

Sachverständige für
Geotechnik (Felsbau) des Eisenbahnbundesamtes
Schäden durch Hang- und Böschungsbewegungen

Objekt- und Tragwerksplanung L 3242 - Hangsicherung oberhalb Schwalbenthal / Meißner

Vorplanung

Erstattet für: Hessen Mobil Straßen- und
Verkehrsmanagement
Dezernat BA4, Fachbereich BA4.03
Schillerstraße 8
36 041 Fulda

Datum: 29. November 2016

geo - international
Dr. Johannes Feuerbach GmbH
Mombacher Straße 49-53
D - 55 122 Mainz
+49/(0)6131/387071
+49/(0)6131/387076

e-mail: mail@geo-international.info
www.geo-international.info



INHALT	SEITE
1 Vorbemerkungen	4
2 Rutschungshistorie	4
3 Geotechnische Modelle und Standsicherheitsberechnungen	5
4 Stützkonstruktionsvarianten	6
4.1 <i>Stützkonstruktionsvarianten 1. bis 3.</i>	7
4.2 <i>Variantenvergleich</i>	7
4.3 <i>Festlegung der Vorzugsvariante</i>	8
5 Schutzzonen	8
6 Kostenschätzung für die Varianten 1. und 2.	9
7 Rahmenterminplan für die Planung und Umsetzung der Vorzugsvariante	9

BENUTZTE UNTERLAGEN

- [1] UNIV.-PROF. DR. ING. ROLF KATZENBACH: Prüfbericht Nr. G1318/01: Osthang des Hohen Meißner, Werra-Meißner-Kreis, Hessen; 18.12.2014
- [2] GEOTECHNISCHES SACHVERSTÄNDIGENBÜRO DR.-ING. HABIL. BERND MÜLLER: Bearbeitungsnummer 1046: Abschlussbericht zur Erkundung und geotechnischen Untersuchung mutmaßlicher Hangbewegungen im Bereich des Osthanges am Hohen Meißner von der Quelle Wetterstollen bis zur Kalbe; 28.10.2010
- [3] GEOTECHNISCHES SACHVERSTÄNDIGENBÜRO DR.-ING. HABIL. BERND MÜLLER: Ergebnisbericht 2/14: zu Untersuchungen der Bewegungen am Osthang des Hohen Meißners über die geotechnische Beobachtungsmethode nach DIN 1054: 2010-12 vom 01.05.2014 – 19.12.2014; 18.12.2014
- [4] GEOTECHNISCHES SACHVERSTÄNDIGENBÜRO DR.-ING. HABIL. BERND MÜLLER: 56. Bericht August 2015 über die Ergebnisse der Inklinometermessungen im Bereich der Hangrutschung am Osthang des Hohen Meißners; 01.09.2015
- [5] GEOTECHNISCHES SACHVERSTÄNDIGENBÜRO DR.-ING. HABIL. BERND MÜLLER: 57. Bericht September 2015 über die Ergebnisse der Inklinometermessungen im Bereich der Hangrutschung am Osthang des Hohen Meißners; 01.10.2015
- [6] GEOTECHNISCHES SACHVERSTÄNDIGENBÜRO DR.-ING. HABIL. BERND MÜLLER: 61. Bericht Januar 2016 über die Ergebnisse der Inklinometermessungen im Bereich der Hangrutschung am Osthang des Hohen Meißners; 01.02.2016
- [7] HESSEN MOBIL STRAßEN- UND VERKEHRSMANAGEMENT: Ingenieurvertrag Az. 9j4-2015-00283-BA 3; 12.08.2015



ANLAGEN

- 1 Plan Bauwerksentwurf
- 2.1 Lageplan 3-d Variante 1.
- 2.2 Lageplan 3-d Variante 2.
- 3.1 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; Abriss am bergseitigen Fahrbahnrand; Kennwerte: Erfahrungswerte und aus [1]; $E_d/R_d = 1,0$ bei Erhöhung von $\varphi' = 12,0^\circ$ auf $\varphi' = 19,2^\circ$ für Schicht sf (Gleithorizont)
- 3.2 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; talseitiger Versatz der Gleitfläche \rightarrow Erhöhung des Ausnutzungsgrades auf $E_d/R_d = 1,05$
- 3.3 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; bergseitiger Versatz der Gleitfläche \rightarrow Verminderung des Ausnutzungsgrades auf $E_d/R_d = 0,56$
- 3.4 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; bergseitiger Versatz der Gleitfläche \rightarrow Erhöhung des Ausnutzungsgrades auf $E_d/R_d = 0,66$
- 3.5 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; bergseitiger Versatz der Gleitfläche \rightarrow Verminderung des Ausnutzungsgrades auf $E_d/R_d = 0,60$
- 3.6 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Gleitkreisiterationen mit Festpunkt am Abriss; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 1,13$, der damit höher liegt als in der Anlage 3.1 ($E_d/R_d = 1,0$); mit den verwendeten Kennwerten würde daher eher ein kreisförmiger Gleitkörper als ein Bruchkörper mit Gleitgeraden entstehen
- 3.7 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Gleitkreisiterationen mit Festpunkt am Abriss; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; um für einen kreisförmigen Gleitkörper einen Ausnutzungsgrad von $E_d/R_d = 1,0$ zu erhalten, müssen Kennwerte erhöht werden:
A (Auffüllung): $\varphi' = 27,5^\circ$
Ttr: $c' = 3,8 \text{ kN/m}^2$



- 3.8 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; mit den erhöhten Kennwerten der Anlage 3.7 muss, damit der Gleitkörper mit einem Ausnutzungsgrad von $E_d/R_d = 1,0$ aus der Anlage 3.1 entstehen kann, φ' für die Schicht Sf (Gleithorizont) auf $18,0^\circ$ vermindert werden
- 3.9 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Gleitkreisiterationen mit Festpunkt am Abriss; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,0$; Ansatz einer Verkehrslast; Kennwerte aus der Anlage 3.8; Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 1,0$; damit weisen sowohl der Bruchkörper mit Gleitgeraden als auch der kreisförmige Gleitkörper einen Ausnutzungsgrad von $E_d/R_d = 1,0$ auf

Anlagen Variante 1.

- 3.10 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 15,8$ m ($E_k = 180,0$ kN; $a = 1,50$ m) und $L = 14,8$ m ($E_k = 180,0$ kN; $a = 1,50$ m); Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 1,0$
- 3.11 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Gleitkreisiterationen ; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 15,8$ m und $L = 14,8$ m; Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 0,91$
- 3.12 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Gleitkreisiterationen mit Festpunkt am Fuß der Spritzbetonwand; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 15,8$ m und $L = 14,8$ m; Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 0,79$
- 3.13 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Gleitkörper neue Böschung talseitig der Spritzbetonwand; Teilsicherheiten für φ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 15,8$ m und $L = 14,8$ m; Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 0,22$
- 4.1 Statischer Nachweis einer 3,0 m hohen, mit zwei Nagelreihen (obere Nagelreihe $L = 15,8$ m, untere Nagelreihe $L = 14,8$ m; horizontaler und vertikaler Nagelabstand = 1,5 m) rückverankerten Spritzbetonwand
- 5.1 Nachweise der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Verankerungselemente



Anlagen Variante 2.

- 3.20 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für ϕ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 14,8$ m ($E_k = 170,0$ kN; $a = 1,0$ m) und $L = 12,8$ m ($E_k = 170,0$ kN; $a = 1,0$ m); Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 1,0$
- 3.21 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Bestimmung der Sicherheit nach JANBU; Vorgegebene Gleitflächen; Teilsicherheiten für ϕ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 14,8$ m ($E_k = 170,0$ kN; $a = 1,0$ m) und $L = 12,8$ m ($E_k = 170,0$ kN; $a = 1,0$ m); Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 0,22$
- 3.22 Schnitt S 1: Standsicherheitsberechnung; Gleitkreisiterationen talseitig der Stützmauer; Teilsicherheiten für ϕ' und $c' = 1,25$ (ständige Bemessungssituation); Ansatz einer Verkehrslast; Einbau von Nägeln mit $L = 14,8$ m ($E_k = 170,0$ kN; $a = 1,0$ m) und $L = 12,8$ m ($E_k = 170,0$ kN; $a = 1,0$ m); Ausnutzungsgrad $E_d/R_d = 0,70$
- 4.2 Statischer Nachweis einer 3,0 m hohen, mit zwei Nagelreihen (obere Nagelreihe $L = 14,8$ m, untere Nagelreihe $L = 12,8$ m; horizontaler Nagelabstand = 1,0 m, vertikaler Nagelabstand = 1,5 m) rückverankerten Spritzbetonwand
- 5.2 Nachweise der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Verankerungselemente

1 Vorbemerkungen

Im Bereich des Osthangs des Hohen Meißner kommt es seit dem Jahr 2006 zu Hangbewegungen, die am Haus Schwalbenthal und an der L 3242 zu Schäden geführt haben. geo-international wurde von Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement beauftragt (Vertragsnummer: 160495186), für die geplante Stabilisierung des Rutschareals die Objekt- und Tragwerksplanung nach § 43 und § 51 HOAI durchzuführen.

2 Rutschungshistorie

Zusammenfassend zur Historie der Rutschung heißt es in [7]:

"Der Osthang des Hohen Meißner ist großräumig über Einzelschollen in Bewegung, deren Intensität mit den Niederschlagsereignissen bzw. Niederschlagsperioden korrespondiert. . . Mächtige Basaltblöcke gleiten auf tonigen Sedimenten ab. Der Vorgang ist in die Kategorie Kriechhang einzustufen. Eingriffe, Änderungen der Wasserwegsamkeiten oder auch die oben genannten Niederschlagsperioden u. a. beschleunigen die Kriechbewegungen und partiell kann es zum Bruch führen. Durch umfangreiche geotechnische Untersuchungen (Abschlussbericht Geotechnisches Sachverständigenbüro Dr.-Ing. habil. 8. Müller 2010) im Bereich des Osthanges von der Quelle Wetterstollen bis zur Kalbe haben die geologische Situation beschrieben, dokumentiert und ausgewertet unter Einbeziehung der Historie, insbesondere des Bergbaus. In



dieser Phase wurden auch drei Ketteninklinometer (IK I bis IK III -KB 05, KB 06 und KB 08) installiert. Der Inklinometer IK II -B 06 fiel Anfang 2011 aus. KB 05 wurde im talseitigen Bankett der L3242 im Abschnitt des Küchentraktes von Haus Schwalbenthal abgeteuft .. Es ist die einzige Kernbohrung bei den Erkundungen 2010 im Untersuchungsabschnitt der Landesstraße. Die kontinuierliche Überwachung über die zwei verbliebenen Ketteninklinometer seit Ende 2010 liefert Indikatoren zur Charakterisierung der Hangbewegungen (z. B. Blockschub, Gleitzonen, etc.). Seit Januar 2014 sind bei den Messungen keine talseitsgerichteten Verformungen aufgetreten. Die von der Straßenbauverwaltung durchgeführten Beobachtungen von Messmarken in der Fahrbahn haben in den letzten Jahren nur sehr geringe Vertikalbewegungen -max. 6 mm in den letzten zweieinhalb Jahren- registriert. Diese Bewegungen liegen innerhalb der Messgenauigkeit des Verfahrens. Auch die beiden Inklinometer der Straßenbauverwaltung nördlich von Haus Schwalbenthal, die im Zusammenhang mit einer Sicherungsmaßnahme im Bankett eingebaut wurden, sind immer noch mit der Sonde befahrbar und zeigen seit Oktober 2000 keine nennenswerten Verschiebungen bzw. ausgeprägte Gleitzonen. Dies schließt jedoch einen deutlich tiefer liegenden Gleitzonenhorizont nicht aus. Prof. Katzenbach hat in seinem Prüfbericht zum Gutachten von Dr. Müller (Gutachten 12/2014 im Auftrag des HLUg) ein geotechnisches Modell im Straßenprofil im Schnitt mit der KB 05/2010 abgeleitet, das den potentiellen Böschungsbruchkörper auf dem im IK III identifizierten Gleithorizont darstellt. Aus Rückrechnungen ergab sich die Restscherfestigkeit im Rötton zu $\varphi_{Rest} = 12^\circ$. Die durch die Inklinometerbeobachtungen ermittelte Tiefenlage des Gleithorizonts liegt ca. 8 m unter OK Neigungspegel. Nach den geodätischen Profilaufnahmen ergibt sich danach der Böschungsaustritt ungefähr in Kopfhöhe der Trockenmauer (ca. 617,00 m ü. NN) im Bereich Haus Schwalbenthal. Damit würde die Gleitebene ca. 0,7 m unter O.K. Fußboden der Küche und rund 1,5 m unter der Sohle des Stollenmundloches des Keudellbrunnens (618,500 m ü. NN -Bericht HLfB Dr. Kaufmann vom 13.03.1990) liegen. Da nur ein einziger Kernbohrungsaufschluss vorliegt und nur hier eine Blockschubbewegung gemessen wurde, die geodätischen Beobachtungen am Straßenkörper aber keine .. relevanten Bewegungen aufzeigten, ist das von Prof. Katzenbach abgeleitete geotechnische Modell nur für einen kurzen Abschnitt der L3242 repräsentativ. Bei näherer Betrachtung des Schadensmechanismus am Küchentrakt des Hauses Schwalbenthal sind erkennbare Verformungen nur im Bereich des angeschnittenen Hanges zu verzeichnen. Der "akut in Bewegung befindliche Felskörper" (Abschlussbericht HLUg; 22.02.2015) wäre damit auf den Abschnitt in Höhe des Küchentraktes bzw. über die Länge Haus Schwalbenthal begrenzt. ..."

