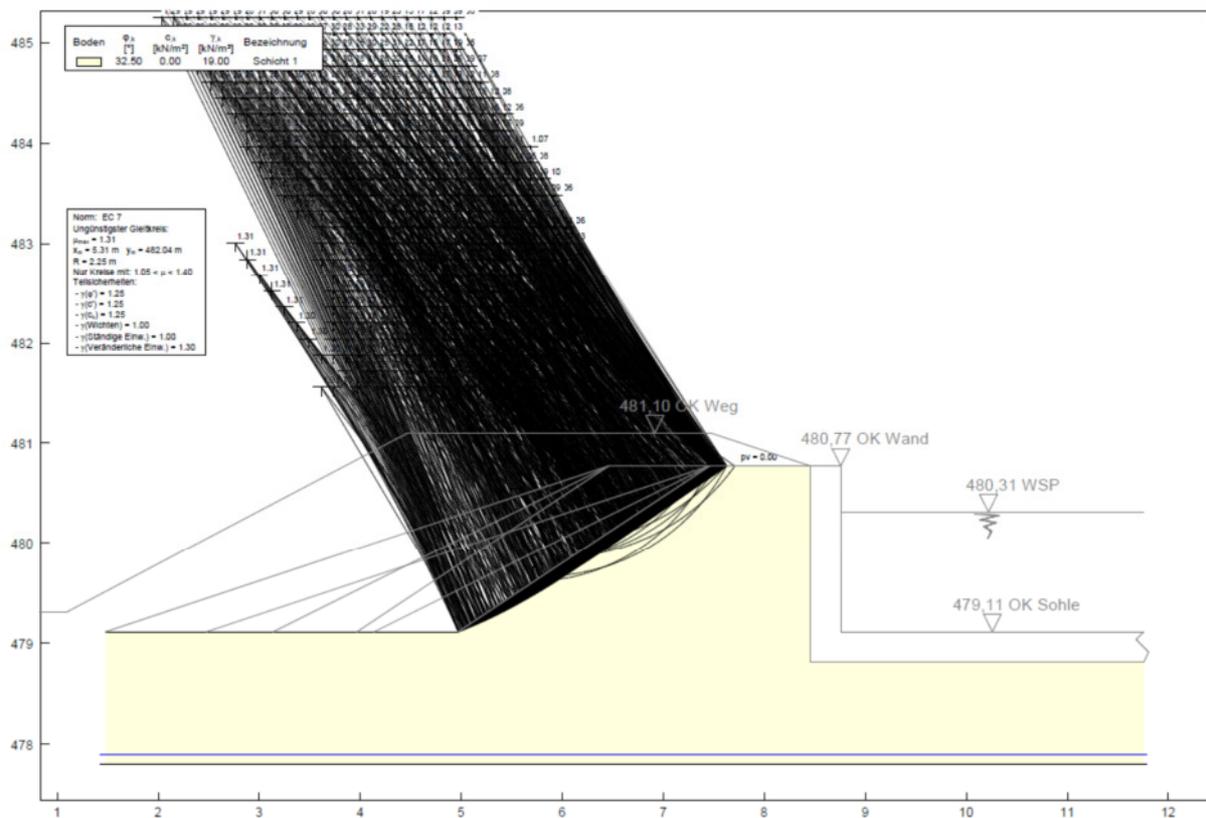
Rechengang 1: Nr. 1) Schicht 1, Böschungsneigung 1:2, Lastfall BS-P



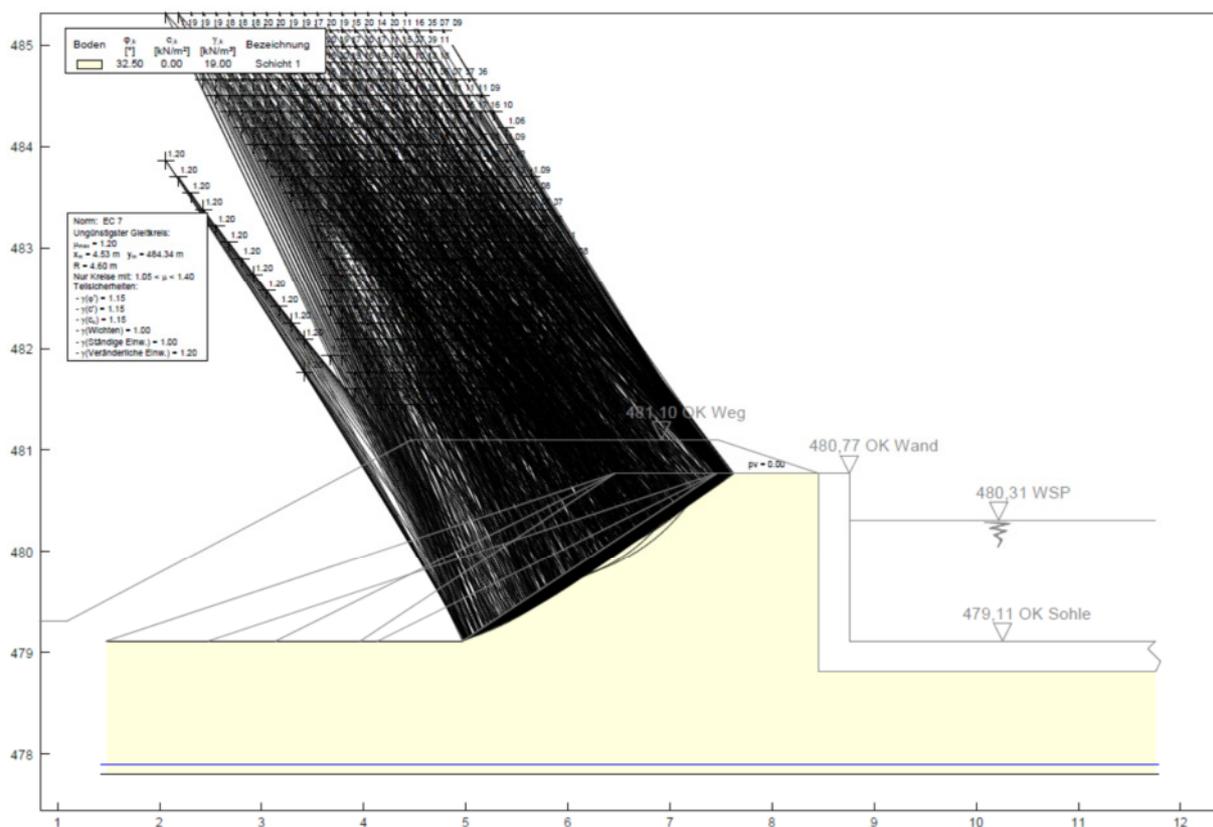
