

PROF. DIPL.-ING. ROLF SCHRODI

von der IHK Ulm öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Erd- und Grundbau, Felsböschungen
zertifizierte Radonfachperson

Am Galgenberg 10

88444 Ummendorf

Tel.: 07351.37 17 39 Fax: 07351.37 17 38

Mobil: 0173 3724177

Email: rolf.schrodi@t-online.de

**Standsicherheitsnachweise der
Abbau- und Verfüllböschungen
im Steinbruch
für den
Betriebsstandort Fischersberg**

Auftraggeber:



**SWK Schotterwerk Kirchen GmbH & Co. KG
Zum Hochgericht 9
89597 Munderkingen**

Erstattungsdatum:

06. Dezember 2023

Ergänzt:

03. Juni 2024

Aktenzeichen:

SWKFBBTF G05a

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Bauvorhaben	2
2. Geologische Situation und Berechnungskennwerte	1
3. Erdbebenzone	2
4. Geometrie und Belastungen	3
5. Berücksichtigte Windkraftanlagen	4
5. Standsicherheitsberechnungen	6
6. Standsicherheitsberechnungen ohne Windkraftanlagen	7
7. Standsicherheitsberechnungen unter Berücksichtigung einer Windkraftanlage	8
8. Standsicherheitsberechnungen der Kippenböschungen	11
9. Zusammenfassung	13

Verzeichnis der Anlagen:

Anlage 1.1 – 1.2	Fundamentdaten Windkraftanlage NORDEX N 163./5.x
Anlage 2.1 – 2.4	Standsicherheitsberechnung Aufschlussbereich ohne Windkraftanlage
Anlage 3.1 – 3.2	Standsicherheitsberechnung Ostseite ohne Windkraftanlage
Anlage 4.1 – 4.2	Standsicherheitsberechnung Nordseite ohne Windkraftanlage
Anlage 5.1 – 5.2	Standsicherheitsberechnung West- und Südseite ohne Windkraftanlage
Anlage 6.1 – 6.2	Standsicherheitsberechnung Ostseite mit Ersatzwindkraftanlage
Anlage 7.1 – 7.2	Standsicherheitsberechnung Ostseite mit Ersatzwindkraftanlage 2
Anlage 8.1 – 8.2	Rückrechnung Kippenböschung zur Ermittlung der Kohäsion
Anlage 9	Standsicherheitsberechnung Kippenböschung Eigenmaterial
Anlage 10.1 – 10.4	Standsicherheitsberechnung Kippenböschung Fremdmaterial

1. Bauvorhaben

Zur Sicherung des Betriebes und der regionalen Rohstoffversorgung ist die Erschließung eines neuen Steinbruchs erforderlich. Dieser soll am Fischersberg entstehen.

Der Abstand der Weißjuraabbaukante des Steinbruchs von der Grenze des östlich angrenzenden Windkraftvorranggebietes beträgt mindestens 10 m. Dort und an den weiteren Steinbruchrändern schließt sich an die Weißjuraabbaukante nach außen ein Schutzstreifen an. An diesen grenzt die Abraumböschung, an deren Oberkante sich ein kleiner Schutzwall anschließt. Daran schließen sich ein Weg, ein Zaun sowie ein Sicht- und Immissionsschutzwall an.

Im Zuge der Gewinnung des Kalksteins werden lagerstättenabhängig Abbausohlen mit Mächtigkeiten von etwa 18 m angelegt. Die Böschungsneigungen sind mit einer Neigung von 75° geplant, in Höhenabständen zwischen 16 m und 21 m sind Bermen von ca. 3 m Breite geplant. Die tiefste Abbausohle wird zunächst bei 516 m NHN erreicht. Wenn Grundwasserstandsdaten über längere Zeiträume vorliegen, die einen ausreichenden Abstand zur Grundwasseroberfläche belegen, ist das Abbauziel 514 m NHN. Im Norden des Steinbruchs beträgt die größte Erhebung des Urgeländes ca. 590 m NHN.

Die Rekultivierung des Steinbruchs ist durch Verfüllung mit geeignetem Fremdmaterial und anschließende Wiederaufforstung mit einem naturnahen, standorttypischen Mischwald vorgesehen. Schon während der Rohstoffgewinnung wird frühzeitig mit den Rekultivierungsarbeiten begonnen, die nach Abschluss des Gesteinsabbaus vollendet werden.

2. Geologische Situation und Berechnungskennwerte

Im geplanten neuen Abbaugelände sowie in der ausgewiesenen Windkraftvorrangfläche stehen nach der geologischen Erkundung bis in große Tiefen die Schichten des Oberjura (Weißer Jura) in Form von Massenkalken und gebankten Kalken an. Die Überdeckung über dem harten Weißjurafels beträgt zwischen ca. 2 und ca. 4 m.

Auf der Grundlage der im Zuge der geologischen Erkundung ausgeführten geotechnischen Laboruntersuchungen werden folgende Berechnungskennwerte angesetzt:

Deckschicht:

Wichte	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 27,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 5 \text{ kN/m}^2$

Weiß-Jura-Kalkstein und Weiß-Jura-Kalkmergelstein:

Wichte	$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 35^\circ$
Kohäsion	$c' = 500 \text{ kN/m}^2$

Die Berechnungskennwerte sind bewusst konservativ angesetzt worden, um etwaige lokale Schwächezonen über die Abbauhöhe zu erfassen.

3. Erdbebenzone

Nach der für Baden-Württemberg geltenden Karte der Erdbebenzonen ist für das Gebiet ausgewiesen:

Erdbebenzone 1

Untergrundklasse R: Gebiet mit felsartigem Gesteinsuntergrund

Damit ist bei der Dimensionierung von Bauwerken und damit auch der Bemessung von Windkraftanlagen ein Erdbebennachweis zu erbringen, für den folgende Werte zugrunde zu legen sind:

Erdbebenintensität 6,5 bis < 7 (nach EMS-Skala)

Bemessungswert der Bodenbeschleunigung: $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2$

Für die Standsicherheitsnachweise im Lastfall Erdbeben (Bemessungssituation BS-E) werden entsprechend eine horizontale und vertikale Erdbebenbeschleunigung von $k_h = a_h/g = k_v = a_v/g = 0,041$ berücksichtigt.

4. Geometrie und Belastungen

In den Standsicherheitsberechnungen werden auf die als eben angenommene Geländeoberfläche der Schutzwall sowie der Sicht- und Immissionsschutzwall als eine ständige wirkende Streifenlast berücksichtigt, wobei vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend, die maximale Spannung ($=$ maximale Aufschüttungshöhe \times Wichte γ (19 kN/m^3)) über die gesamte Breite der jeweiligen Dämme angesetzt wurden. Die Bodenwiderstände in den Aufschüttungen entlang der untersuchten Gleitflächenstrecken durch die Aufschüttungen bleiben, auf der sicheren Seite liegend, unberücksichtigt.

Auf der obersten Berme bzw. auf dem Schutzstreifen am Kopf der Böschung wird eine veränderliche Last von $q = 33,3 \text{ kN/m}^2$, entsprechend einem SLW 60, angesetzt.

Im Aufschlussbereich (Rohstofflager) wird am Kopf der untersten Abbauböschung ein Streifenfundament mit einer Breite von $1,0 \text{ m}$ und einer Flächenlast von 500 kN/m^2 angesetzt, um den ungünstigen Einfluss einer Belastung aus der geplanten Einhausungskonstruktion über dem projektierten Rohstofflager zu erfassen.

5. Berücksichtige Windkraftanlagen

Östlich des Steinbruchs ist ein Windkraftvorranggebiet ausgewiesen, der dort zum Einsatz kommende Windkraftanlagentyp ist noch nicht bekannt. Das Landratsamt Alb-Donau-Kreis erwartet bei dem Nachweis die Berücksichtigung jedweder Anlagen, die auf dem Markt angeboten werden können. Im Aktenvermerk vom 19.04.23 ist die Anlage VESTAS V172-7.2 MW genannt, die in den neuesten Anträgen enthalten ist.

Daten zu Fundamentgröße und Fundamentbelastung der Anlage VESTAS V172-7.2 MW liegen nicht vor und sind auch derzeit nicht ermittelbar, so dass eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung der zu berücksichtigenden Anlage vorgenommen wird:

Verfügbar sind die Fundamentbelastungen für folgenden in Deutschland gängigen Windkraftanlagentyp:

NORDEX Windenergieanlage N163/5.x TCS164B-02 (N21)

Nabenhöhe 164 m

Rotordurchmesser 163 m

Turm in Hybridbauweise (Kombination aus Spannbetonturm und Stahlrohrsektionen)

Die sich für diesen Anlagentyp ergebenden Fundamentabmessungen und Fundamentbelastungen sind auszugsweise in den Anlagen 1.1 und 1.2 abgebildet.

Die vom Rotor überstrichene Fläche ist maßgebend für die Energiegewinnung und auch für die aus dem Wind herrührende Belastung auf Turm und Fundament. Somit wird eine Abschätzung der Fundamentbelastung und Fundamentabmessungen für die genannte Anlage VESTAS V172-7.2 MW durch eine prozentuale Erhöhung der Fundamentabmessungen und Fundamentbelastungen entsprechend der Vergrößerung der überstrichenen Rotorfläche im Vergleich zur Anlage NORDEX N 163/5.x vorgenommen, für welche Fundamentdaten und Belastungsdaten bekannt sind. Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird dieser prozentuale Erhöhungsbetrag großzügig aufgerundet.

Anlage NORDEX N 163/5.x

Rotordurchmesser 163 m

vom Rotor überstrichene Fläche $A = (163^2 \cdot \pi) / 4 = 20\,867 \text{ m}^2$

Fundamentdurchmesser 24 m

max. Fundamentrandspannung $\sigma = 257,5 \text{ kN/m}^2$

max. H-Last je m Fundamentbreite $H = 47 \text{ kN/m}$

Anlage VESTAS V172-7.2 MW

Rotordurchmesser 172 m

vom Rotor überstrichene Fläche $A = (172^2 \cdot \pi)/4 = 23\,235 \text{ m}^2$

Damit ergibt sich aus dem Vergleich der Rotorflächen der beiden Anlagen ein Erhöhungsfaktor von $\Delta = 23235/20867 = 1,113$, also eine prozentuale Erhöhung um ca. 11,3 %.

Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird dieser Erhöhungsfaktor auf 25 % erhöht, so dass sich für die **Ersatzwindkraftanlage** folgende Daten für Fundament und Belastung ergeben:

Fundamentdurchmesser $24 \times 1,25 = 30 \text{ m}$

H-Last $47 \times 1,25 = 60 \text{ kN/m}$

max. Fundamentrandspannung $\sigma = 257,5 \times 1,25 = 321,8 \text{ kN/m}^2$

Um das Windkraftvorranggebiet für mögliche zukünftige Entwicklungen der Windkraftanlagen-technik durch den Steinbruch nicht einzuschränken wird eine zusätzliche Untersuchung unter Ansatz einer Ersatzwindkraftanlage 2 vorgenommen, für die die Belastungsdaten durch einen Erhöhungsfaktor von $\Delta = 2,0$, also mit einer prozentualen Erhöhung um ca. 100 %, ermittelt werden und die einer weiteren Standsicherheitsberechnung zugrunde gelegt werden.

Ersatzwindkraftanlage 2:

Fundamentdurchmesser $24 \times 2 = 48 \text{ m}$

H-Last $47 \times 2 = 94 \text{ kN/m}$

max. Fundamentrandspannung $\sigma = 257,5 \times 2 = 515 \text{ kN/m}^2$

5. Standsicherheitsberechnungen

Es werden Standsicherheitsberechnungen mit Hilfe des Berechnungsprogrammes GGU-Stability, Version 13 ausgeführt, dabei werden sowohl kreisförmige, zusammengesetzte kreisförmige und gerade und ausschließlich geradlinige Gleitflächen untersucht. Die höchsten Auslastungen und damit ungünstigsten Ergebnisse ergeben sich für die kreisförmigen und zusammengesetzten kreisförmigen und geraden Gleitflächen, die aus Gründen der Übersichtlichkeit ausschließlich dargestellt sind.

Für die Böschungen des Steinbruchs werden die Bemessungssituation BS-P für die ständige Bemessungssituation und BS-E für den Lastfall Erdbeben untersucht. Die Teilsicherheitsbeiwerte für zeitlich beschränkte Bauzustände (BS-T) sind geringer als für die ständige Bemessungssituation und ergeben daher geringere Auslastungen, daher ist die Bemessungssituation BS-T nicht maßgebend.

Für die Standsicherheit der Kippenböschungen im Zuge der Rekultivierung ergeben sich nur zeitlich beschränkte Standzeiten, da der Verfüllbetrieb nach Beginn fortlaufend ausgeführt wird. Daher werden für die Berechnungen der Kippenböschungen die Bemessungssituation BS-T als maßgebend angesetzt.