3 Geotechnische Modelle und Standsicherheitsberechnungen

Für unsere Standsicherheitsbetrachtungen standen uns zwei unterschiedliche geologisch-hydrogeologisch-geotechnische Modelle zur Verfügung. Während Dr. Müller in seinen Berichten [2] und [3] davon ausgeht, dass die Schichten im Bereich Haus Schwalbenthal flach nach Ost-südosten einfallen, geht Prof. Katzenbach in [1] von einer horizontalen Lagerung der Schichten aus. Diese Annahme wird auch in vorliegender Fachliteratur [BRÜHL, H. & HEGER, B. (1989): Zur Hydrogeologie des Hohen Meißners.- Berliner Geogr. Abh., (A) Bd. 114: 77 – 90, Berlin] vertreten, dort wird sogar davon ausgegangen, dass die Schichten flach nach WNW einfallen. Auch in den Standsicherheitsberechnungen werden von Dr. Müller in [2] und [3] und Prof. Katzenbach in



[1] unterschiedliche Ansätze gewählt; dies betrifft vor allem die boden- und felsmechanischen Kennwerte und den Ansatz von Bruchkörpergeometrien. Nach Auswertung aller vorliegenden Unterlagen, der Geländebegehungen und den anschließenden Standsicherheitsberechnungen (Anlagen 3.1 bis 3.9: Rückrechnungen mit Ermittlung von c' und ϕ' ; Standsicherheitsberechnungen Ist-Zustand mit Gleitgeraden und -kreisen) lehnen wir uns dem geotechnischen Modell von Prof. Katzenbach in [1] an und kommen zu folgenden Ansätzen und Ergebnissen:

- Die Schäden am Gebäude Haus Schwalbenthal, in der bergseitigen Böschung zur L 3242 hin und im Straßenbereich der L 3242 werden durch einen Rutschkörper verursacht, dessen Abrisskante sich etwa am bergseitigen Fahrbahnrand der L 3242 befindet (Anlage 3.8) und dessen Gleitfläche im Bereich des Fußbodens Küchentrakt Haus Schwalbenthal auf 617,0 m NN austritt (Anlage 1). Bruchkörper, die sich bergwärts der L 3242 fortsetzen, weisen wesentlich geringere Ausnutzungsgrade auf (Anlagen 3.3 bis 3.5). Wir schließen uns der Aussage in [7] "*...Bei näherer Betrachtung des Schadensmechanismus am Küchentrakt des Hauses Schwalbenthal sind erkennbare Verformungen nur im Bereich des angeschnittenen Hanges zu verzeichnen. Der "akut in Bewegung befindliche Felskörper" (Abschlussbericht HLUG; 22.02.2015) wäre damit auf den Abschnitt in Höhe des Küchentraktes bzw. über die Länge Haus Schwalbenthal begrenzt. ...*" an.

4 Stützkonstruktionsvarianten

In [2] und [3] entwickelt Dr. Müller auf der Grundlage seiner Untersuchungen und Berechnungen ein Stabilisierungsmodell für ein großräumiges Rutschareal, welches aus dem Einbau einer Bohrpfahlwand am bergseitigen Fahrbahnrand der L3242, dem Einbau einer Spundwand am talseitigen Fahrbahnrand und einer talseitig anschließenden Gabionen- und geokunststoffbewehrten Stützwand besteht. Auch Prof. Katzenbach sieht in [1] einen Blockgleitkörper, der sich nach seinen Berechnungen aber auf den Straßenbereich L 3242 beschränkt, und führt dazu aus: "*...Zur Stabilisierung des sich in Bewegung befindlichen Boden- bzw. Felskorpus sind zeitnah Stütz- und Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Wie sich aus den hier vorgestellten Prüfbefunden und Hinweisen ergibt, sind die in [U1.53; hier [3]] vorgestellten Stützbauwerke nicht bzw. nur bedingt geeignet und auch nicht erforderlich; es ist mit deutlich geringerem Sicherheitsaufwand zu rechnen.*"

Da wir nach unseren Modellen und Berechnungen davon ausgehen, dass sich der Bruchkörper auf den Straßenbereich L 3242 und deren talseitige Böschung beschränkt, entfällt die Stabilisierungsvariante aus [2] und [3], die die Stützung eines großräumigen, weit in den bergseitigen Hang der L 3242 hineinreichenden Bruchkörpers vorsieht. Im Folgenden werden daher drei Stabilisierungsvarianten betrachtet, die sich auf den Bruchkörper "Straßenbereich L 3242 mit anschließender, talseitiger Böschung" von km 0 + 045.400 bis km 0 + 104.000 (Anlage 1) beschränken.

4.1 Stützkonstruktionsvarianten 1. bis 3.

1. Einbau einer 65,5 m langen, zweireihig rückverankerten (Bodennägel IBO 40/16; Bohrlochdurchmesser $D = 100$ mm; Ankerraster $1,5 \times 1,5$ m; Ankerlängen: A 1 (obere Reihe) $L = 16,0$ m; A 2 (untere Reihe) $L = 15,0$ m; Ankerneigung $\alpha = 35,0^\circ$; Ankerlängen Gesamt $L = 1.111,0$ m), 3,0 m hohen, doppelt bewehrten, dränierten Spritzbetonwand ($d = 30$ cm) etwa 4,5 m talseitig der L 3242 mit Abflachung des instabilen Geländes talseitig des Fußes des Stützbauwerks (Anlage 1; Anlagen 3.10 bis 3.13: Ermittlung der erforderlichen Rückhaltekräfte und Standsicherheitsnachweise; Anlage 4.1: Statischer Nachweis der rückverankerten Spritzbetonwand; Anlage 5.1: Nachweis der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Stahlzugglieder)
2. Einbau einer 65,5 m langen, zweireihig rückverankerten (Bodennägel IBO 40/16; Bohrlochdurchmesser $D = 100$ mm; Ankerraster $1,5$ m vertikal und $1,0$ m horizontal; Ankerlängen: A 1 (obere Reihe) $L = 15,0$ m; A 2 (untere Reihe) $L = 13,0$ m; Ankerneigung $\alpha = 35,0^\circ$; Ankerlängen Gesamt $L = 1.431,0$ m), 3,0 m hohen, doppelt bewehrten, dränierten Spritzbetonwand ($d = 30$ cm) unmittelbar am talseitigen Straßenrand der L 3242 mit Abflachung des instabilen Geländes talseitig des Fußes des Stützbauwerks (Anlage 1; Anlagen 3.20 bis 3.22: Ermittlung der erforderlichen Rückhaltekräfte und Standsicherheitsnachweise; Anlage 4.2: Statischer Nachweis der rückverankerten Spritzbetonwand; Anlage 5.2: Nachweis der inneren und äußeren Tragfähigkeit der Stahlzugglieder)
3. Einbau einer 58,0 m langen, rückverankerten Bohrpfahlwand (Einbindetiefe $\geq 16,0$ m) unmittelbar am talseitigen Straßenrand der L 3242 und Abflachung des instabilen Geländes talseitig des Stützbauwerks

4.2 Variantenvergleich

Varianten **1.** und **2.**:

Die Ausführung der Variante **2.** beinhaltet gegenüber der Variante **1.** folgende Nachteile:

- In das Stützbauwerk wirken die Verkehrslasten unmittelbar ein, so dass das horizontale Ankerraster von $1,5$ m (Variante **1.**) auf $1,0$ m verdichtet werden muss (Anlage 3.20). Dies würde zu einer $28,71$ %-igen Erhöhung der Bohr- und Nagellängen führen. Da sich die Spritzbetonwand unmittelbar am Straßenrand befindet, wird eine temporäre Sicherung des Straßenkörpers vorausgehend zu den Aushubarbeiten ($1,5$ m tiefe, mit $80,0^\circ$ geneigte Abschnitte) notwendig sein. Sämtliche Versorgungskabel im Bankettbereich müssten bei der Variante **2.** verlegt werden, während bei der Variante **1.** nur die das Stützbauwerk querenden Leitungen rückzubauen bzw. zu ersetzen sind. Der notwendige, horizontale Nagelabstand von $1,0$ m bei der Variante **2.** ist, wenn man die zulässigen Herstellungstoleranzen von $7,5$ cm am Ansatzpunkt und 2° Abweichung von der Bohrachse berücksichtigt, als gering anzusehen.



Variante 3.:

- Die Einbindung der Bohrpfahlwand müsste in einer Tiefe von mindestens 16,0 m (Sandstein) erfolgen
- Auch die Bohrpfahlwand muss rückverankert werden
- Der Einbau der Bohrpfähle müsste am talseitigen Straßenrand der L 3242 erfolgen und würde durch die Gerätelasten und Erschütterungen die Standsicherheit des Rutschkörpers nochmals vermindern
- Sämtliche Versorgungskabel im Bankettbereich müssten verlegt werden
- Auch bei dieser Stabilisierungsvariante muss das Gelände talseitig der Stützwand entsprechend der Variante 2. abgeflacht werden
- Aufgrund der Einbindetiefe der Bohrpfahlwand ist mit einem erheblichen Eingriff in die Grundwasserströme zu rechnen (kein Eingriff bei den Varianten 1. und 2.)

4.3 Festlegung der Vorzugsvariante

Da bei der Variante 3. mit einem erheblichen Eingriff in die tiefer liegenden Grundwasserströme (unterhalb Fundamentsohle Haus Schwalbenthal) zu rechnen ist und es während der Bohrarbeiten durch die Gerätelasten und Erschütterungen zur Ausbildung neuer Bruchkörper talseitig der L 3242 kommen könnte, ist diese Stabilisierungsvariante aus geotechnischer Sicht auszuschließen.

Sowohl bei der Variante 1. als auch bei der Variante 2. muss das Gelände talseitig der L 3242 abgeflacht werden, wobei bei der Variante 2. wesentlich mehr Geländeabtrag erfolgen müsste. Für die Variante 2. muss die L 3242 vorausseilend temporär gesichert (Baugrubensicherung) und Versorgungsleitungen verlegt werden. Die technische Ausführung der Bohrarbeiten bei der Variante 2. ist wegen des engeren Nagelrasters als schwierig anzusehen. Wegen der Bohrmeter-Mehrlängen und der erforderlichen Baugrubensicherung bei der Variante 2. liegen die Baukosten höher als bei der Variante 1.

Nach den aufgeführten geotechnischen Erkenntnissen und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten empfehlen wir, den Straßenbereich L 3242 mit anschließender, talseitiger Böschung entlang des Hauses Schwalbenthal gemäß der Variante 1. zu stabilisieren.

5 Schutzzonen

Das geplante Stützbauwerk befindet sich außerhalb der Wasserschutzzone 1 des Keudellbrunnens, deren nördliche Grenze bei km 0 + 045.400 liegt (Anlage 1). Die nördliche Baufeldgrenze bei km 0 + 104.00 basiert auf der Grundlage von nördlich liegenden, festgelegten LRT-Flächen in den angrenzenden FFH-Gebieten. Somit ist die Baustellenandienung nur von der Baufeldfläche zwischen Haus Schwalbenthal und Keudellbrunnen (Anlage 1) möglich.

6 Kostenschätzung für die Varianten 1. und 2.

Wir schätzen die Baukosten für die Varianten **1.** und **2.** wie folgt ab:

1. 434.328,58 € Brutto
2. 529.903,43 € Brutto

7 Rahmenterminplan für die Planung und Umsetzung der Vorzugsvariante

Da der Bereich Schwalbenthal bewaldet ist und die Grenzen aufgrund der Bewirtschaftung der Forstverwaltung für die FFH-Gebiete festgelegt wurden, kann eine genaue Abgrenzung der Lebensraumtypen nur durch eine Kartierung festgestellt werden. Erst danach kann entschieden werden, ob eine FFH-Vorprüfung oder eine FFH-Verträglichkeitsprüfung erforderlich ist. Die Kartierung soll bis Ende Mai 2017 abgeschlossen sein. Wenn sich aufgrund der Kartierergergebnisse keine Planungsänderungen ergeben, können die beauftragten Planungsphasen bis Mitte Juni 2017 abgeschlossen werden.