Rechengang 2: Nr. 2) Schicht 1, Böschungsneigung 1:2, Lastfall BS-T



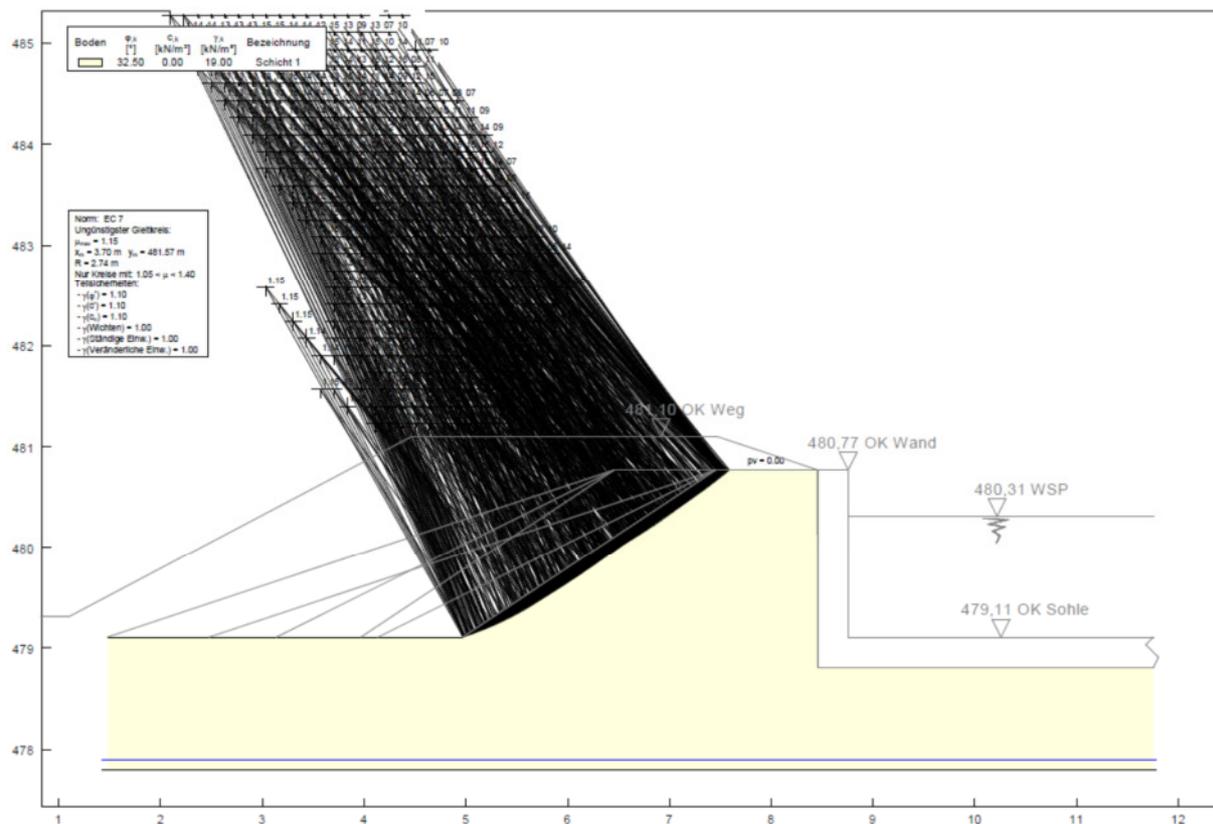
Rechengang 3: Nr. 3) Schicht 1, Böschungsneigung 1:2, Lastfall BS-A



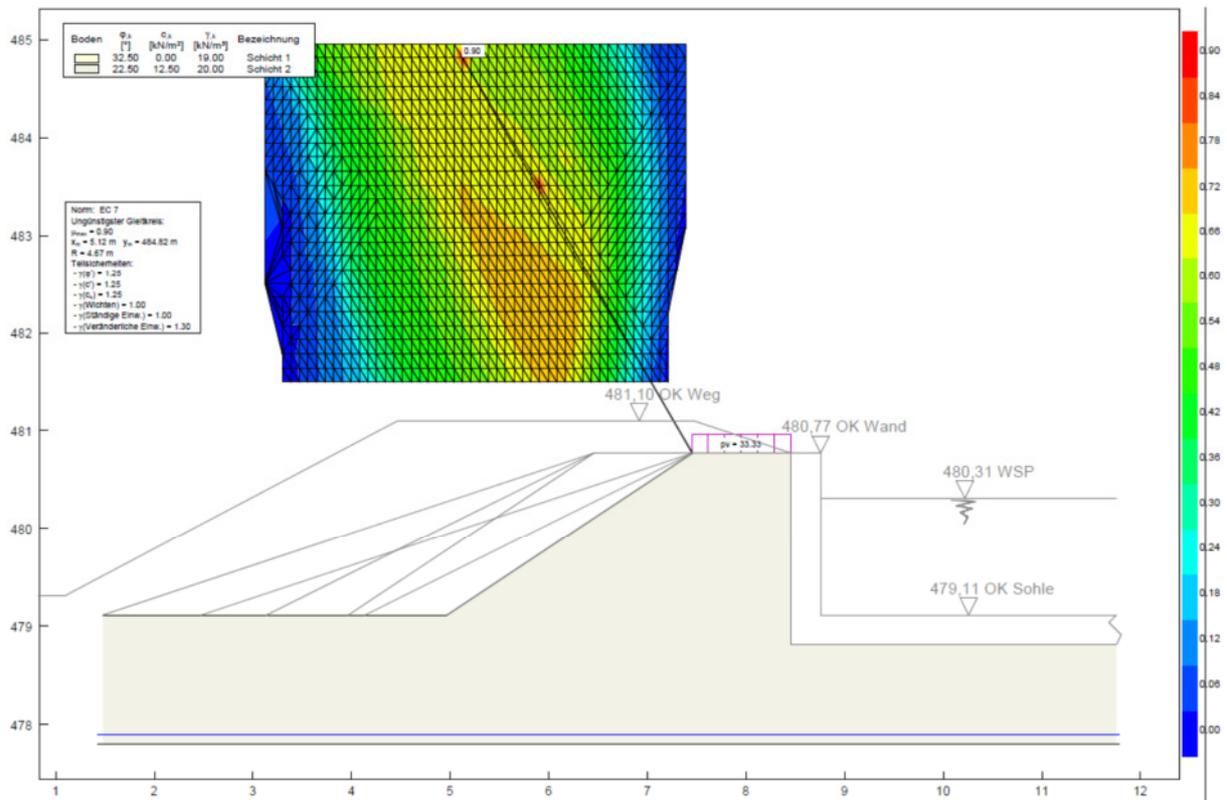