Die Nachweisführung nach DIN 1054, DIN 4084 und EC 7 erfolgt durch die Ermittlung des Auslastungsgrades $\mu = \text{Bemessungseinwirkungen } E_d / \text{Bemessungswiderstände } R_d < 1,0$. Dabei werden die charakteristischen Einwirkungen E_k durch Multiplikation mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G bzw. γ_Q erhöht und die charakteristischen Widerstände R_k mittels Division durch die Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{\varphi'}$ bzw. $\gamma_{c'}$ vermindert.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen:

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-E
Ständige Einwirkungen	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände:

Bodenkenngröße	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-E
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränen Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränen Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,00
Kohäsion c' des dränen Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränen Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,00

6. Standsicherheitsberechnungen ohne Windkraftanlagen

Die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen für den Aufschlussbereich (Rohstofflager), die Ost-, Nord-, West und Südseite des Steinbruchs ohne Berücksichtigung einer Windkraftanlage sind im Folgenden tabellarisch zusammengefasst. Die Ergebnisse der Berechnungen werden nach der Lage der ungünstigsten Gleitfläche, verlaufend nur in den Deckschichten und verlaufend in der Abbauböschung, differenziert angegeben:

Untersuchter Bereich	Bemessungssituation	Anlagen-Nr.	Höchste Auslastung
Aufschlussbereich ohne Windkraftanlage	BS-P	2.1 und 2.2	Deckschicht: $\mu = 0,73$ Abbauböschung: $\mu = 0,21$
Aufschlussbereich ohne Windkraftanlage	BS-E	2.3 und 2.4	Deckschicht: $\mu = 0,60$ Abbauböschung: $\mu = 0,20$
Ostseite ohne Windkraftanlage	BS-P	3.1	Deckschicht: $\mu = 0,72$ Abbauböschung: $\mu = 0,60$
Ostseite ohne Windkraftanlage	BS-E	3.2	Deckschicht: $\mu = 0,60$ Abbauböschung: $\mu = 0,50$
Nordseite ohne Windkraftanlage	BS-P	4.1	Deckschicht: $\mu = 0,77$ Abbauböschung: $\mu = 0,56$
Nordseite ohne Windkraftanlage	BS-E	4.2	Deckschicht: $\mu = 0,67$ Abbauböschung: $\mu = 0,48$
West- und Südseite ohne Windkraftanlage	BS-P	5.1	Deckschicht: $\mu = 0,85$ Abbauböschung: $\mu = 0,33$
West- und Südseite ohne Windkraftanlage	BS-E	5.2	Deckschicht: $\mu = 0,71$ Abbauböschung: $\mu = 0,28$

Die Berechnungen zeigen, dass die Auslastungen in allen Bemessungssituationen und für alle Gleitflächen $\mu < 1,0$ sind. Somit ist ausreichende Sicherheit für alle Böschungen gegeben.

Die Auslastungen in der BS-E sind trotz Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Zusatzbeschleunigung geringer als in der BS-T, da die Abminderungen für die Widerstände entsprechend den Vorschriften in der BS-E 1,0 betragen gegenüber 1,25 in der BS-T.

7. Standsicherheitsberechnungen unter Berücksichtigung einer Windkraftanlage

Das Windkraftvorranggebiet ist östlich des Abbaugebietes ausgewiesen. Für die Berechnung der Standsicherheit der Abbauböschung Ost, mit einer Abbauhöhe von 75 m im Kalkstein und ca. 3 m in den Deckschichten, wurde ein Abstand des Windkraftfundaments von $a = 10$ m gewählt. Die Abböschung der Deckschichten erfolgt mit 45° , am Abbaurand wird eine Fahrspur SLW 60 mit $p = 33,3 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt. In dem verbleibenden Zwischenraum von 1,8 m Breite zwischen Oberkante Deckschichtböschung und Windkraftanlage wird eine 2 m hohe Wallschüttung mit einer Flächenlast $p = 2 \text{ m} \times 19 \text{ kN/m}^3 = 38 \text{ kN/m}^2$ angesetzt.

Das Fundament der Windkraftanlage wird nach Abtrag der Deckschichten im Weiß-Jura-Kalkstein gegründet. In der Berechnung wurde aus Vereinfachungsgründen und auf der sicheren Seite liegend der Fundamentaushub nicht abgezogen, so dass die in der Berechnung wirksame Last an UK des Fundaments der Windkraftanlage um $3 \text{ m} \times 19 \text{ kN/m}^3 = 57 \text{ kN/m}^2$ höher ist als sich aus den oben (Kap. 5) errechneten Daten ergibt.

Die Berechnung der Standsicherheit der Ost-Böschung des Steinbruchs mit einer Ersatzwindkraftanlage im Abstand von 10,0 m vom Abbaurand ergibt folgende maximale Auslastungen der ungünstigsten Gleitflächen:

Untersuchter Bereich	Bemessungssituation	Anlagen-Nr.	Höchste Auslastung
Ostseite mit Ersatzwindkraftanlage in $a = 10$ m von der Steinbruchabbaukante Fundamentdurchmesser $d = 30$ m max. Fundamentrandspannung $\sigma = 321,8 \text{ kN/m}^2$ H-Kraft $H = 60 \text{ kN/m}$	BS-P	6.1	Deckschicht: $\mu = 0,87$ Abbauböschung: $\mu = 0,64$
Ostseite mit Ersatzwindkraftanlage in $a = 10$ m von der Steinbruchabbaukante Fundamentdurchmesser $d = 30$ m max. Fundamentrandspannung $\sigma = 321,8 \text{ kN/m}^2$ H-Kraft $H = 60 \text{ kN/m}$	BS-E	6.2	Deckschicht: $\mu = 0,73$ Abbauböschung: $\mu = 0,52$

Es ist damit eindeutig belegt, dass gängige Windkraftanlagentypen im Abstand von $a = 10$ m von der Abbaukante nicht zu einer nachteiligen Beeinträchtigung der Standsicherheit der Abbauböschung führen.

Die Berechnung der Standsicherheit der Ost-Böschung des Steinbruchs mit der Ersatzwindkraftanlage 2 im Abstand von 10,0 m vom Abbaurand ergibt folgende maximale Auslastungen der ungünstigsten Gleitflächen:

Untersuchter Bereich	Bemessungssituation	Anlagen-Nr.	Höchste Auslastung
Ostseite mit Ersatzwindkraftanlage 2 in $a = 10$ m von der Steinbruchabbaukante Fundamentdurchmesser $d = 48$ m max. Fundamentrandspannung $\sigma = 515 \text{ kN/m}^2$ H-Kraft $H = 94 \text{ kN/m}$	BS-P	7.1	Deckschicht: $\mu = 0,87$ Abbauböschung: $\mu = 0,69$
Ostseite mit Ersatzwindkraftanlage 2 in $a = 10$ m von der Steinbruchabbaukante Fundamentdurchmesser $d = 48$ m max. Fundamentrandspannung $\sigma = 515 \text{ kN/m}^2$ H-Kraft $H = 94 \text{ kN/m}$	BS-E	7.2	Deckschicht: $\mu = 0,74$ Abbauböschung: $\mu = 0,57$

Die Stabilität der Deckschichtböschungen wird von der Platzierung einer Windkraftanlage nicht beeinflusst, da die Fundamentierung und damit die Lasteintragung aus der Windkraftanlage unterhalb der Deckschicht auf Oberkante des Weißjurakalksteins erfolgt. Die Erhöhung der Auslastung der Deckschichtböschung gegenüber den Berechnungen in Kap. 6 ergibt sich durch die auf der sicheren Seite liegende Berücksichtigung einer 2 m hohen Wallschüttung zwischen dem Kopf der Deckschichtböschung und der jeweiligen Windkraftanlage.

Wie aus den Berechnungsergebnissen klar hervorgeht, ist die projektierte Abbauböschung auf der Ostseite mit einer Abbauhöhe von 75 m im Weißjura-Kalkstein auch bei Platzierung einer Windkraftanlage einem Abstand von 10 m von der Abbaukante für denkbare künftige Windkraftanlagen ausreichend standsicher, die maximale Auslastung der Abbauböschung beträgt $\mu = 0,69 < 1,0$. Die maximale Auslastung der Deckschichtböschung ergibt sich zu $\mu = 0,87 < 1,0$.

In der Standsicherheit der Abbauböschungen stecken hinreichend Reserven, so dass auch eine mögliche zukünftige Entwicklung zu noch größeren Windkraftanlagen für das Windkraftvorranggebiet im Abstand von $a = 10$ m von der Steinbruchabbaukante möglich sein wird.

Ausgeführte Berechnungen, die aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht dargestellt sind, für eine Abbauhöhe von 110 m im Weißjura-Kalkstein zeigen bei Ansatz der Windkraftersatzanlagen im Abstand von 10 m von der Abbaukante eine maximale Auslastung der ungünstigsten

Gleitfläche von $\mu = 0,71 < 1,0$ und belegen die reichlich vorhandenen Sicherheitsreserven in der beantragten Abbauböschung von 75 m Höhe im Weißjura-Kalkstein.

Die vorstehend gemachten Ausführungen gelten sinngemäß auch für die Abbauböschungen auf der Südseite (Aufschlussbereich), in dem die Abbauhöhe geringer ist.

Die Auslastungen in der BS-E sind trotz Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Zusatzbeschleunigung geringer als in der BS-T, da die Abminderungen für die Widerstände entsprechend den Vorschriften in der BS-E 1,0 betragen gegenüber 1,25 in der BS-T.

8. Standsicherheitsberechnungen der Kippenböschungen

Die Verfüllung des Steinbruchs erfolgt mit nicht als Rohstoff geeignetem Eigenmaterial und mit angeliefertem Fremdmaterial.

Ausgehend von den vorliegenden langjährigen Erfahrungen im Steinbruch „Am gelben Stein“ sind Kippenneigungen von 1 : 1,2 bis 1 : 1,6 bekannt. Es handelt sich dabei um die Grenzneigungen, die sich beim Abkippen ohne weitere besondere Verdichtung eingestellt haben.

Durch Rückrechnung der Kippenböschungen im Steinbruch „Am gelben Stein“ können wirksame Kohäsionen ermittelt werden.

Für die Verkippung mit Eigenmassen des Steinbruchs wurden folgende Parameter angenommen und dabei eine Grenzneigungneigung von 1:1,2 angesetzt:

Auffüllmaterial Eigenmaterial

Wichte $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel $\varphi' = 32,5^\circ$

Die Kohäsion wurde bei Teilsicherheiten von $\gamma = 1,0$ solange verändert bis sich eine Auslastung von gerade $\mu \approx 1,0$ ergeben hat. Damit ergibt sich eine wirksame Kohäsion von $c' = 2,0 \text{ kN/m}^2$ (Anlage 8.1).

Bei einer Verfüllung mit bindigen Fremdmaterial wurde eine Grenzneigung von 1:1,6 angesetzt und von folgenden Basisdaten ausgegangen:

Auffüllmaterial bindiges Fremdmaterial

Wichte $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel $\varphi' = 25^\circ$

Die Kohäsion wurde bei Teilsicherheiten von $\gamma = 1,0$ solange verändert bis sich eine Auslastung von gerade $\mu \approx 1,0$ ergeben hat. Damit ergibt sich eine wirksame Kohäsion von $c' = 2,5 \text{ kN/m}^2$ (Anlage 8.2).

Als Standardkippenböschung wird von einer Böschungshöhe von $H = 9,0$ m ausgegangen und für diese Böschungshöhe die Standsicherheit für den Bauzustand (Bemessungssituation BS-T, Teilsicherheitsbeiwerte für Reibungswinkel und Kohäsion $\gamma = 1,15$) berechnet:

Verfüllung mit Eigenmaterial

Auffüllmaterial Eigenmaterial

Wichte	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 2,0 \text{ kN/m}^2$ (Kapillarkohäsion)

Böschungshöhe $H = 9$ m, Böschungsneigung 1:1,5, Auslastung $\mu = 0,95 < 1,0$. (Anlage 9)

Verfüllung mit Fremdmaterial

Auffüllmaterial Fremdmaterial

Wichte	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 25^\circ$
Kohäsion	$c' = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Böschungshöhe $H = 9$ m, Böschungsneigung 1:1,8, Auslastung $\mu = 1,03 > 1,0$. (Anlage 10.1)

Böschungshöhe $H = 9$ m, Böschungsneigung 1:1,9, Auslastung $\mu = 0,98 < 1,0$. (Anlage 10.2)

Böschungshöhe $H = 9$ m, Böschungsneigung 1:2,0, Auslastung $\mu = 0,94 < 1,0$. (Anlage 10.3)

Böschungshöhe $H = 13$ m, Böschungsneigung 1:2,0, Auslastung $\mu = 0,98 < 1,0$. (Anlage 10.4)

Daraus ergibt sich für die Kippenböschungen:

- Bei einer Verwendung von überwiegendem Material aus dem Steinbruch (Eigenmaterial) sind Kippenböschungen bei Kippenhöhen bis 9 m mit Neigungen von 1:1,5 oder flacher ausreichend standsicher.
- Bei der Verwendung von Fremdmaterial sind Kippenböschungen bei Kippenhöhen bis 9 m mit Neigungen von 1: 1,9 oder flacher ausreichend standsicher.
- Bei der Verwendung von Fremdmaterial sind Kippenböschungen bei Kippenhöhen bis 13 m mit Neigungen von 1: 2 oder flacher ausreichend standsicher.