Die Bauzeit für die in dieser Vorplanung vorgestellte Stabilisierungsvariante **1.** wird ca. drei Monate betragen.

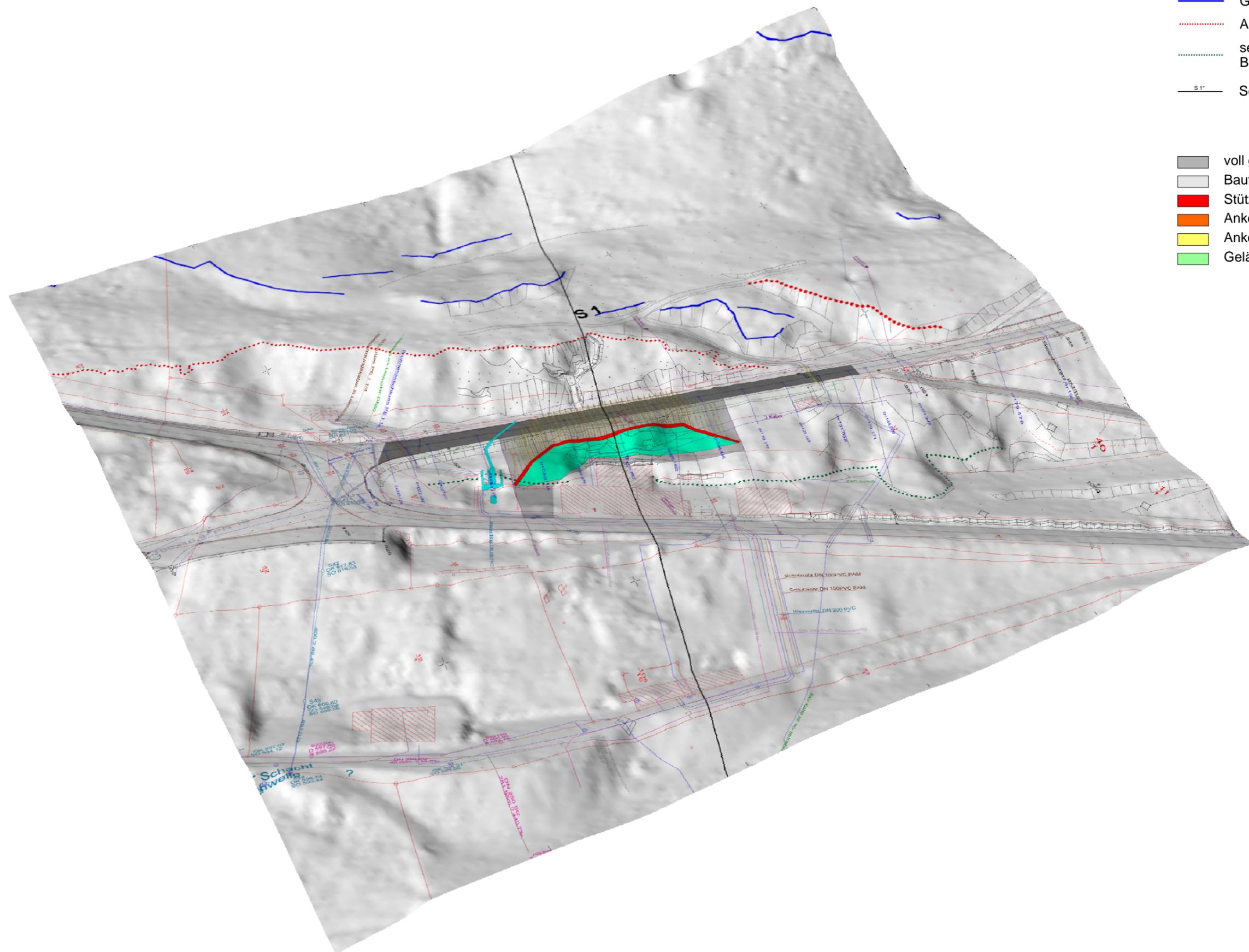
Mainz, den 29. November 2016



Prof. Dr. J. Feuerbach

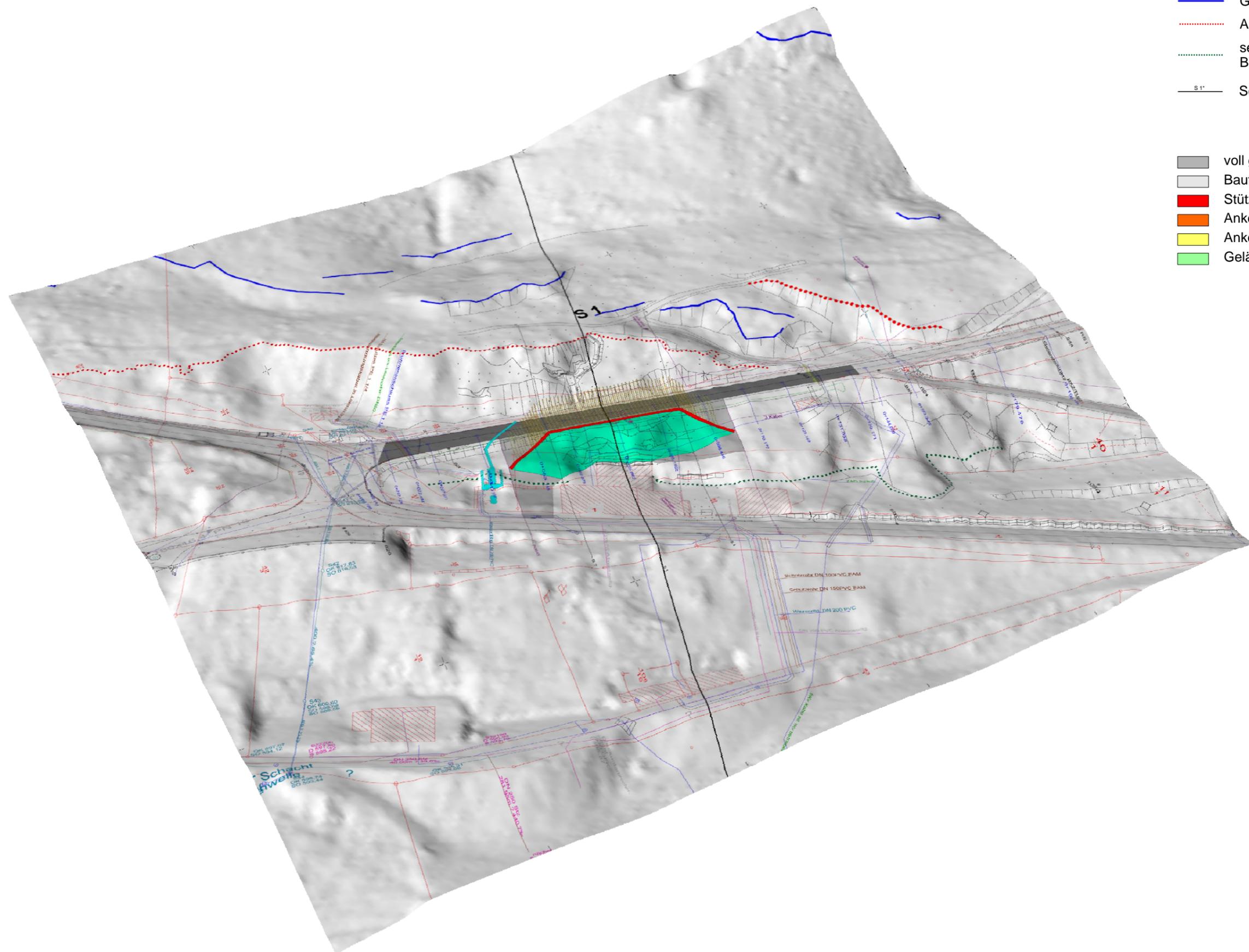


Dr. M. Lauterbach



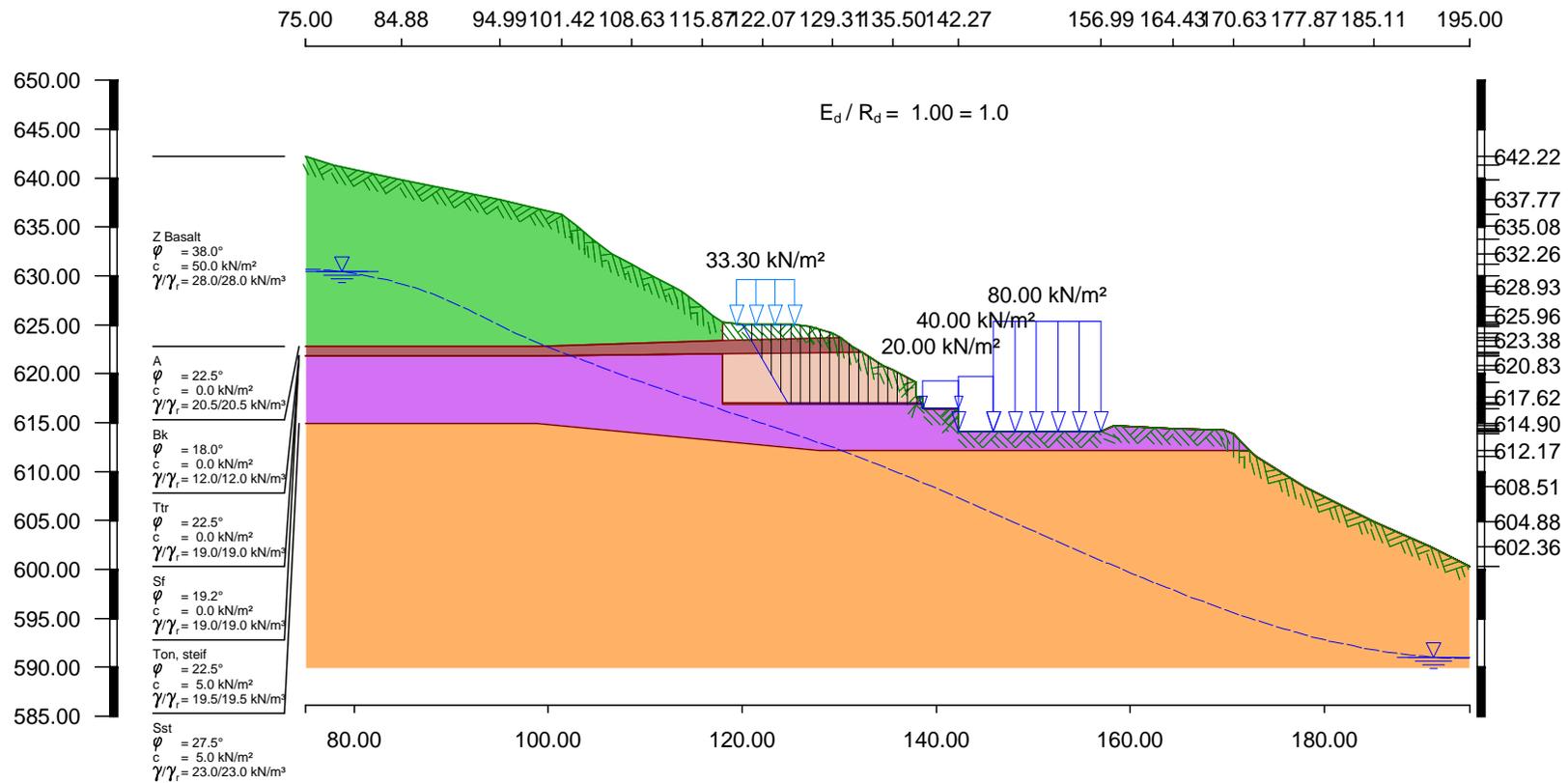
- Gelände-Steilkante
- - - Abrisskante fossile Rutschung
- - - seitliche bzw. talseitige Begrenzung alter Rutschungen
- S1 Schnitt