Rechengang 4: Nr. 4) Schicht 1, Böschungsneigung 1:1,5, Lastfall BS-P



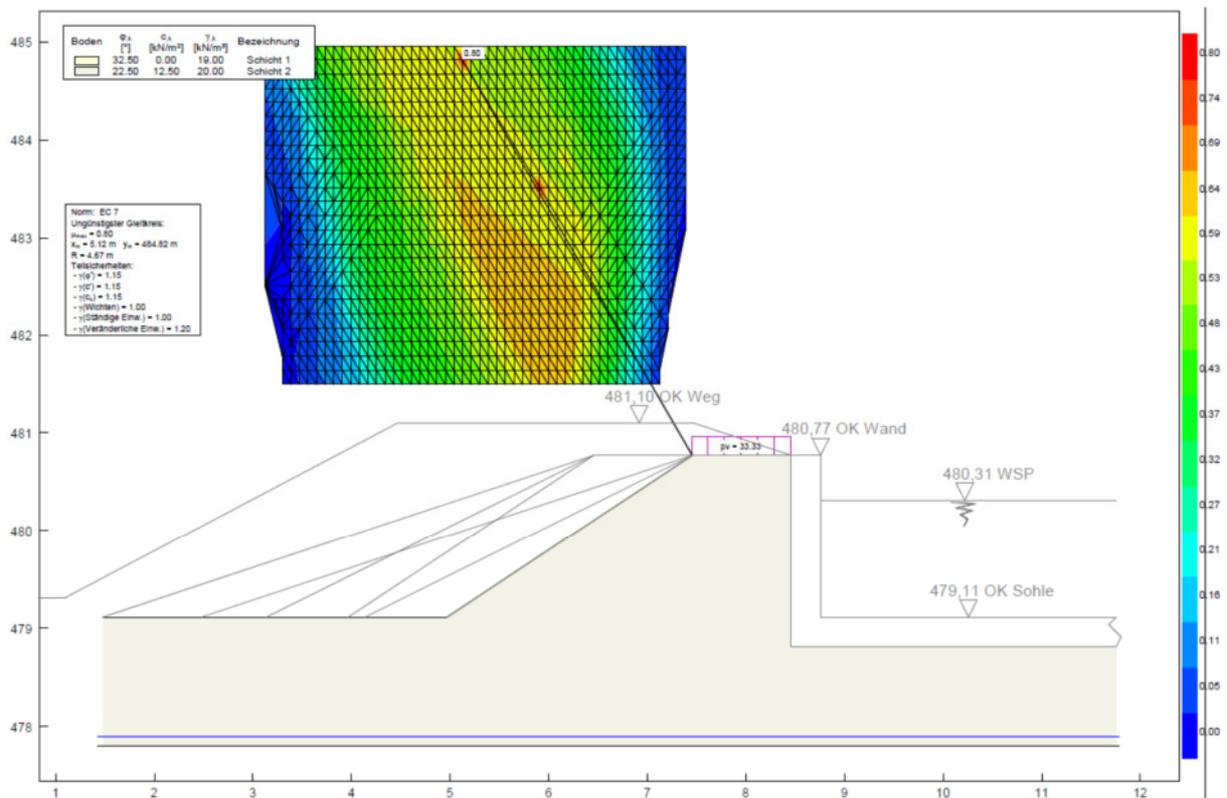
Rechengang 5: Nr. 5) Schicht 1, Böschungsneigung 