9. Zusammenfassung

Durch die ausgeführten Standsicherheitsberechnungen konnte nachgewiesen werden:

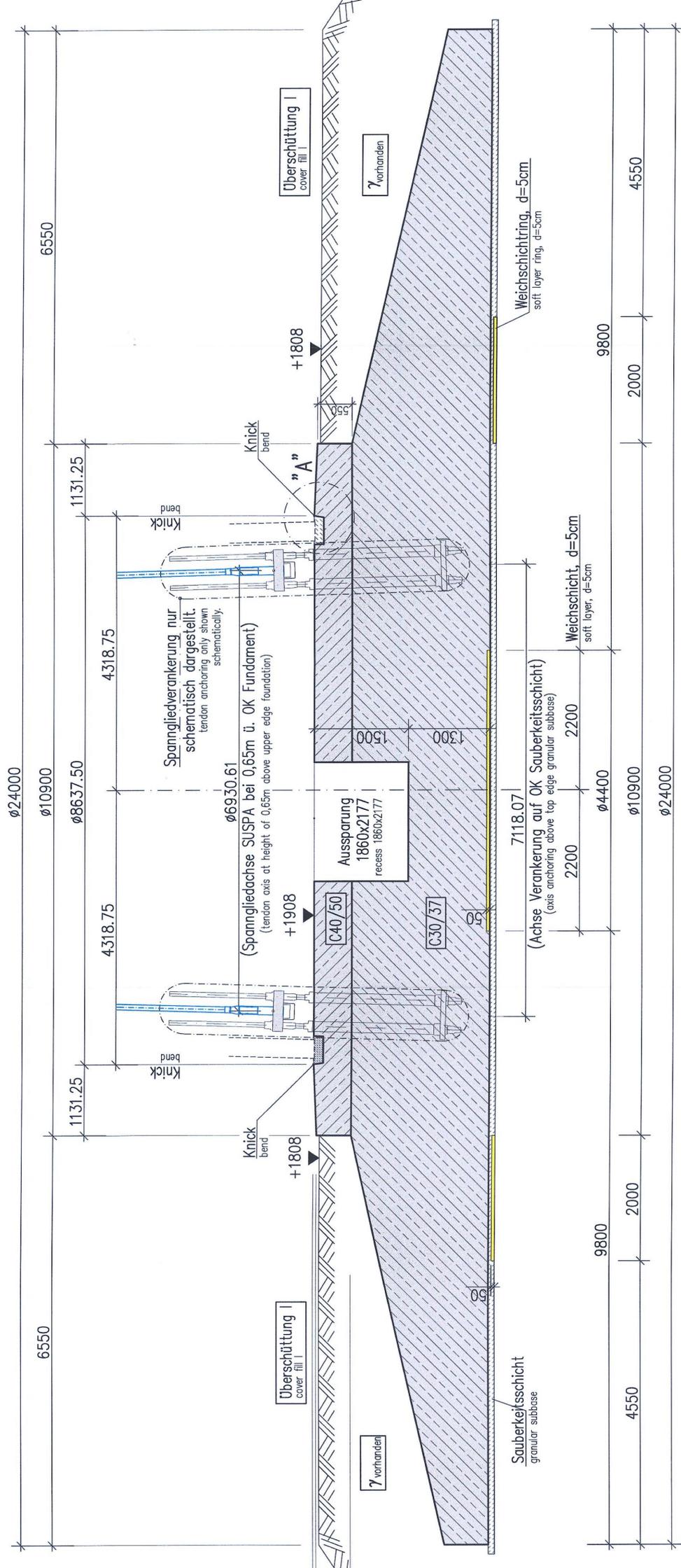
- Die geplanten Abbauböschungen können in allen Bereichen mit einer ausreichenden Standsicherheit ausgeführt werden.
- Die geplanten Abbauböschungen sind auch bei Anordnung von Windkraftanlagen jedweden Typs (Ersatzwindkraftanlage 2) im Abstand von 10 m von der Abbaukante im Weißjurafels ausreichend standsicher.
- Durch die Berücksichtigung der fiktiven Ersatzwindkraftanlage 2, die gegenüber derzeit gebräuchlichen Anlagen eine Verdoppelung der Fundamentbelastung berücksichtigt, ist die Errichtung neuester Anlagentechnik möglich und künftige Weiterentwicklungen in der Windkraftanlagenentwicklung sind im Vorranggebiet möglich, ohne dass es zu Einschränkungen in der Standsicherheit der Abbauböschungen kommt.
- Für die Kippenböschungen im Zuge der Verfüllung wurden in Abhängigkeit vom Verfüllmaterial und der Kippenböschungshöhe zulässige Böschungsneigungen ermittelt.



Prof. Rolf Schrodi



Von der Industrie- und Handelskammer
Ulm öffentlich bestellter und
vereidigter Sachverständiger für
Erd- und Grundbau; Felsböschungen
Zertifizierte Radonfachperson



Die maximale Schiefstellung infolge Baugrundsetzungen duerfen gemaß der DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012, folgenden Wert nicht überschreiten:
 The maximum tilt due to differential settlements must not exceed the following value, according to DIBt-guidline, edition october 2012:

In 25 Jahren
 3mm/m
 in 25 years
 3mm/m

Im Lastfall BS-P nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung:
 In loadcase BS-P, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:

$$\sigma_{R,k} = 257,5 \text{ kN/m}^2$$

Im Lastfall BS-A nach DIN 1054:2010 ergibt sich rechnerisch folgende max. charakteristische Kantenpressung:
 In loadcase BS-A, DIN 1054:2010, a maximum characteristic edge pressure has been calculated:

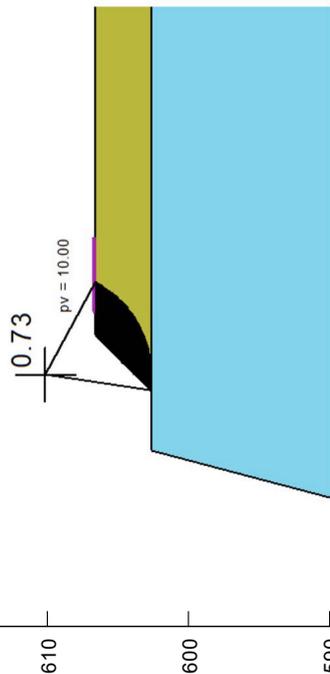
$$\sigma_{R,k} = 357,4 \text{ kN/m}^2$$

Alle Werte sind durch den Baugrundgutachter für den jeweiligen Standort zu bestätigen.
 All values has to be verified by the building geotechnical expert for the specific location.

Der Grundbruchnachweis ist vom Baugrundgutachter zu erbringen. Dabei ist die mittlere Bodenpressung mit den Lasten aus folgender Tabelle zu ermitteln:
 Zusätzlich sind die Lasten der Erdüberschüttung und des Auftriebs gemäß den Planungen für den jeweiligen Standort der Windenergieanlagen anzusetzen.
 The verification against soil rupture has to be carried out by the building geotechnical expert. For this, the mean soil pressure has to be calculated with the loads given in the following table:
 Additionally the loads stemming from the earth cover and the buoyancy according to the design need to be taken into account for the respective wind turbine location.

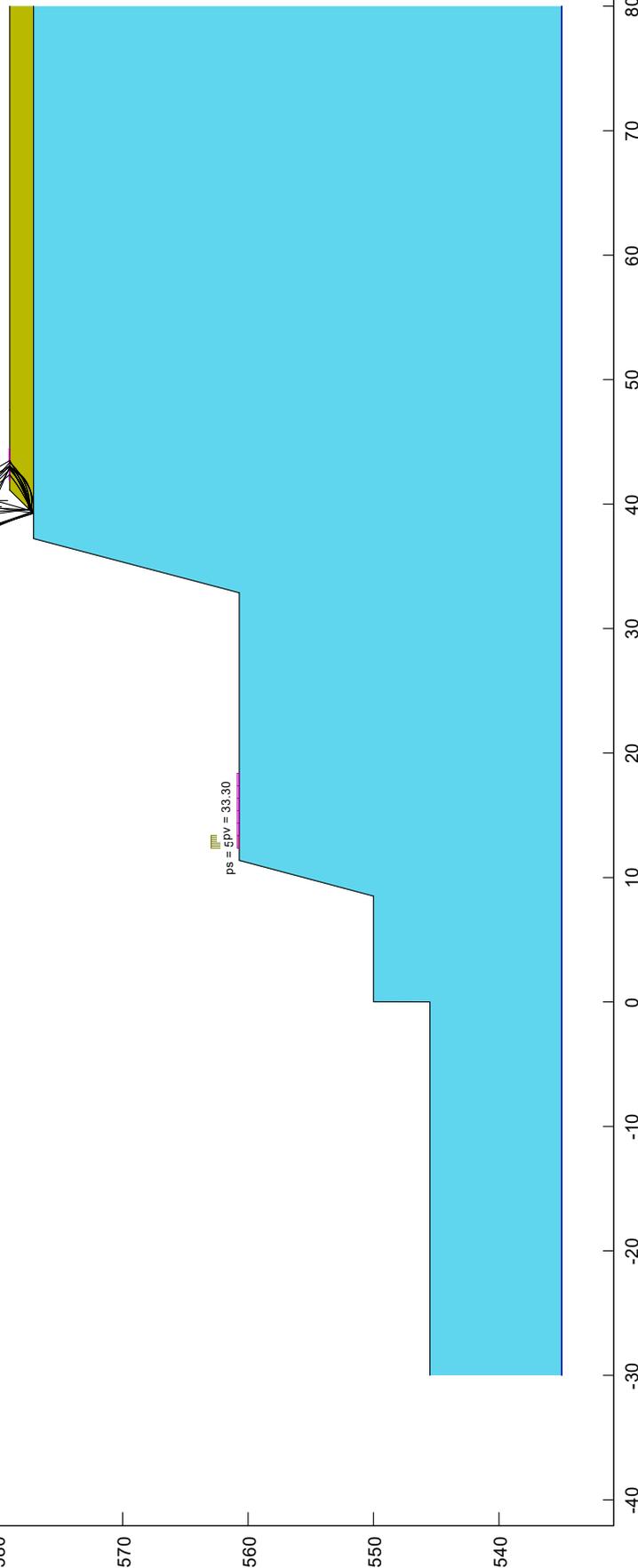
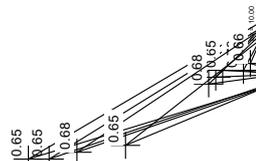
Maximale charakteristische Lasten ($\gamma_E=1,00$) in der Sohlfuge der Gruendung (exkl. Erdüberschüttung, Auftrieb und etwaiger Anbauteile) Maximum characteristic loads ($\gamma_E=1,00$) in the joint between bottom of foundation and soil (excl. earth cover fill, hydrostatic uplift and possible mounting parts)			
	BS-P (DIN 1054:2010)	BS-T (DIN 1054:2010)	BS-A (DIN 1054:2010)
Vk [kN]	35139	34654	35448
Hk [kN]	1115	599	1577
Mk [kNm]	178216	65867	231401