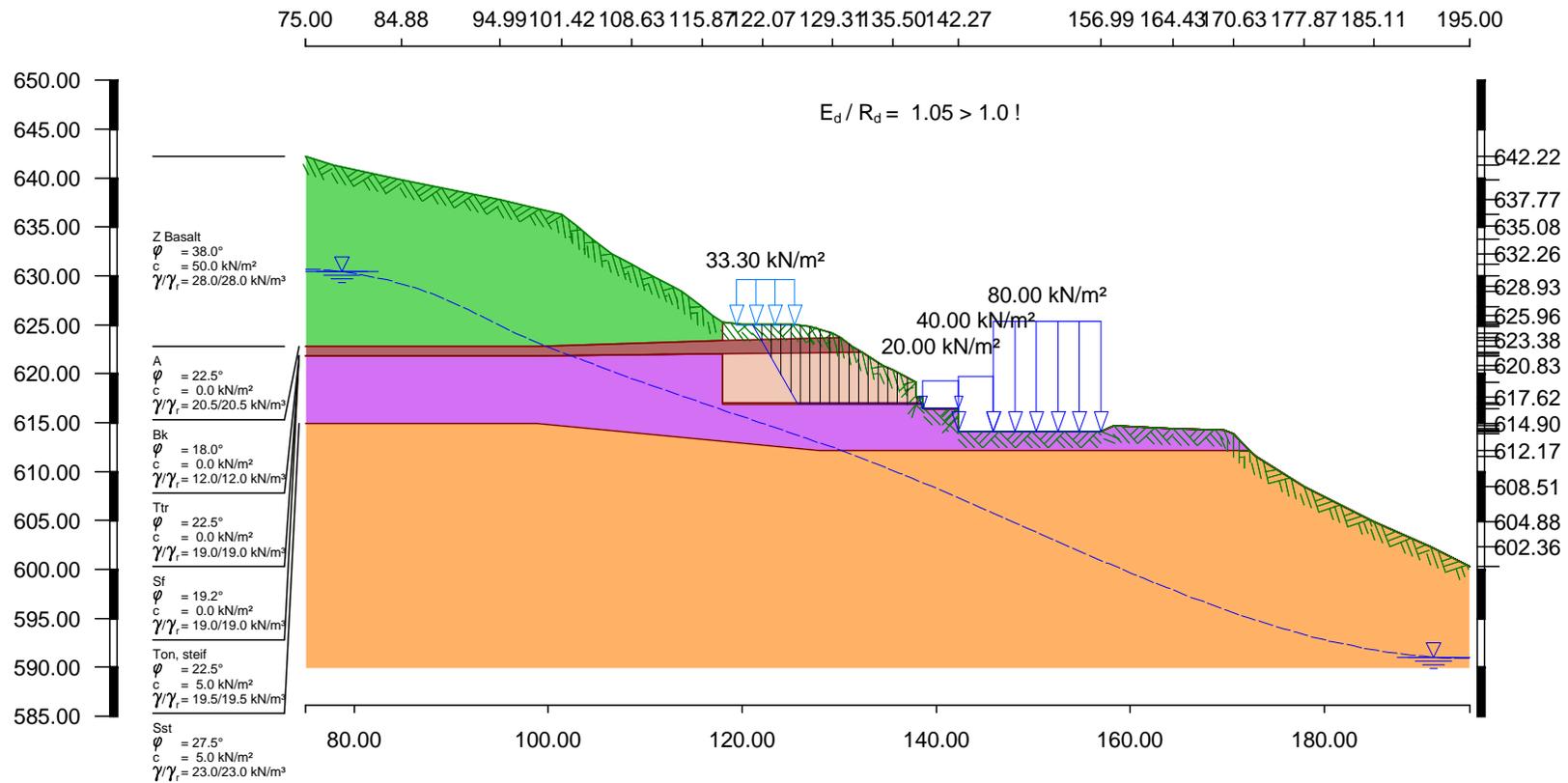
- voll gesperrte L 3242
- Baufeld
- Stützbauwerk
- Anker L = 15,8 m
- Anker L = 14,8 m
- Geländeabtrag

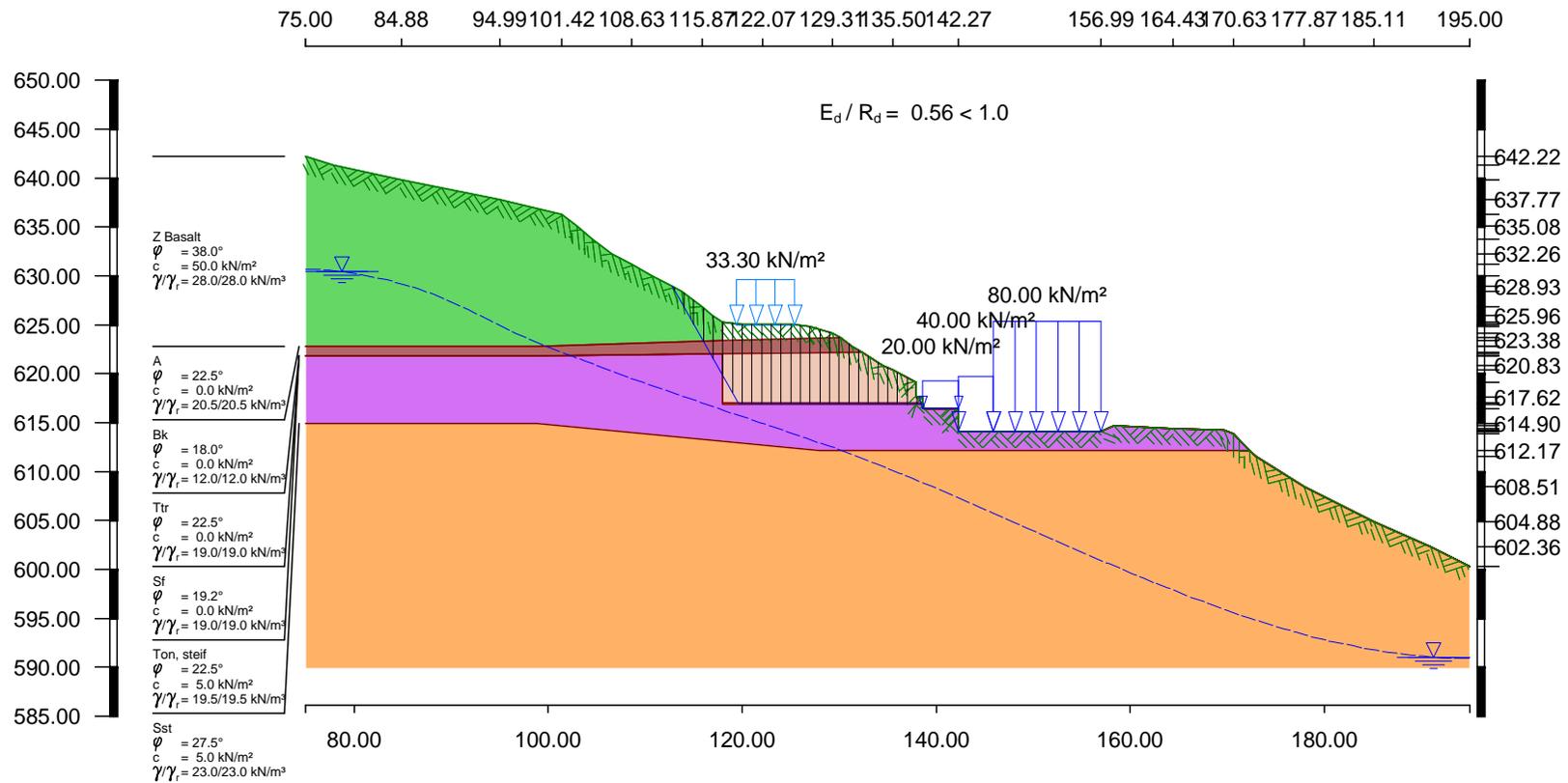


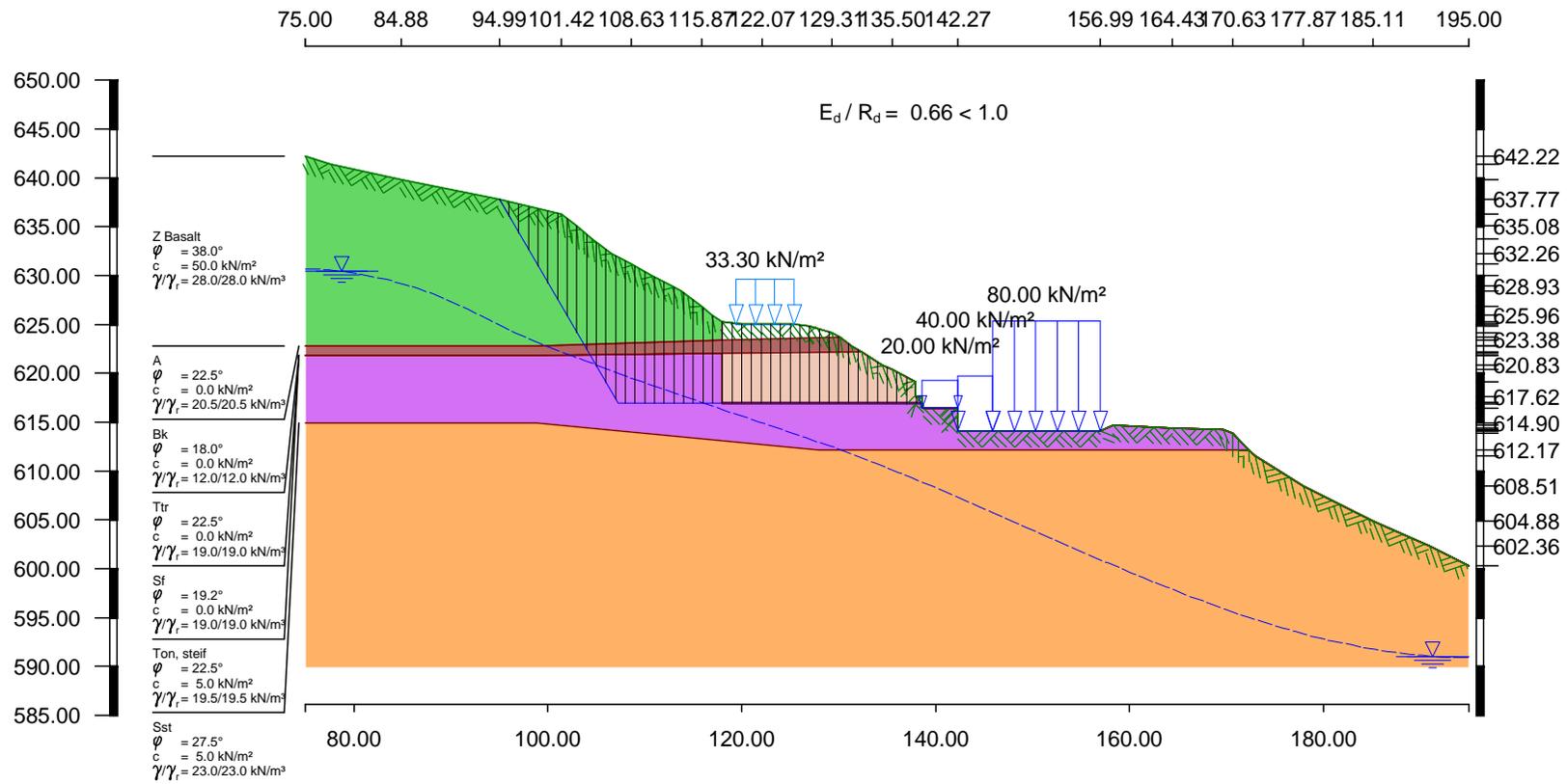
- Gelände-Steilkante
- - - Abrisskante fossile Rutschung
- - - seitliche bzw. talseitige Begrenzung alter Rutschungen
- S1 Schnitt