1:1,5, Lastfall BS-T



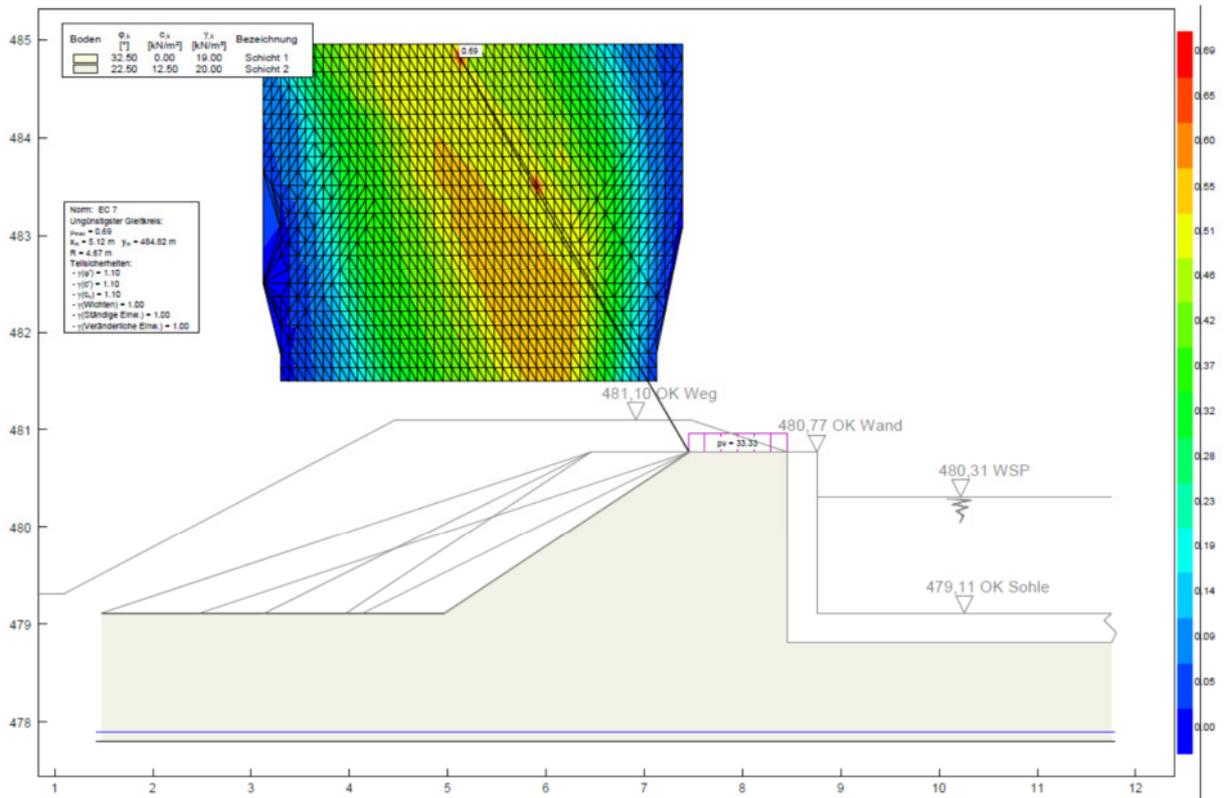
Rechengang 6: Nr. 6) Schicht 1, Böschungsneigung 1:1,5, Lastfall BS-A



Rechengang 7: Nr. 7) Schicht 2, Böschungsneigung 1:1,5, Lastfall BS-P



Rechengang 8: Nr. 8) Schicht 2, Böschungsneigung 1:1,5, Lastfall BS-T



Rechengang 9: Nr. 9) Schicht 2, Böschungsneigung 1:1,5, Lastfall BS-A