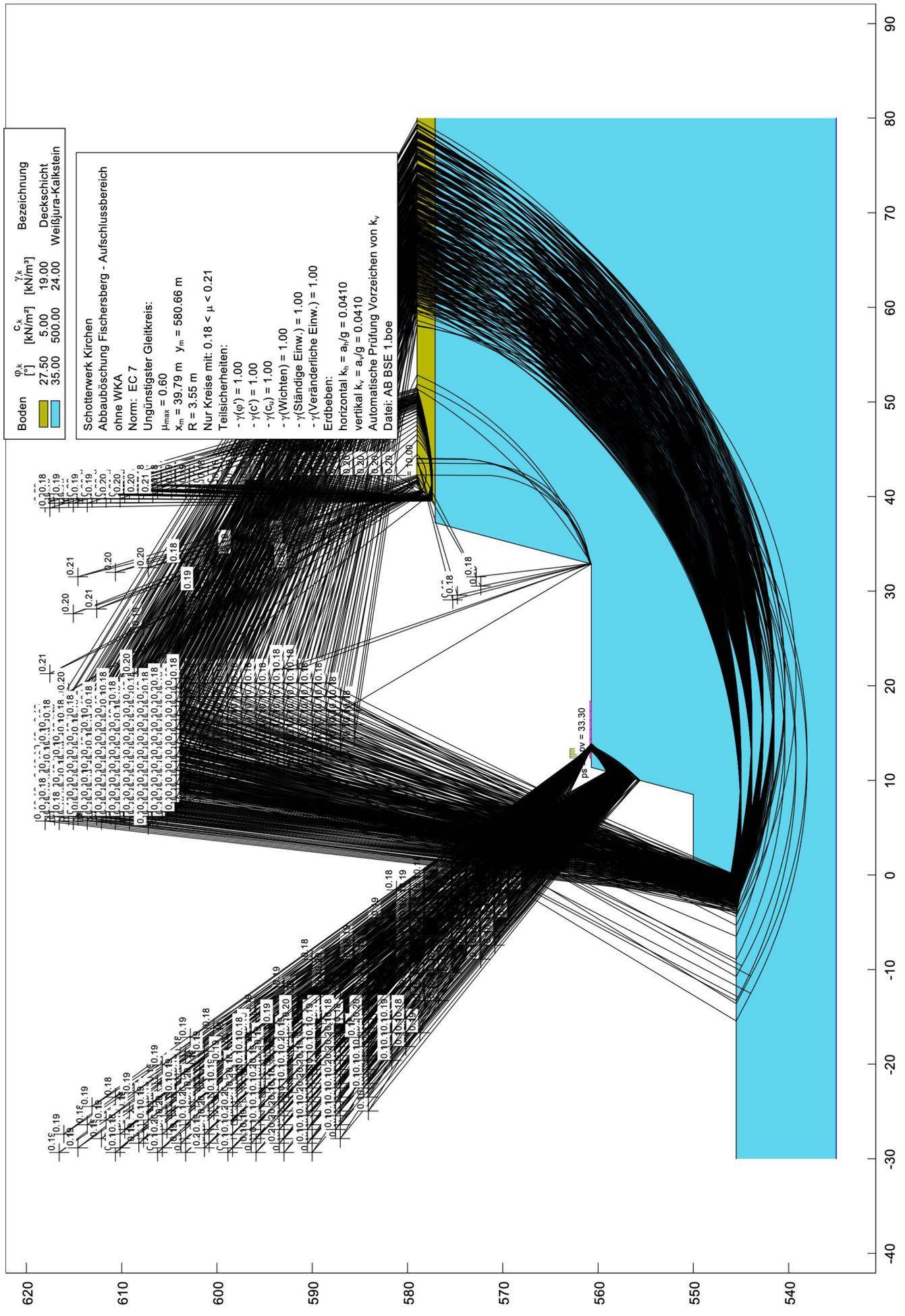
Detail:
kritische Gleitfläche in der Deckschichtböschung



Boden	ϕ^k [°]	c_k [kN/m ²]	γ^k [kN/m ³]	Bezeichnung
■	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
■	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

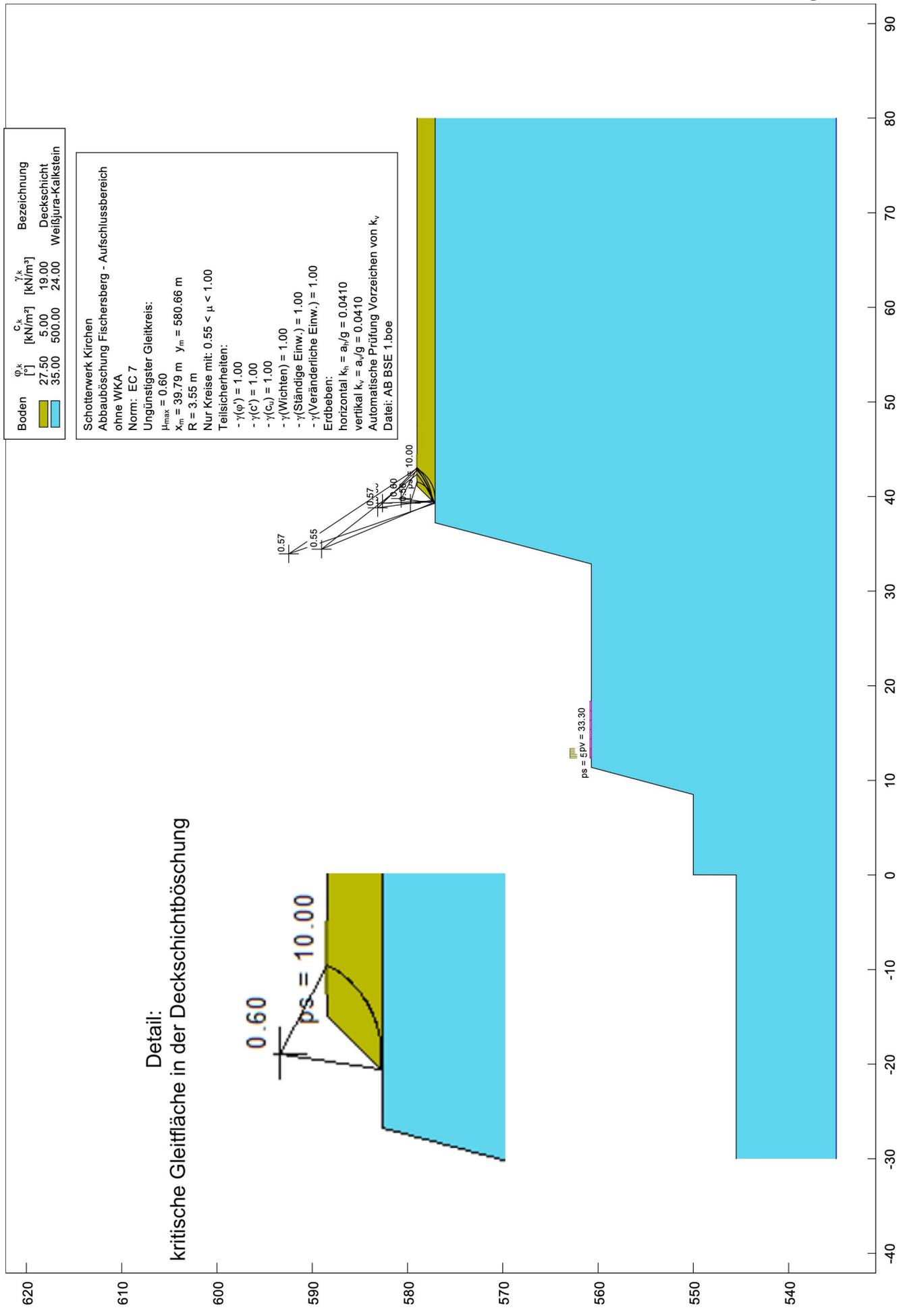
Schotterwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - Aufschlussbereich
 ohne WKA
 Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.73$
 $x_m = 39.79$ m $y_m = 580.66$ m
 $R = 3.55$ m
 Nur Kreise mit: $0.65 < \mu < 0.75$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi^k) = 1.25$
 - $\gamma(c^k) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(Wichten) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 Datei: AB BSP 1.boe





Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

Schotterwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - Aufschlussbereich
 ohne WKA
 Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.60$
 $x_m = 39.79$ m $y_m = 580.66$ m
 $R = 3.55$ m
 Nur Kreise mit: $0.18 < \mu < 0.21$
 Teilsicherheiten:
 $-\gamma(\phi) = 1.00$
 $-\gamma(c) = 1.00$
 $-\gamma(c_u) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.00$
 Erdbeben:
 horizontal $k_h = a_h/g = 0.0410$
 vertikal $k_v = a_v/g = 0.0410$
 Automatische Prüfung Vorzeichen von k_v
 Datei: AB BSE 1.boe



Detail:
kritische Gleitfläche in der Deckschichtböschung

Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

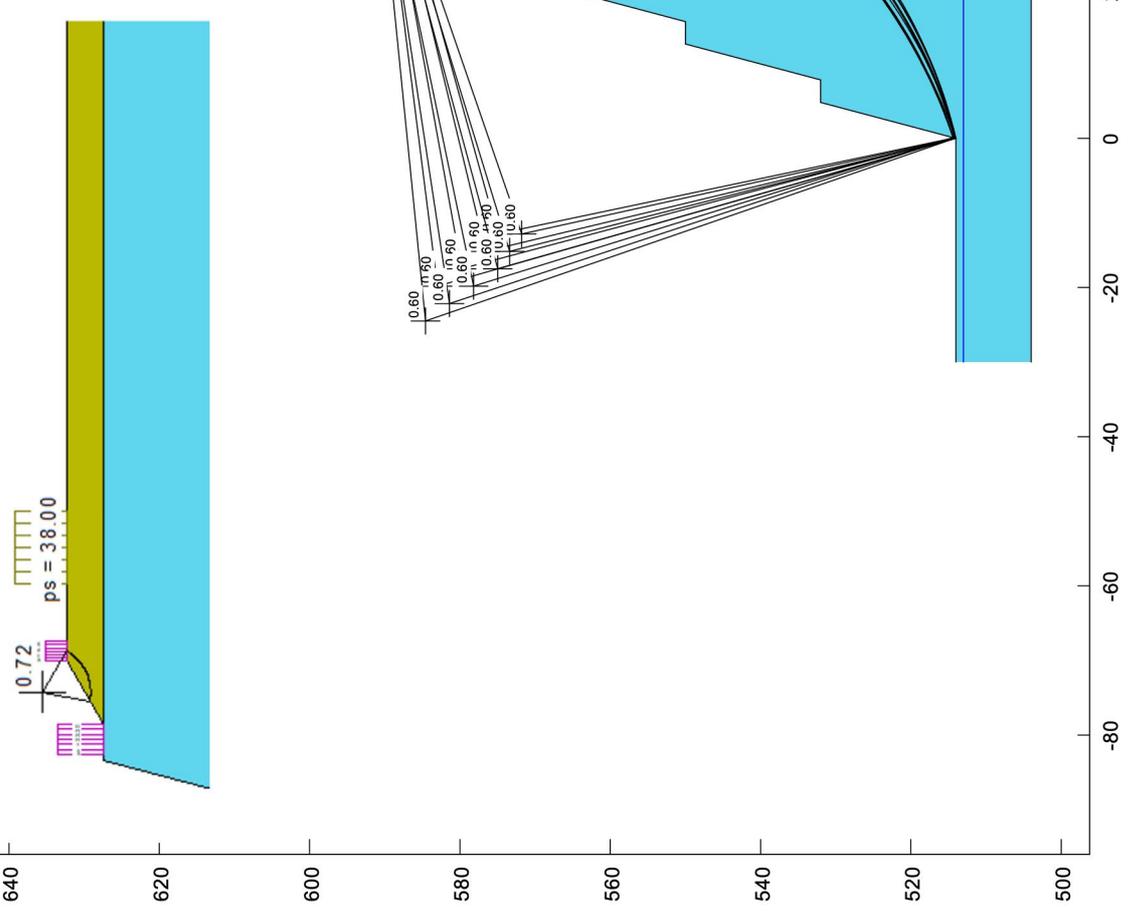
Schotterwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - Aufschlussbereich
 ohne WKA

Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.72$
 $x_m = 34.74$ m $y_m = 593.94$ m
 $R = 3.90$ m

Nur Kreise mit: $0.60 < \mu < 1.00$

Teilsicherheiten:
 $-\gamma(\phi') = 1.25$
 $-\gamma(c) = 1.25$
 $-\gamma(c_u) = 1.25$
 $-\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Datei: OS BSP 1 ohne WKA.boe



Boden	$\phi_{i,k}$ [°]	$c_{i,k}$ [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

Schottenwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - Ostseite
 ohne WKA

Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:

$\mu_{max} = 0.60$
 $x_m = 34.46 \text{ m}$ $y_m = 594.94 \text{ m}$
 $R = 5.29 \text{ m}$