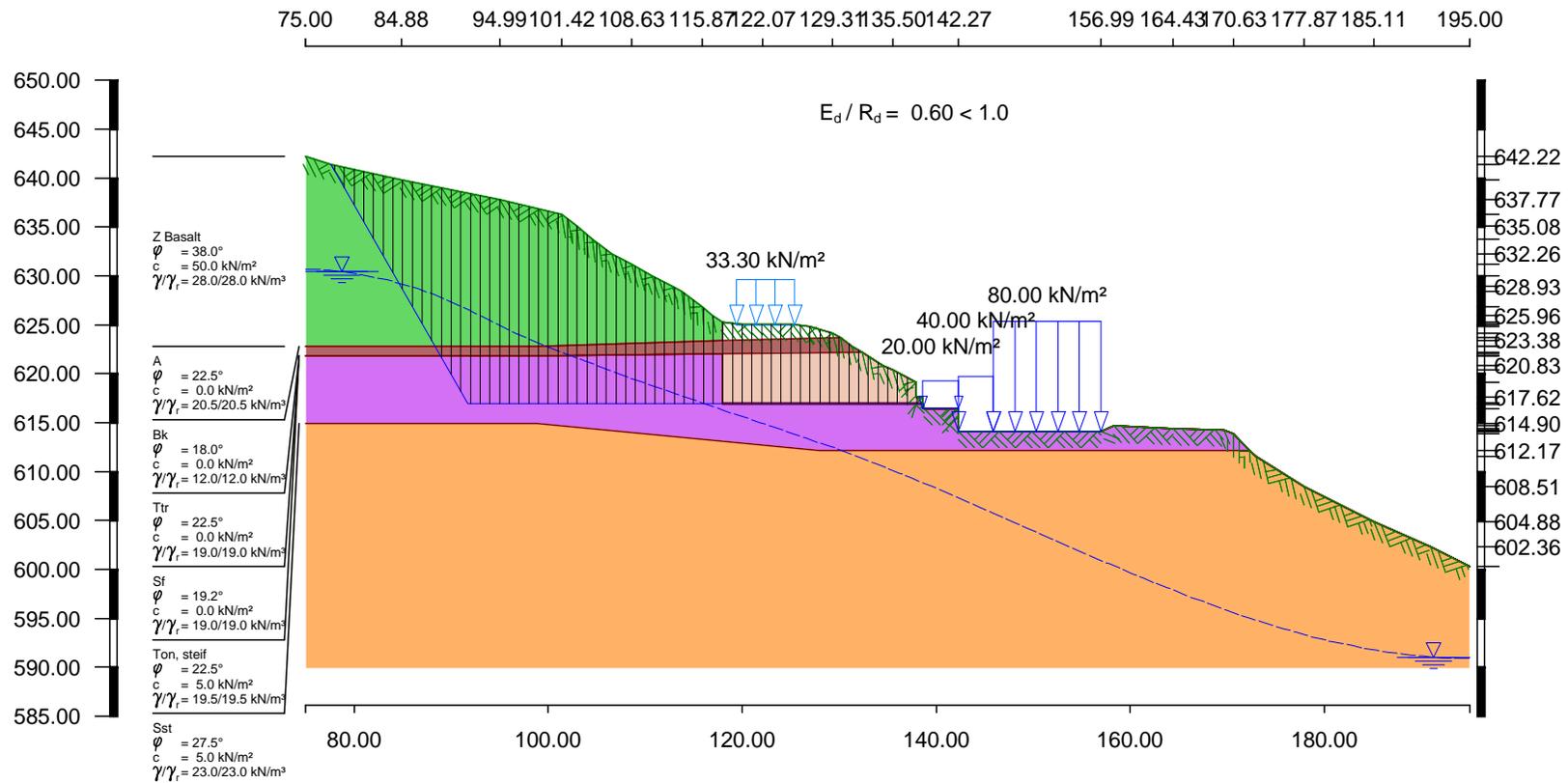
- voll gesperrte L 3242
- Baufeld
- Stützbauwerk
- Anker L = 15,8 m
- Anker L = 14,8 m
- Geländeabtrag

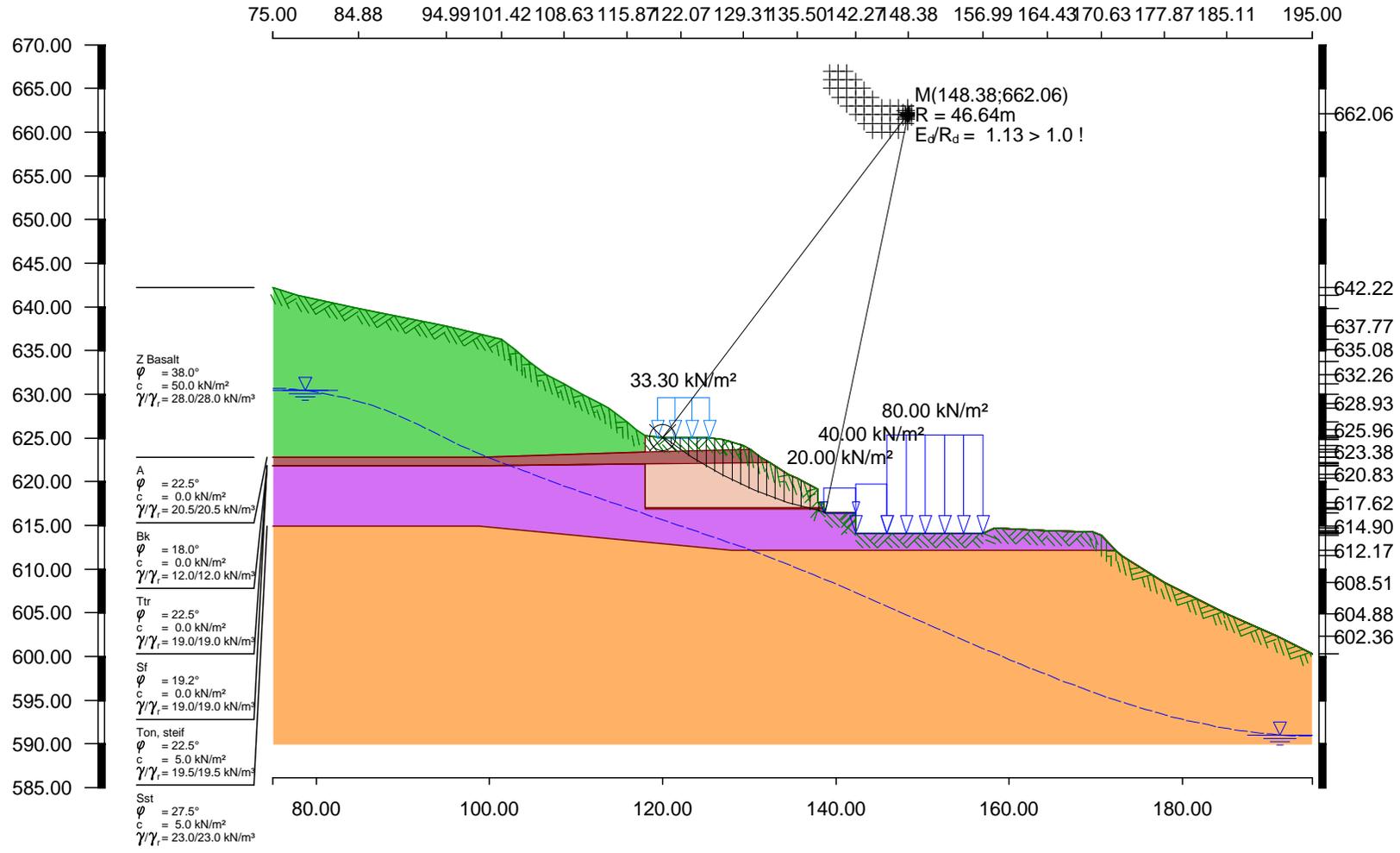


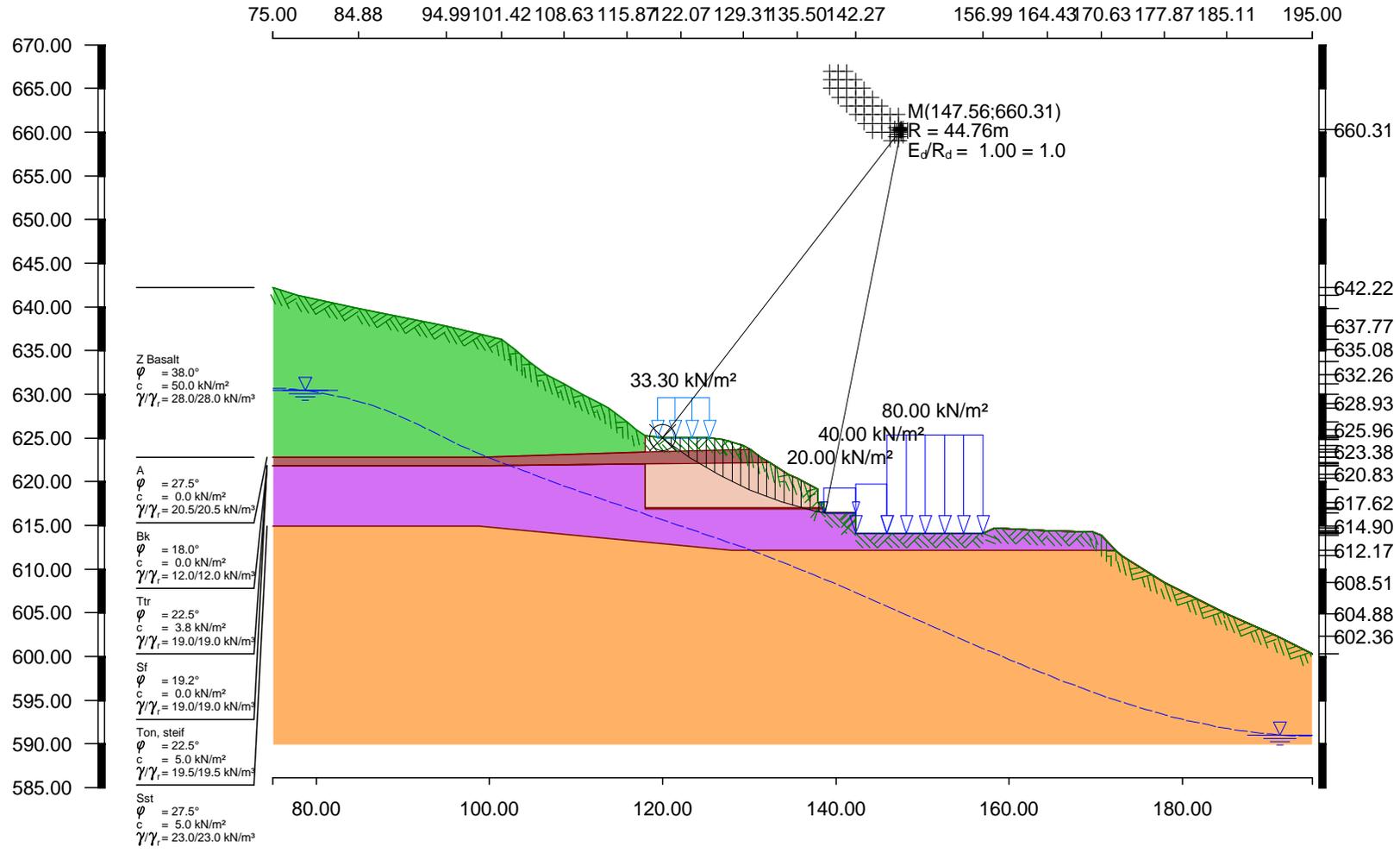


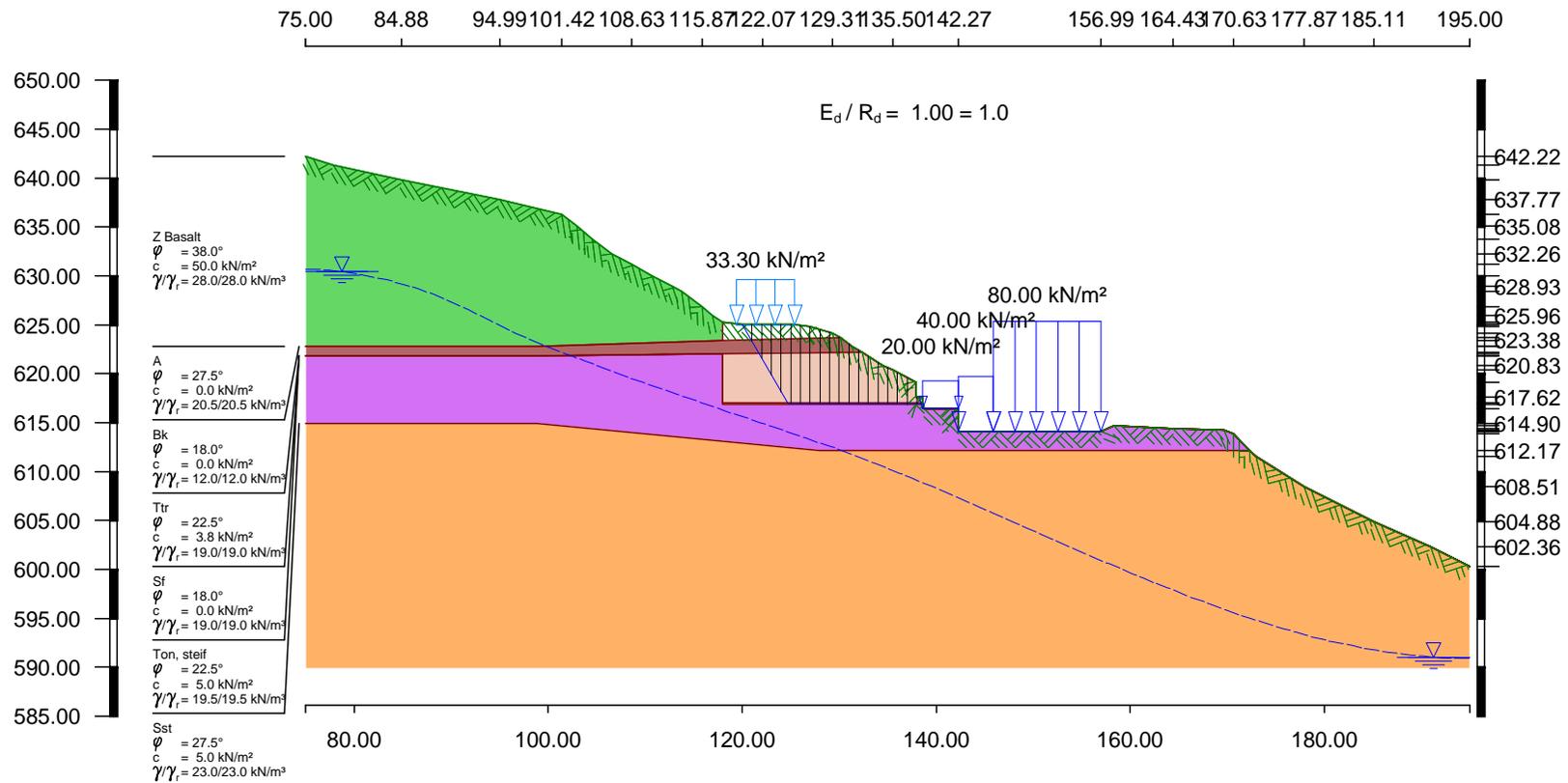


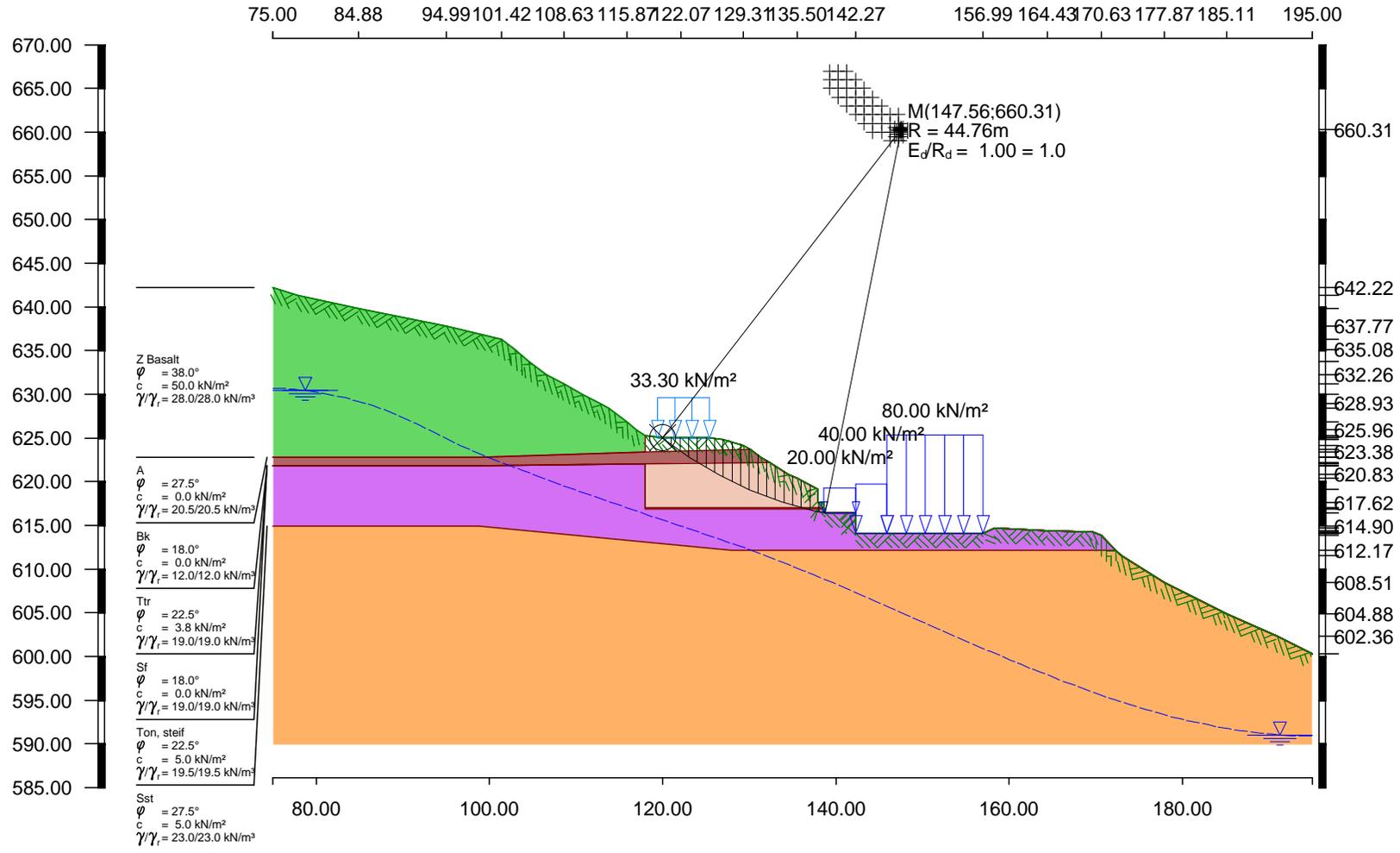


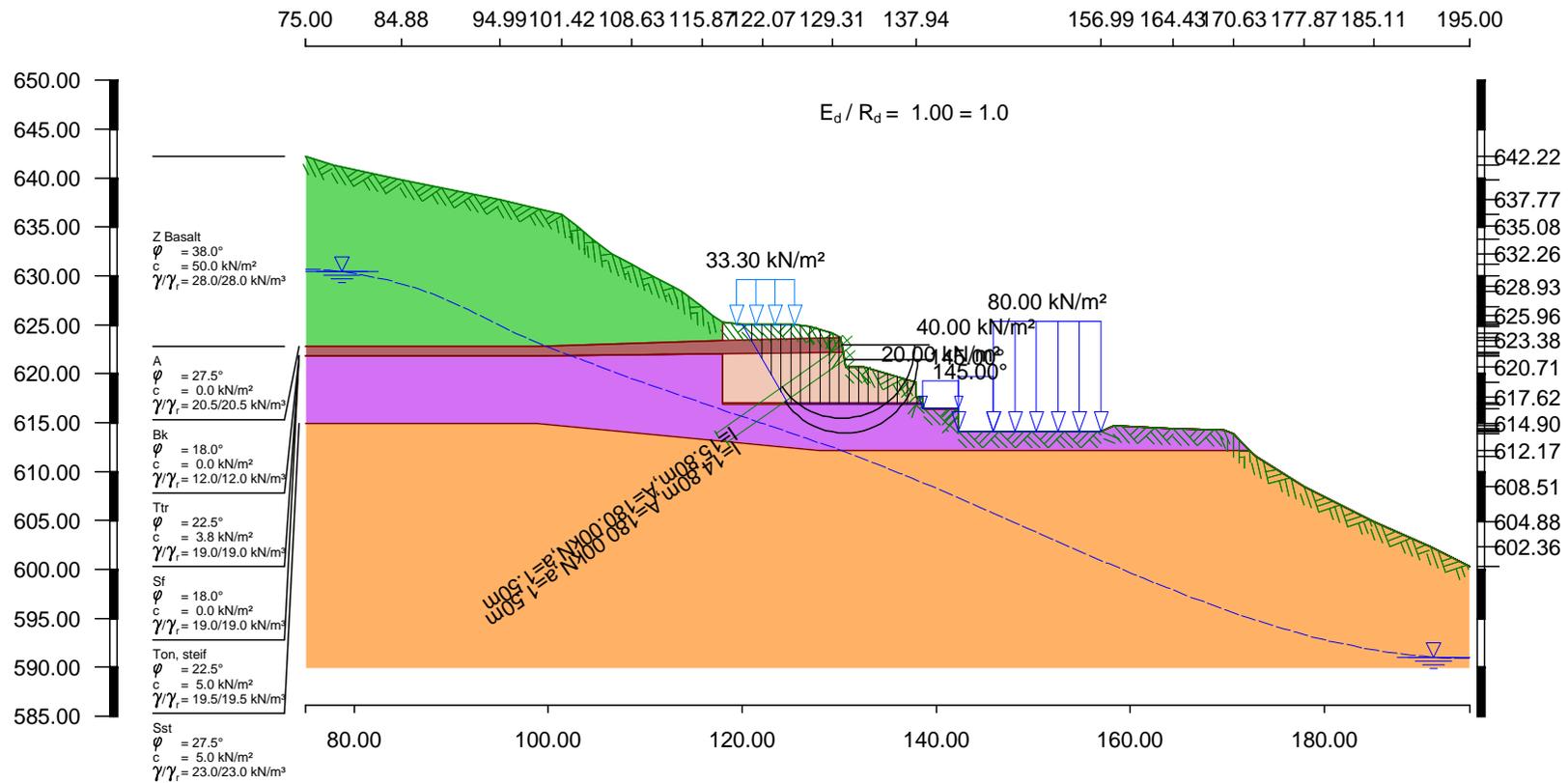


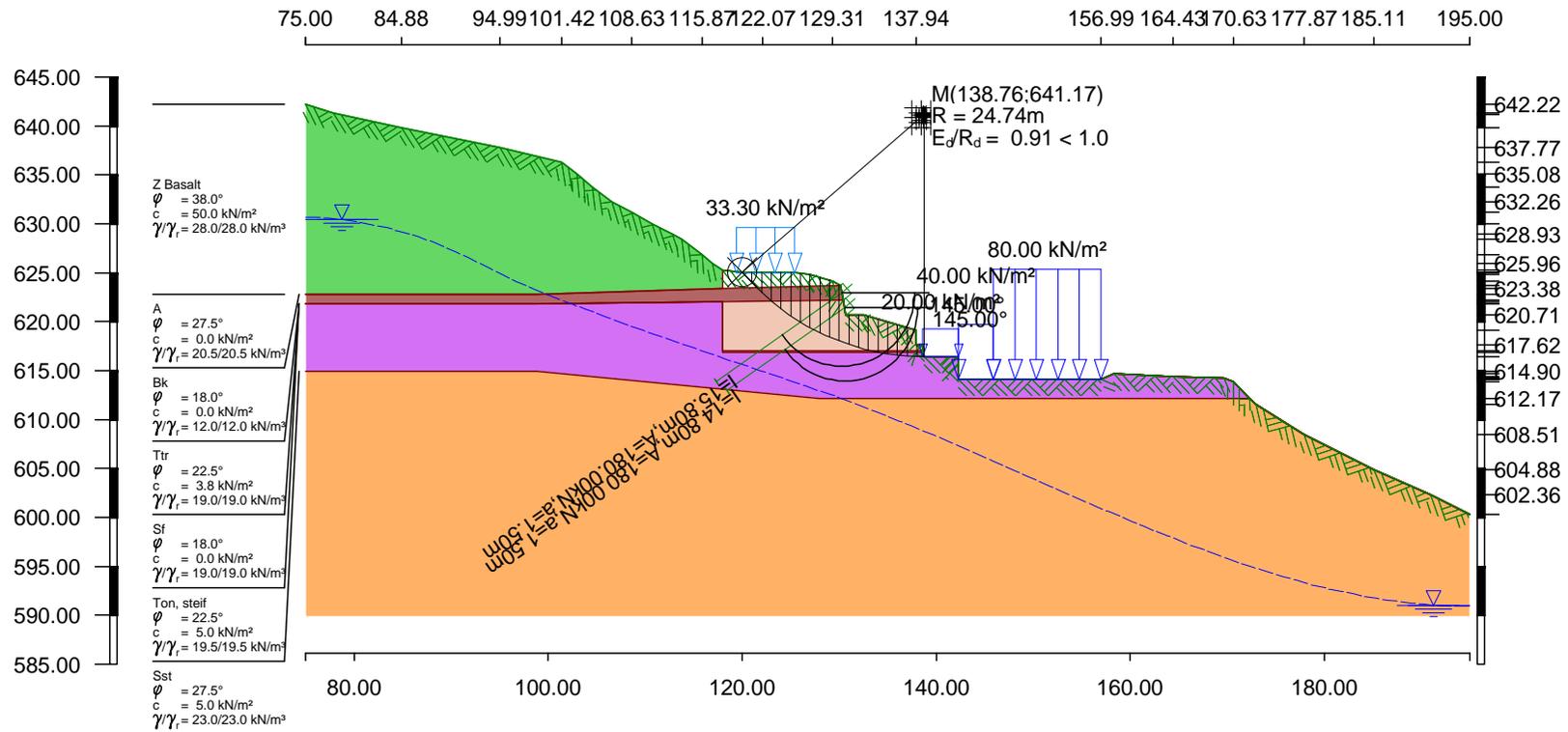


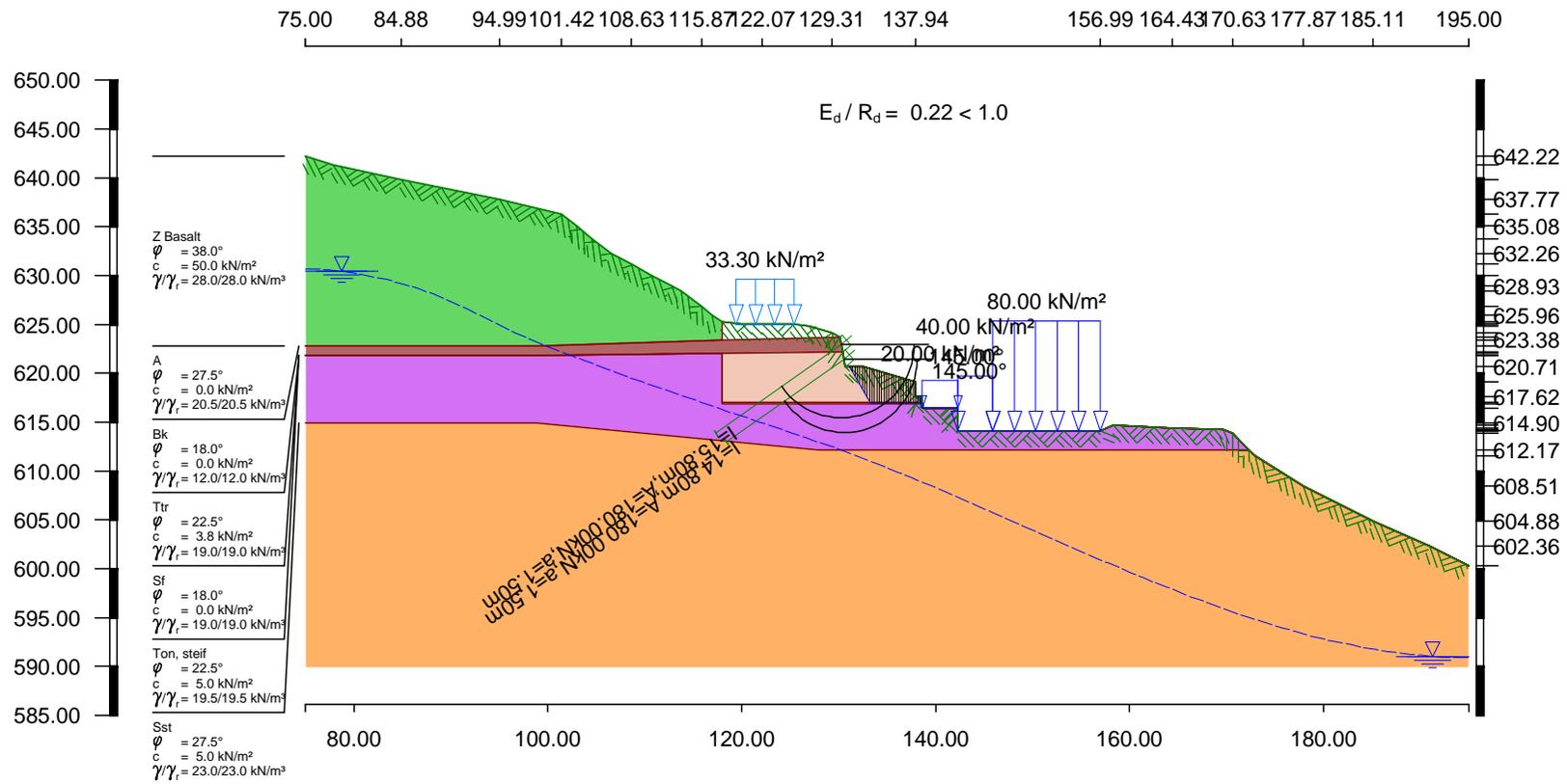


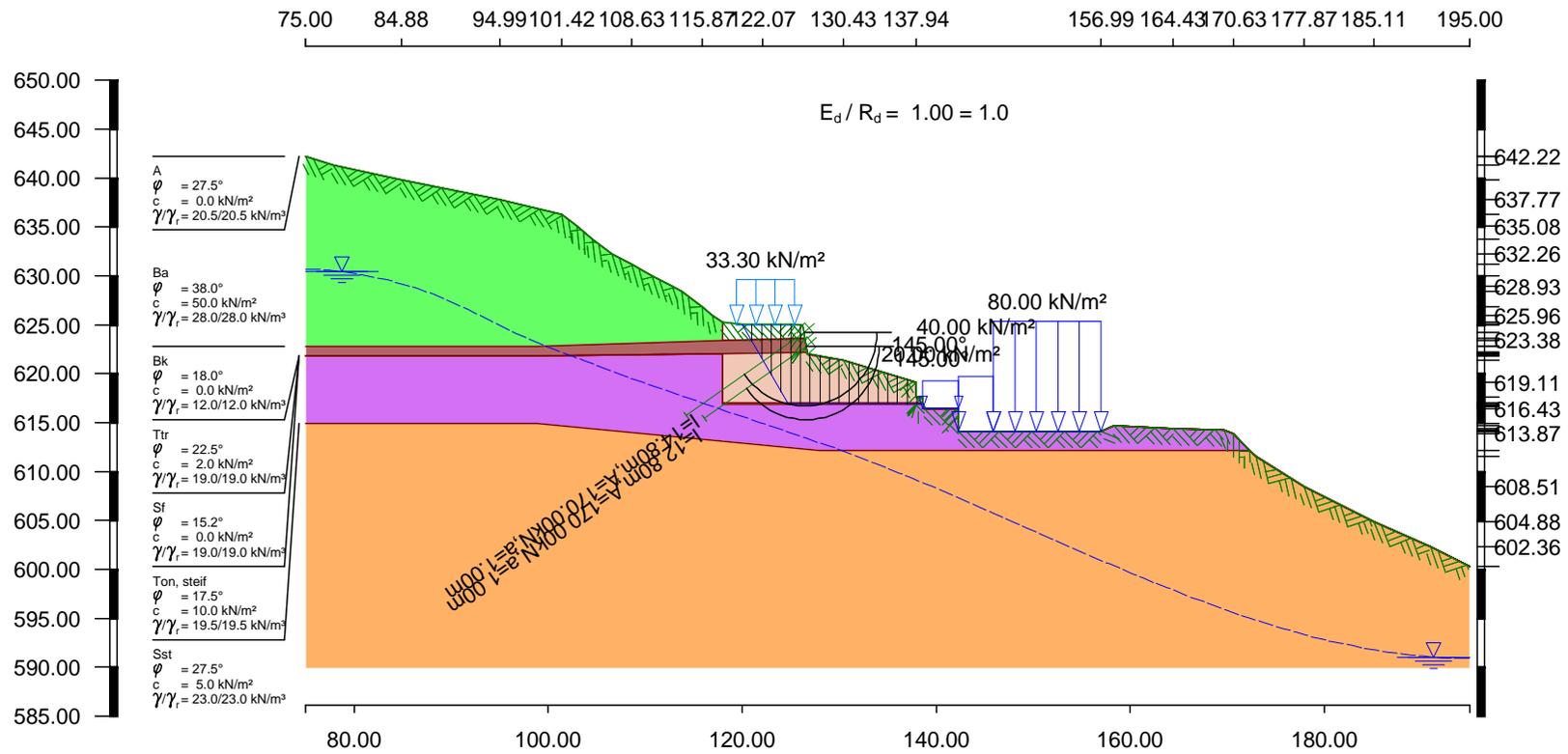


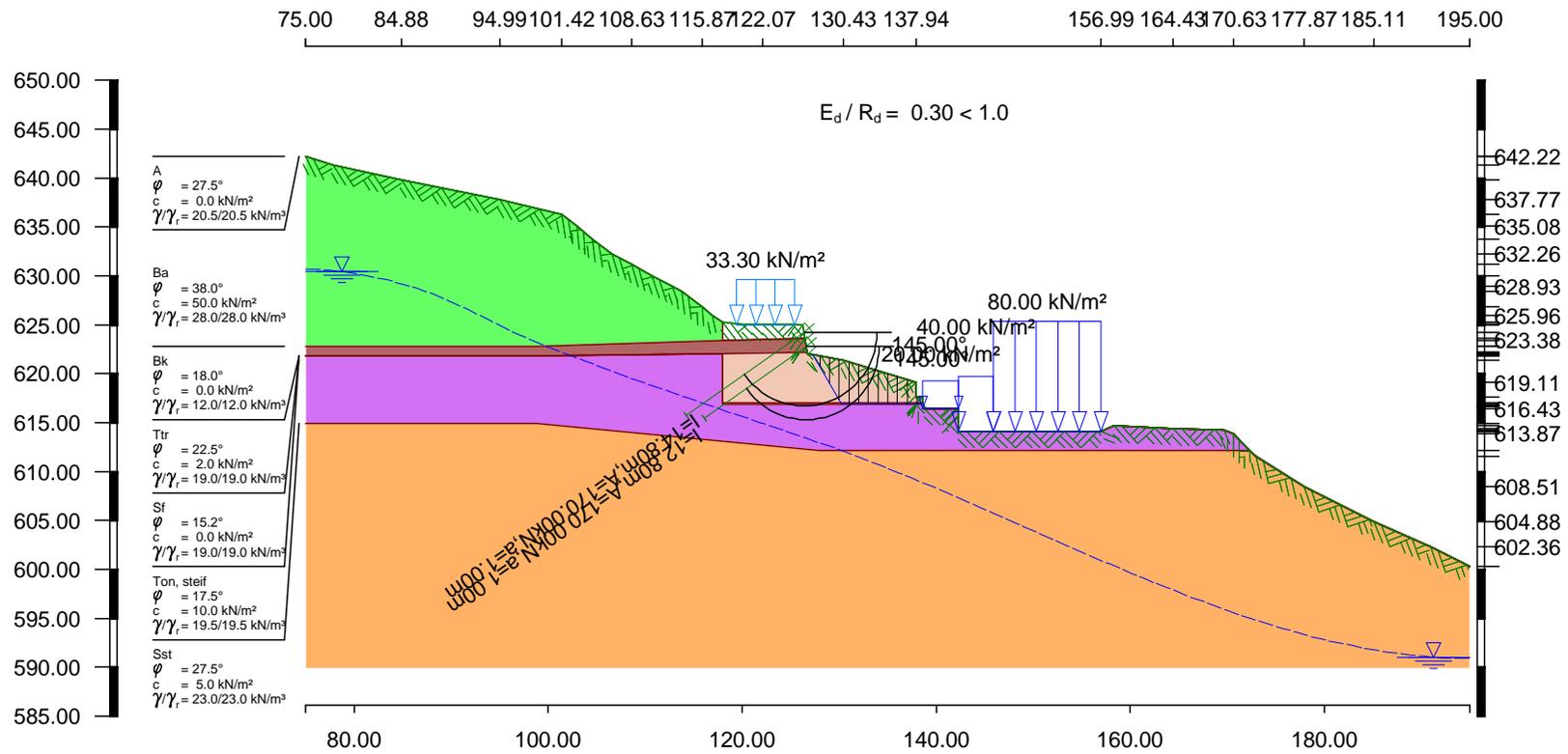


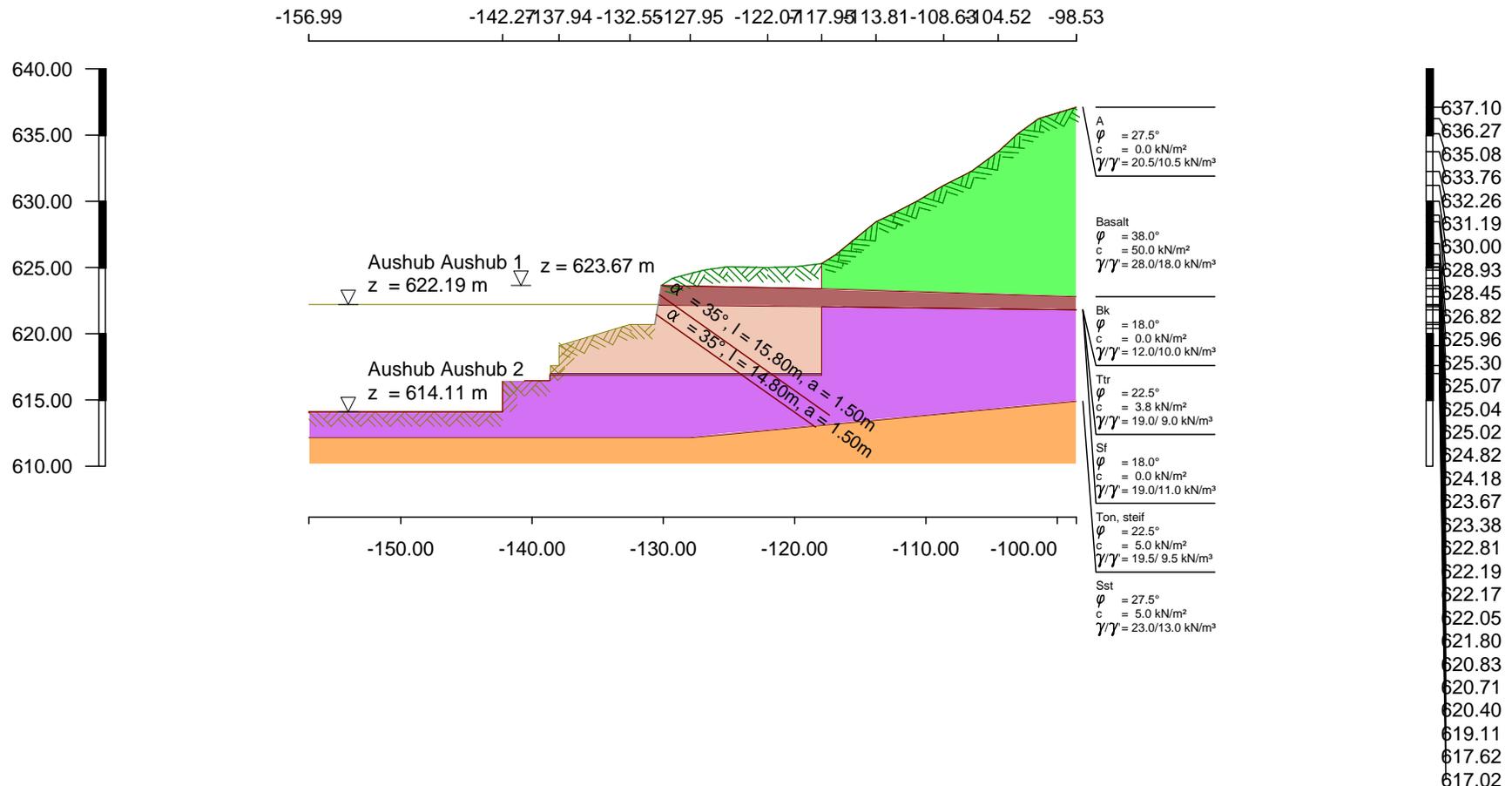












Seite	1
Übersicht	
Maßstab	1: 500

Programm DC-Nagel/Win Version 3.25

A 4_1 HM S 1 Spw 020316

Eingabedatei: A 4_1 HM S 1 Spw 1 020316.dbn

Schichtsystem mit 7 Schichten**Erdschichtwerte**

φ	Reibungswinkel phi
δ	Wandreibungswinkel
C	Kohäsion c
γ	Wichte
γ_w	Wichte unter Auftrieb
φ_{EW}	Wandreibungswinkel auf die Ersatzwand durch die Nagelenden (Zwischengleitfuge)
T_{Nagel}	mobilisierbare Haftreibung eines Nagels im Boden

Num.	Bezeichnung	φ [°]	δ [°]	C [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	φ_{EW} [°]	T_{Nagel} [kN/m]
1	A	27.5	0.0	0.0	20.5	10.5	27.5	15.7
2	Basalt	38.0	0.0	50.0	28.0	18.0	38.0	62.8
3	Bk	18.0	0.0	0.0	12.0	10.0	18.0	6.9
4	Ttr	22.5	0.0	3.8	19.0	9.0	22.5	25.9
5	Sf	18.0	0.0	0.0	19.0	11.0	19.2	6.9
6	Ton, steif	22.5	0.0	5.0	19.5	9.5	22.5	34.6
7	Sst	27.5	0.0	5.0	23.0	13.0	27.5	34.6

Geländeverlauf:

x [m]	z [m]
-130.15	623.67
-129.31	624.18
-126.97	624.82
-125.17	625.07
-122.07	625.02
-120.01	625.04
-117.95	625.30
-116.91	625.96
-115.87	626.82
-113.81	628.45
-112.77	628.93
-110.71	630.00
-108.63	631.19
-106.57	632.26
-104.52	633.76
-102.99	635.08
-101.42	636.27
-98.53	637.10

Verlauf Unterkante der 1. Schicht A:

x [m]	z [m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-138.62	617.62
-137.94	617.62
-137.93	619.11
-135.50	620.40
-134.46	620.83
-132.41	622.17
-131.36	622.81
-130.15	623.67
-117.95	623.38
-117.95	625.30
-116.91	625.96
-115.87	626.82
-113.81	628.45
-112.77	628.93
-110.71	630.00
-108.63	631.19
-106.57	632.26
-104.52	633.76
-102.99	635.08
-101.42	636.27