Nur Kreise mit: $0.50 < \mu < 1.00$

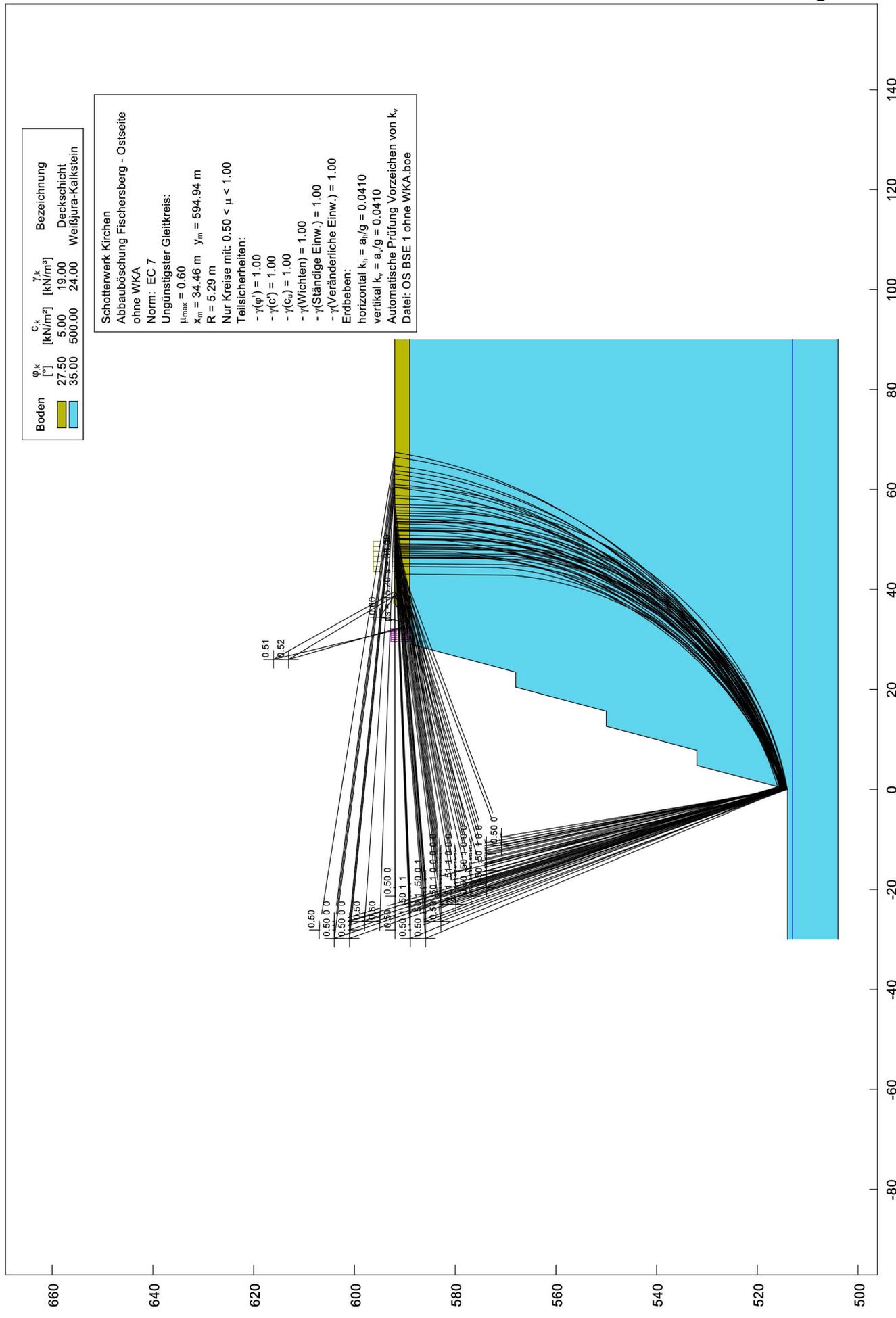
Teilsicherheiten:

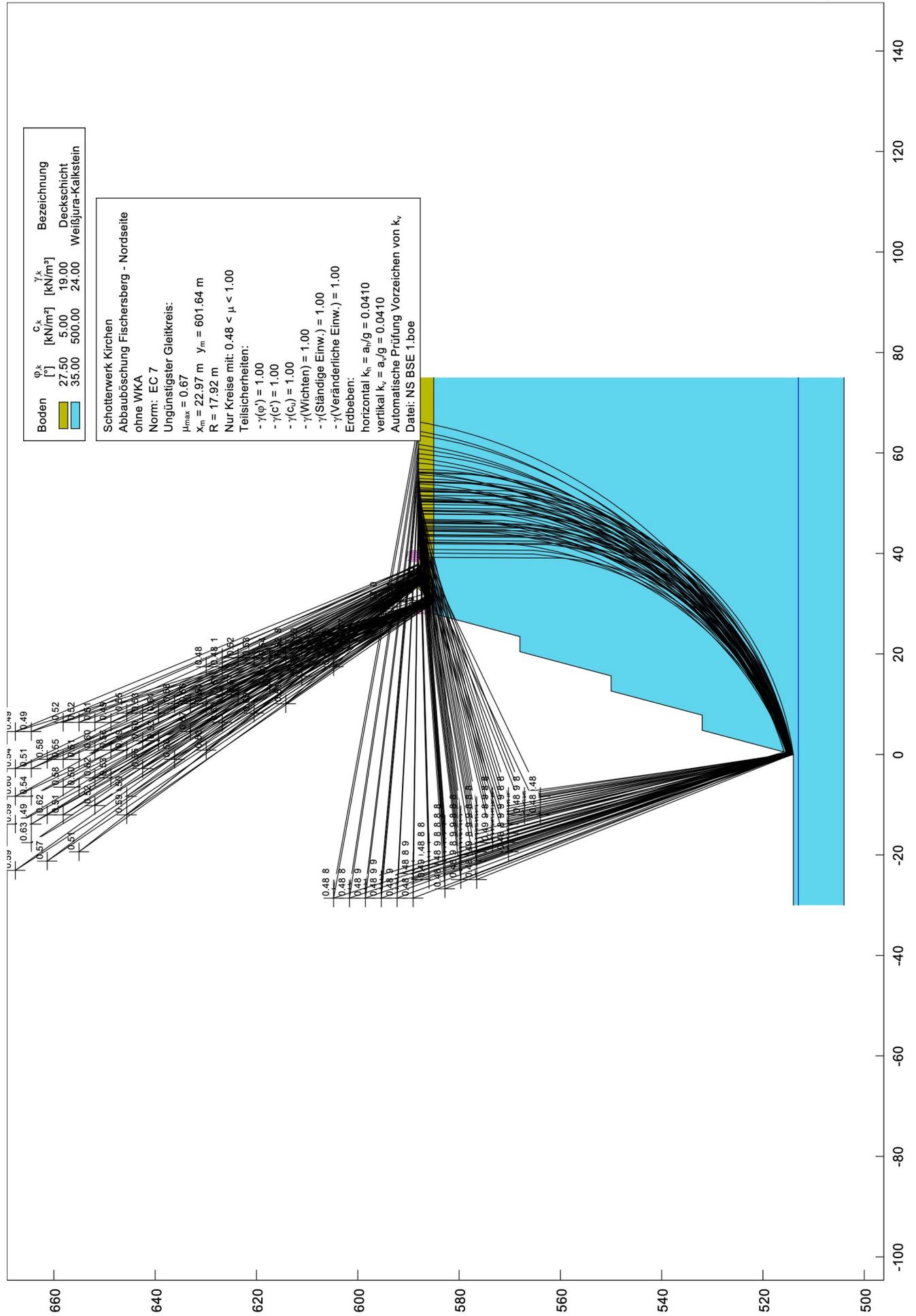
- $\gamma(\phi^*) = 1.00$
- $\gamma(c_i) = 1.00$
- $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
- $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
- $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.00$

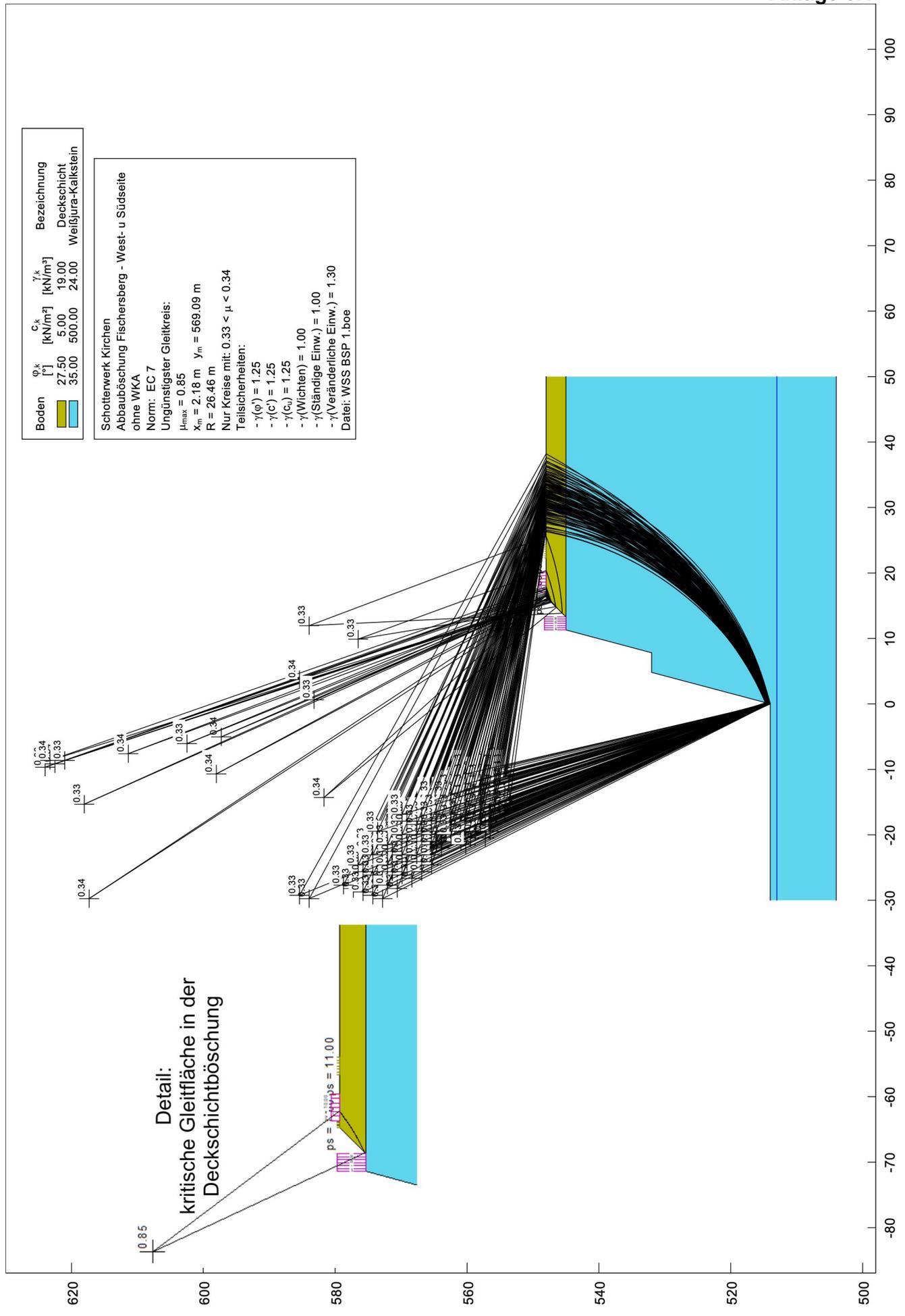
Erdbeben:

- horizontal $k_h = a_h/g = 0.0410$
- vertikal $k_v = a_v/g = 0.0410$

Automatische Prüfung Vorzeichen von k_v
 Datei: OS BSE 1 ohne WKA.boe







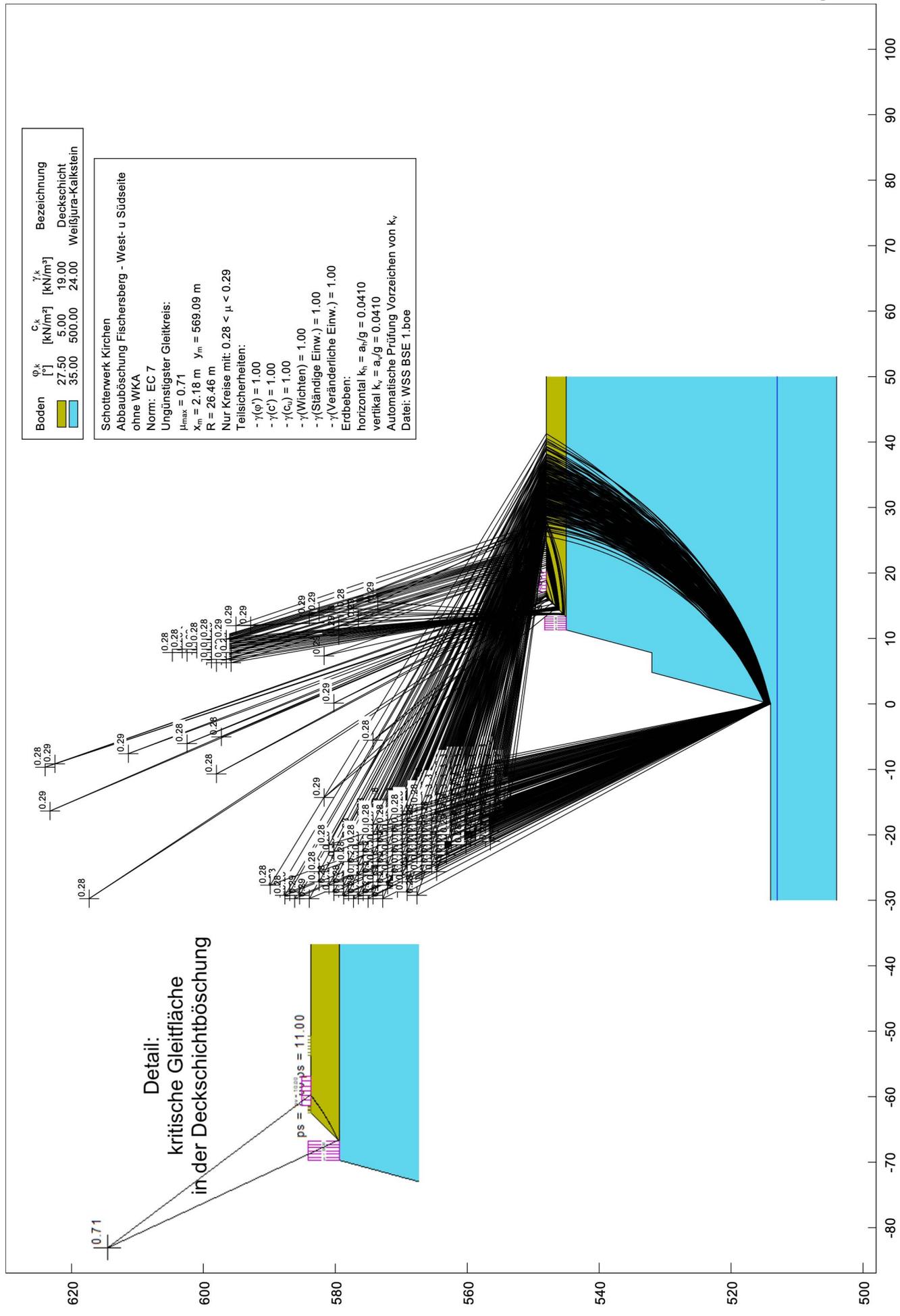
Boden	ϕ^0_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

Schotterwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - West- u Südseite
 ohne WKA

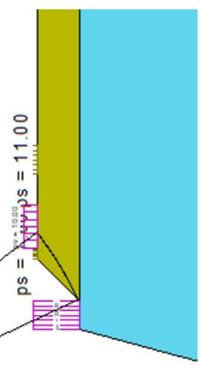
Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{\text{max}} = 0.71$
 $x_m = 2.18 \text{ m}$ $y_m = 569.09 \text{ m}$
 $R = 26.46 \text{ m}$
 Nur Kreise mit: $0.28 < \mu < 0.29$

Teilsicherheiten:
 $-\gamma(\phi^0) = 1.00$
 $-\gamma(c) = 1.00$
 $-\gamma(c_u) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $-\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.00$

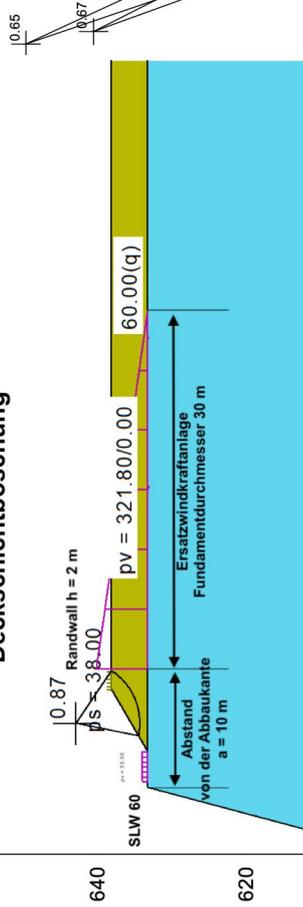
Erdbeben:
 horizontal $k_h = a_h/g = 0.0410$
 vertikal $k_v = a_v/g = 0.0410$
 Automatische Prüfung Vorzeichen von k_y
 Datei: WSS BSE 1.boe



Detail:
 kritische Gleitfläche
 in der Deckschichtböschung

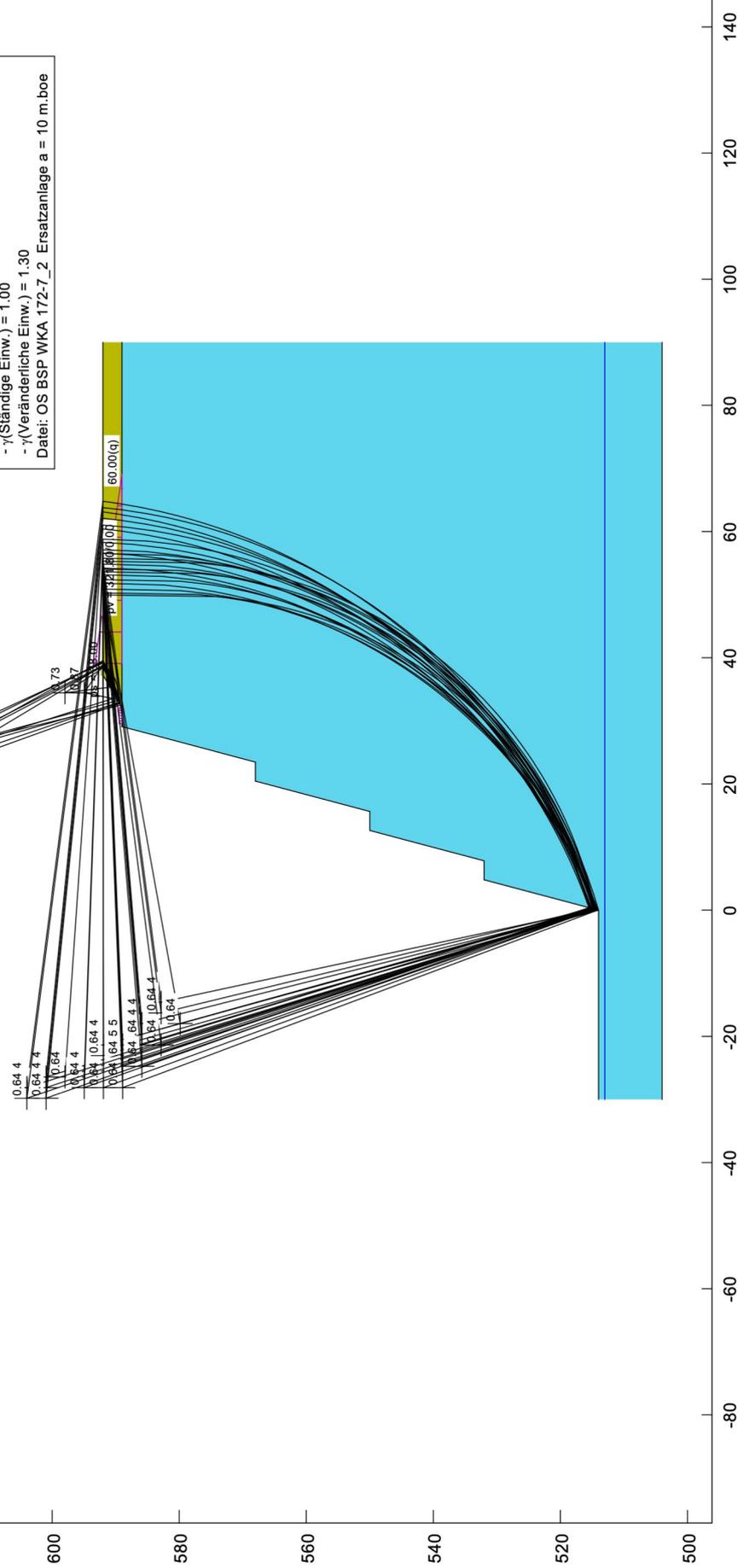


**Detail: Abstände und
Deckschichtböschung**

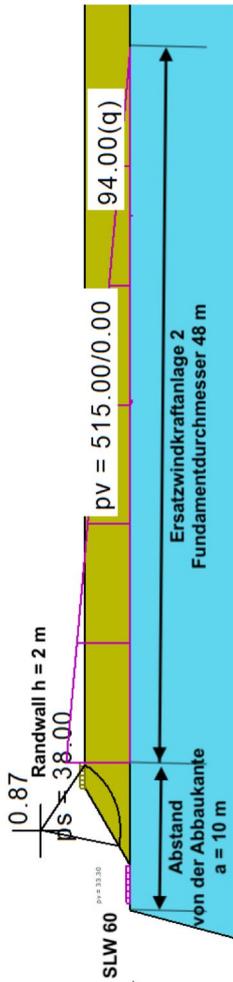


Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

Schotterwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - Ostseite
 mit WKA dreieckförmig + H-Last
 Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.87$
 $x_m = 34.46 \text{ m}$ $y_m = 594.94 \text{ m}$
 $R = 5.29 \text{ m}$
 Nur Kreise mit: $0.64 < \mu < 1.00$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi^*) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 Datei: OS BSP WKA 172-7_2 Ersatzanlage a = 10 m.boe