-98.53	637.10

Verlauf Unterkante der 2. Schicht Basalt:

x [m]	z [m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-138.62	617.62
-137.94	617.62
-137.93	619.11
-135.50	620.40
-134.46	620.83
-132.41	622.17
-131.36	622.81
-130.15	623.67
-117.95	623.38
-98.53	622.80

Verlauf Unterkante der 3. Schicht Bk:

x	z
[m]	[m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-138.62	617.62
-137.94	617.62
-137.93	619.11
-135.50	620.40
-134.46	620.83
-132.41	622.17
-117.95	622.05
-98.53	621.80

Verlauf Unterkante der 4. Schicht Ttr:

x	z
[m]	[m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-117.95	617.02
-117.95	622.05
-98.53	621.80

Verlauf Unterkante der 5. Schicht Sf:

x	z
[m]	[m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-117.95	616.87
-117.95	622.05
-98.53	621.80

Verlauf Unterkante der 6. Schicht Ton, steif:

x	z
[m]	[m]
-127.95	612.17
-98.53	614.90

Streifenlasten:

x_A	z_A	x_E	z_E	P_x	P_z	Art	Lastfall	γ_{1B}	γ_{1C}	ψ
[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]					
-125.41	625.04	-125.17	625.07	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-
-125.17	625.07	-122.07	625.02	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-
-122.07	625.02	-120.01	625.04	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-
-120.01	625.04	-119.41	625.04	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-

Nageltabelle:

Lage	z-Kote [m]	Neigung [°]	Min- länge [m]	Verpress- länge [m]	Horiz. Abstand [m]	Breite Kopfpl. [mm]	Rechenfestigk. Stahl [N/mm ²]	Vorspann- kraft [kN]
1	622.93	35.00	15.80	15.80	1.50	200	500	-
2	621.45	35.00	14.80	14.80	1.50	200	500	-

Aushubtabelle:

Phase	Schnitt Sohle-Wand		wirksame Nägel
	x [m]	z [m]	
1: Aushub 1	-130.41	622.19	
2: Aushub 2	-130.67	620.71	1, 2

Berechnung nach DIN 1054:2005

Teilsicherheitsbeiwerte γ -

	g	w	l	q	gb	φ	c	Gl	tgr	s
GZ 1B:										
LF1	1.35	1.35	1.35	1.50	1.40	1.00	1.00	1.10	1.10	1.15
LF2	1.20	1.20	1.20	1.30	1.30	1.00	1.00	1.10	1.10	1.15