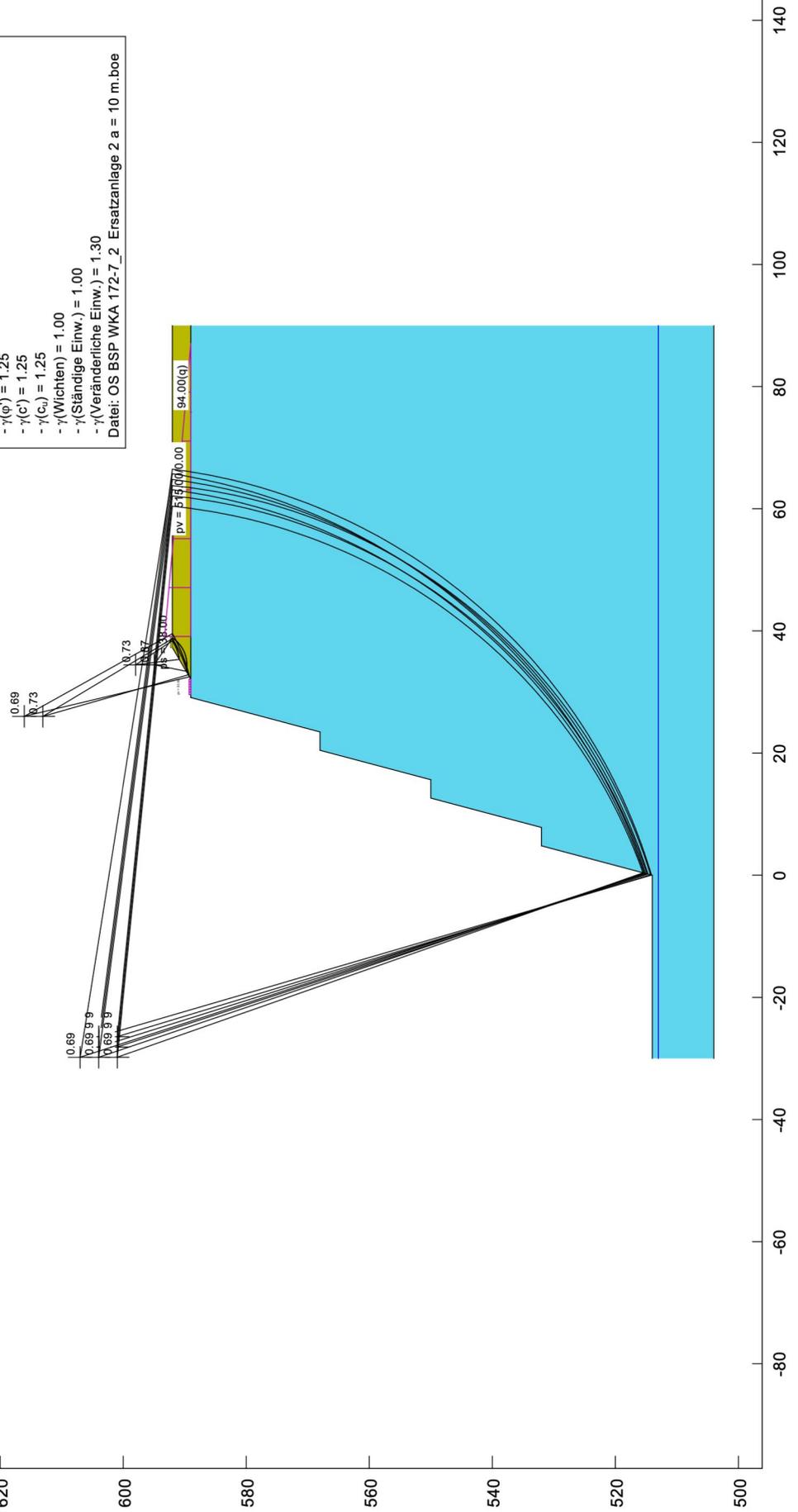


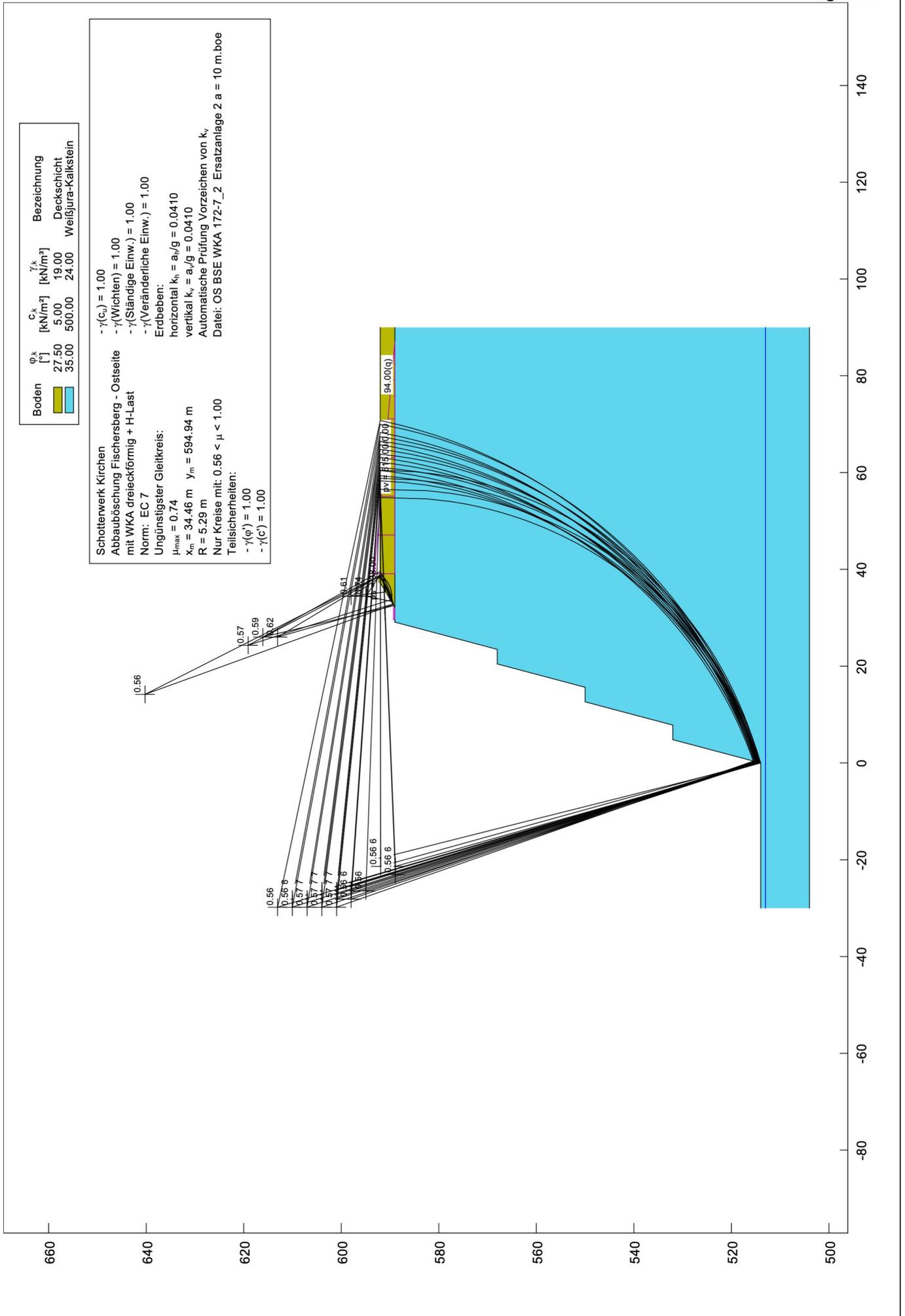
Detail: Abstände, Belastungen und Deckschichtböschung

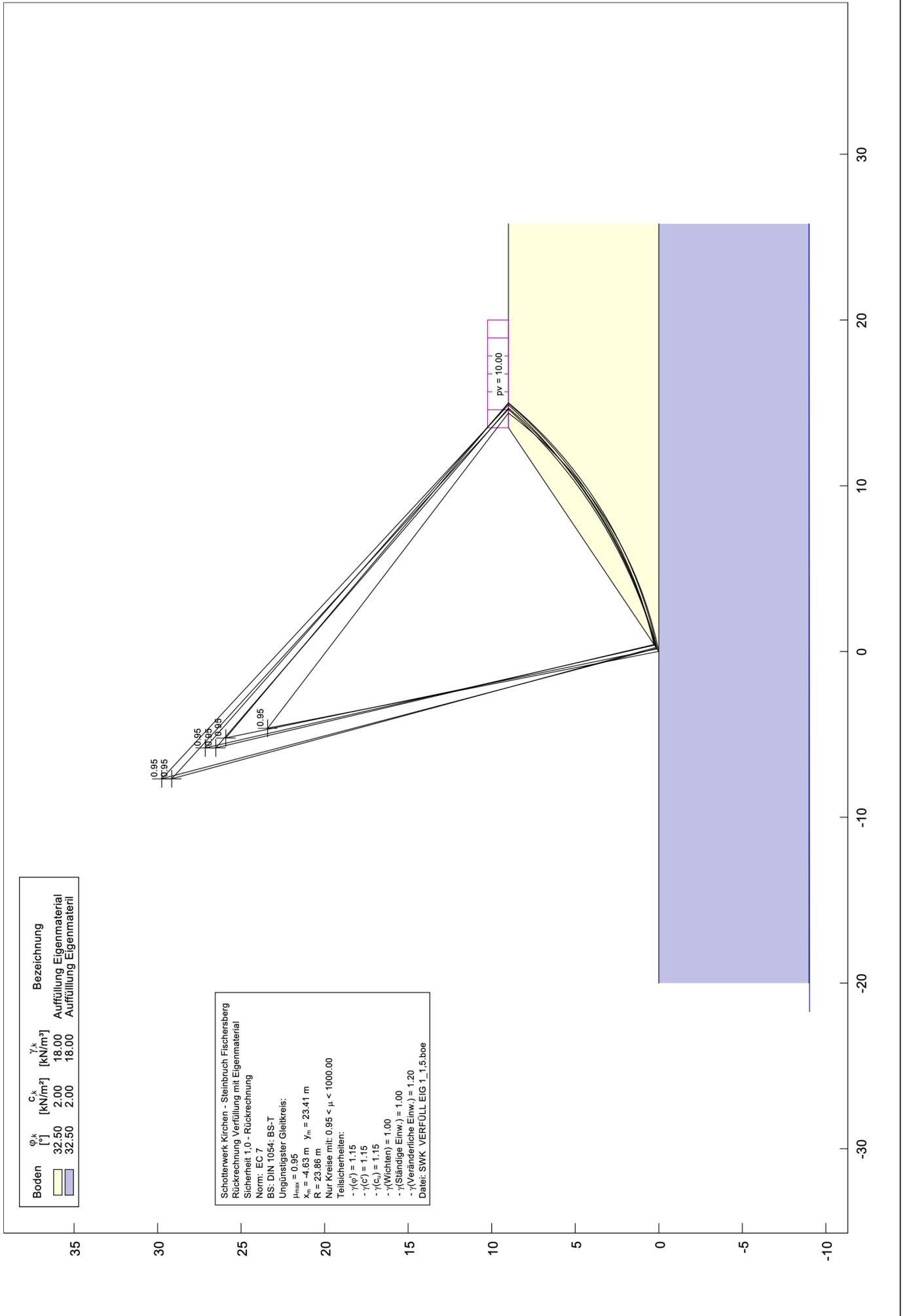


Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	5.00	19.00	Deckschicht
	35.00	500.00	24.00	Weißjura-Kalkstein

Schotterwerk Kirchen
 Abbauböschung Fischersberg - Ostseite
 mit WKA dreieckförmig + H-Last
 Norm: EC 7
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.87$
 $x_m = 34.46$ m $y_m = 594.94$ m
 $R = 5.29$ m
 Nur Kreise mit: $0.69 < \mu < 1.00$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi^*) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 Datei: OS BSP WKA 172-7_2 Ersatzanlage 2 a = 10 m.boe

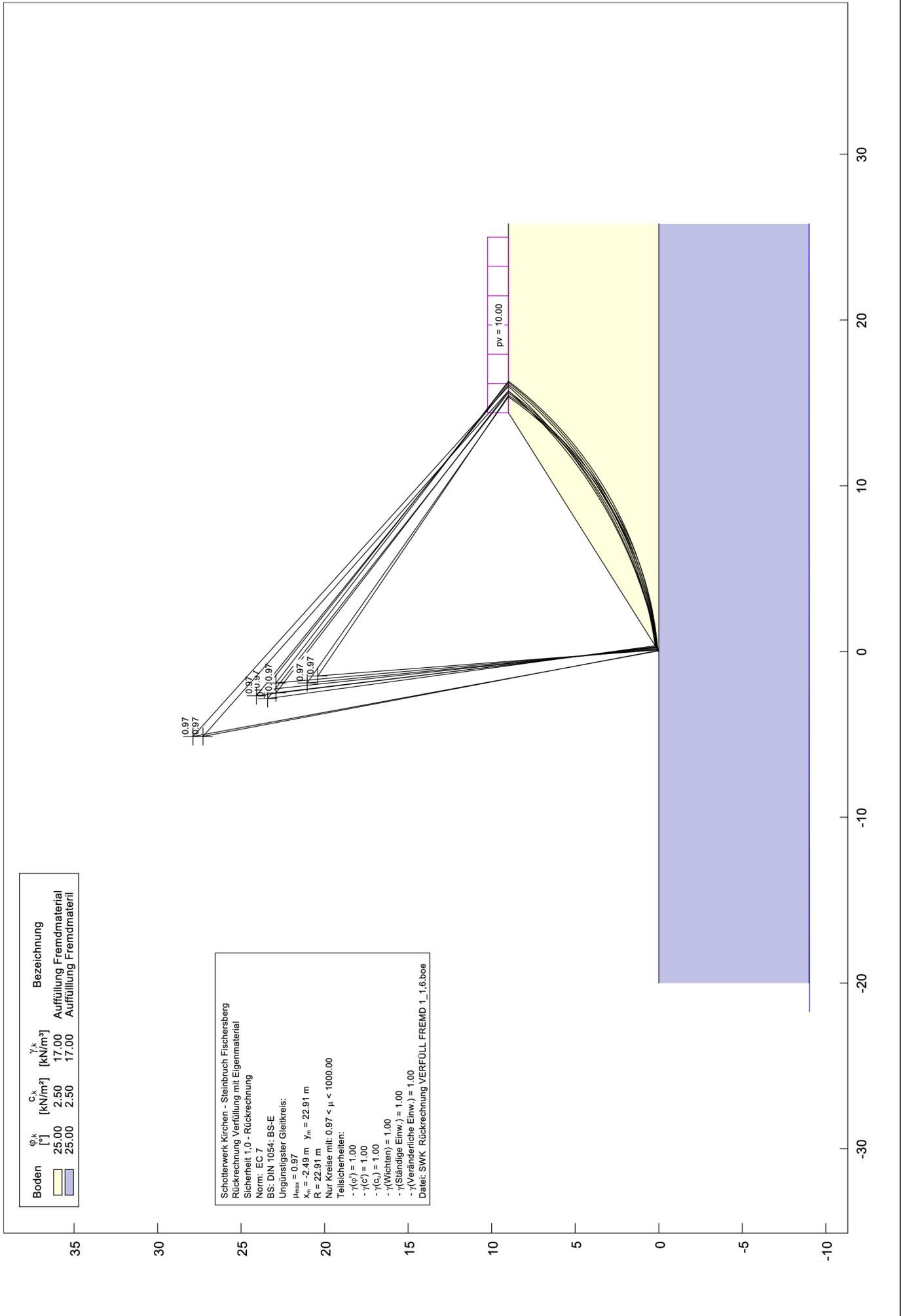


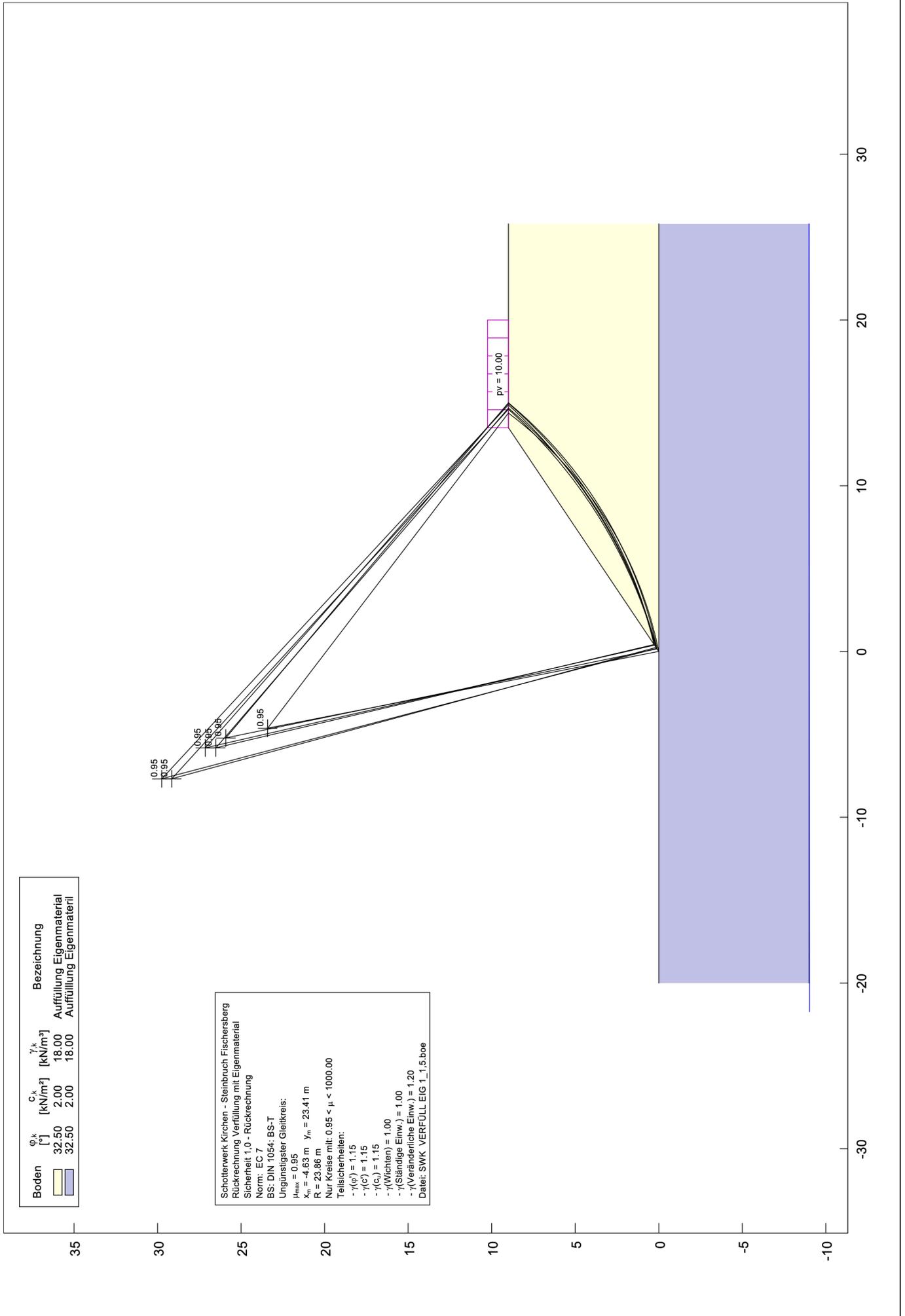




Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	32.50	2.00	18.00	Auffüllung Eigenmaterial
	32.50	2.00	18.00	Auffüllung Eigenmaterial

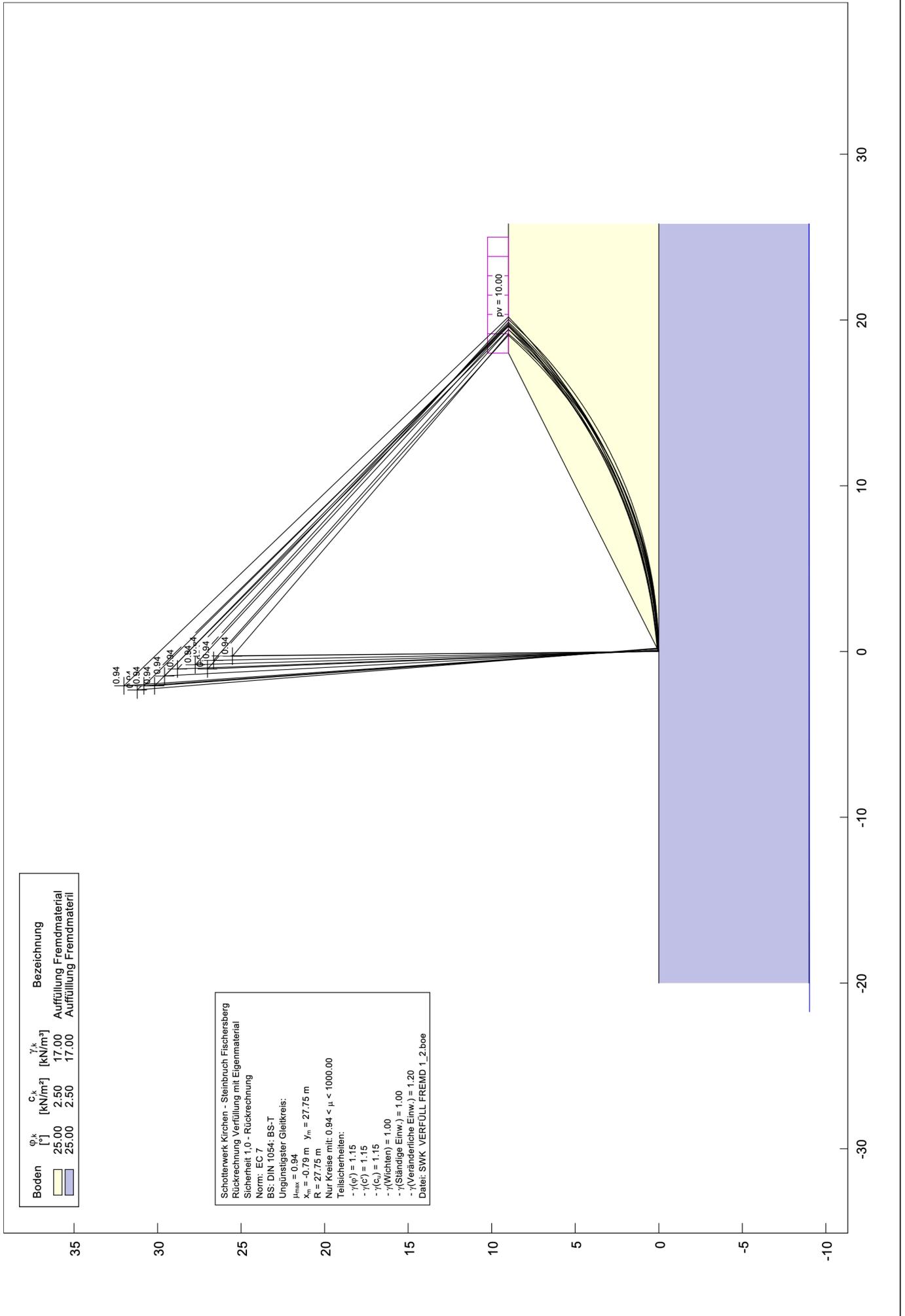
Schotterwerk Kirchen - Steinbruch Fischersberg
 Rückrechnung Verfüllung mit Eigenmaterial
 Sicherheit: 1,0 - Rückrechnung
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054; BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.95$
 $x_m = -4.63$ m $y_m = 23.41$ m
 $R = 23.86$ m
 Nur Kreise mit: $0.95 < \mu < 1000.00$
 Teilsicherheiten:
 $- \gamma(\phi) = 1.15$
 $- \gamma(c_k) = 1.15$
 $- \gamma(\gamma_k) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$
 Datei: SWK VERFÜLL EIG_1_1.5.boe





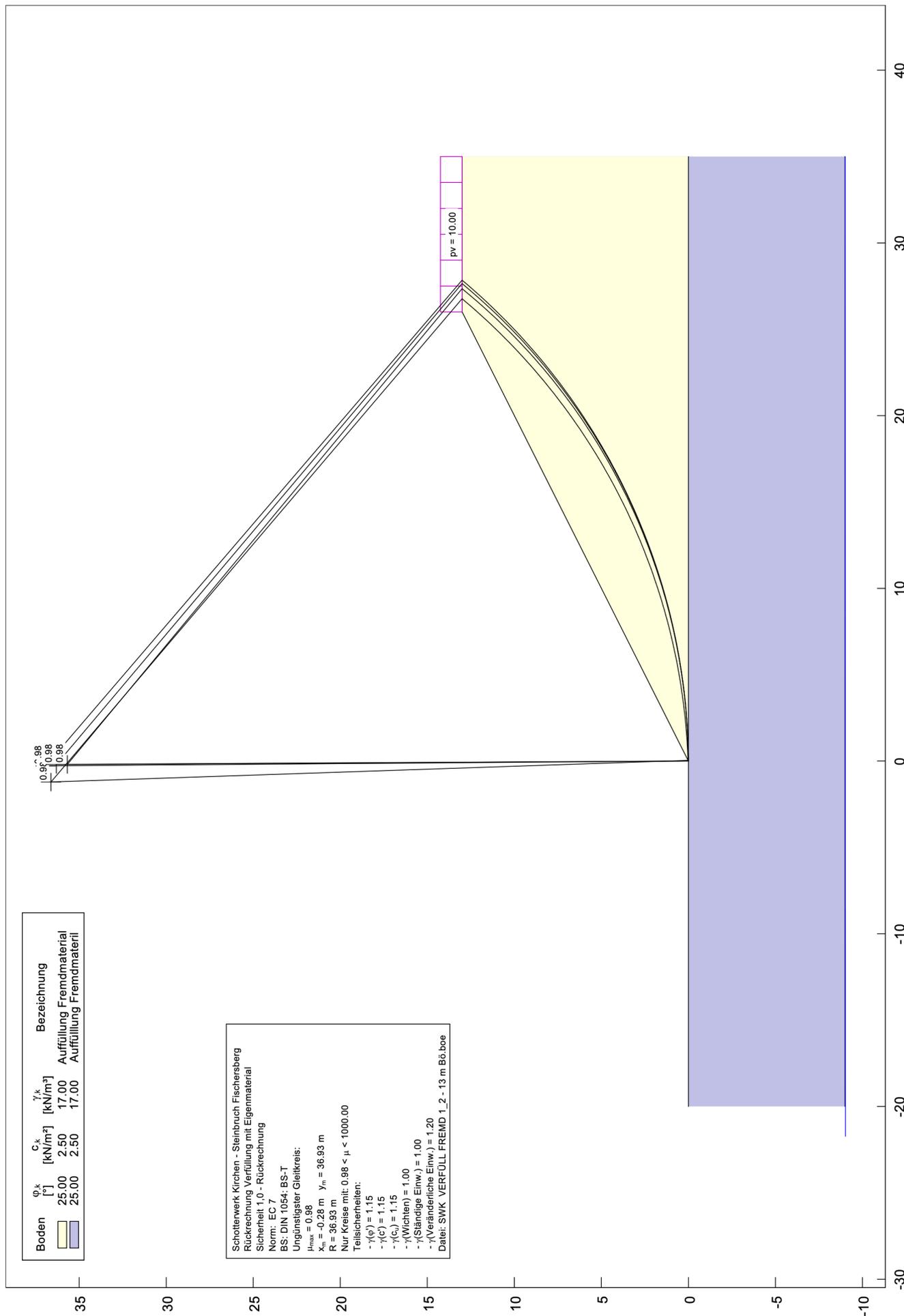
Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	32.50	2.00	18.00	Auffüllung Eigenmaterial
	32.50	2.00	18.00	Auffüllung Eigenmaterial

Schotterwerk Kirchen - Steinbruch Fischersberg
 Rückrechnung Verfüllung mit Eigenmaterial
 Sicherheit: 1,0 - Rückrechnung
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054: BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.95$
 $x_m = -4.63$ m $y_m = 23.41$ m
 $R = 23.86$ m
 Nur Kreise mit: $0.95 < \mu < 1000.00$
 Teilsicherheiten:
 $- \gamma(\phi) = 1.15$
 $- \gamma(c_k) = 1.15$
 $- \gamma(\gamma_k) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$
 Datei: SWK VERFÜLL EIG_1_1.5.boe



Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	25.00	2.50	17.00	Auffüllung Fremdmaterial
	25.00	2.50	17.00	Auffüllung Fremdmaterial

Schotterwerk Kirchen - Steinbruch Fischersberg
 Rückrechnung Verfüllung mit Eigenmaterial
 Sicherheit: 1,0 - Rückrechnung
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054; BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{\text{max}} = 0.94$
 $x_m = -0.79$ m $y_m = 27.75$ m
 $R = 27.75$ m
 Nur Kreise mit: $0.94 < \mu < 1000.00$
 Teilsicherheiten:
 $- \gamma(\phi) = 1.15$
 $- \gamma(c_k) = 1.15$
 $- \gamma(\gamma_k) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$
 Datei: SWK VERFÜLL FREMD 1_2_boo



Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	25.00	2.50	17.00	Auffüllung Fremdmaterial
	25.00	2.50	17.00	Auffüllung Fremdmaterial

Schotterwerk Kirchen - Steinbruch Fischersberg
 Rückrechnung Verfüllung mit Eigenmaterial
 Sicherheit: 1,0 - Rückrechnung
 Norm: EC 7
 BS: DIN 1054; BS-T
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.98$
 $x_m = -0.28$ m $y_m = 36.93$ m
 $R = 36.93$ m
 Nur Kreise mit: $0.98 < \mu < 1000.00$
 Teilsicherheiten:
 $- \gamma(\phi) = 1.15$
 $- \gamma(c) = 1.15$
 $- \gamma(\gamma) = 1.15$
 $- \gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 $- \gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.20$
 Datei: SWK VERFÜLL FREMD 1_2 - 13 m B0.boe

0.98
 0.98
 0.98

pv = 10.00