LF3	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20	1.00	1.00	1.10	1.10	1.15
GZ 1C:										
LF1	1.00	1.00	1.00	1.30	1.00	1.25	1.25	1.00	1.40	1.00
LF2	1.00	1.00	1.00	1.20	1.00	1.25	1.15	1.00	1.30	1.00
LF3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.10	1.00	1.20	1.00

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für...
- g Erddruck
- w Wasserdruck
- l Ständige Lasten
- q Verkehrslasten
- gb Grundbruchwiderstand
- γ Reibungsbeiwert $\tan(\varphi)$
- c Kohäsion c
- Gl Gleitwiderstand
- tgr Herausziehwiderstand Nägel
- s Nagelstahl

Berechnung Lastfall 1 (Typ LF1)

Aushub Nr. 1 Name: Aushub 1 Lastfall: 1

Innere Standsicherheit

Ergebnisse eines einfachen Erddruckkeiles:

ϑ [°]	W [kN]	Q [kN]	ZH _{Erf} =E _{ah} [kN]	ZH _{Vorh} [kN]	E _d /R _d [-]
34.3	51.64	54.18	17.00	0.00	unendl

Es wurde ein einfacher Erddruckkeil von (-130.41,622.19) bis (-126.45,624.89) untersucht, auf den keine Nagelkräfte wirken.

Bitte überprüfen Sie die geometrische Situation/Nägel in diesem Aushub 'Aushub 1'.

Es verbleibt eine horiz. Kraft von 17.00 kN, die durch Kohäsion aufgenommen werden muss.

Maßgebende Bruchfigur in diesem Aushub: Einfacher Erddruckkeil:

ϑ [°]	W [kN]	Q [kN]	ZH _{Erf} =E _{ah} [kN]	ZH _{Vorh} [kN]	E _d /R _d [-]
34.3	51.64	54.18	17.00	0.00	unendl

Äußere Standsicherheit

Nachweis der Grundbruchsicherheit im GZ 1B

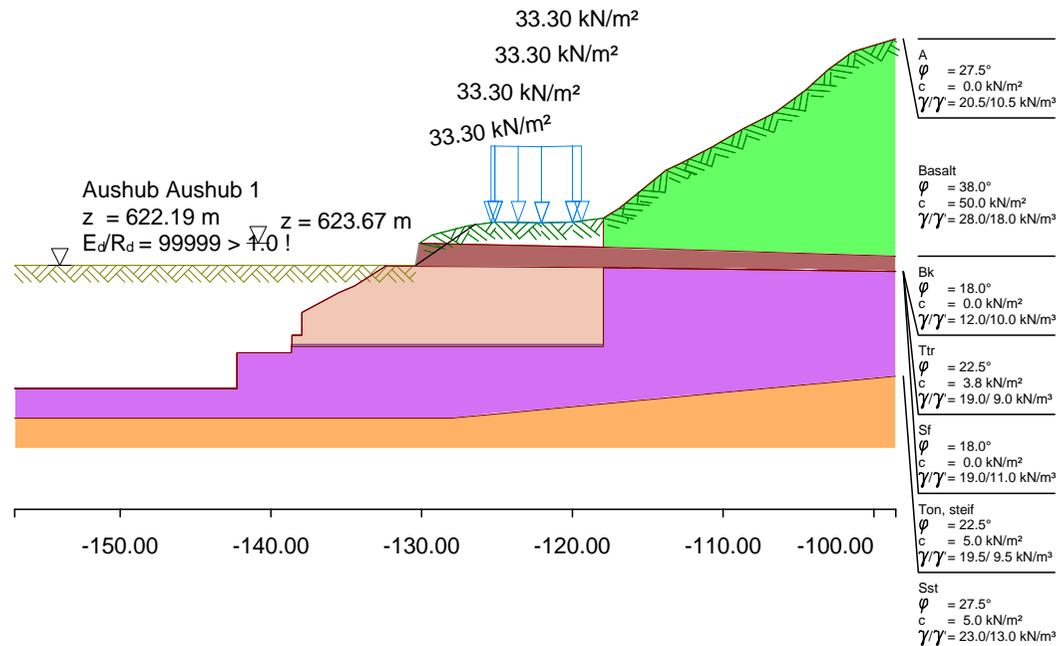
Horizontallast H [kN]	=	49.32		
Einbindetiefe t [m]	=	0.00		
Ersatzbreite b' [m]	=	13.07		
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$				
= 49.32 kN / 1093.68 kN	=	0.05		
Maßgebende Bodenkennwerte:				
Gamma oberhalb Gründungssohle [kN/m³]	=	12.00		
Gamma unterhalb Gründungssohle [kN/m³]	=	21.37		
Reibungswinkel φ [°]	=	26.71		
Kohäsion c [kN/m²]	=	4.78		
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_d, N_b	=	23.58	12.89	6.21
Neigungsbeiwerte i_c, i_d, i_b	=	0.90	0.91	0.87
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	1093.68 kN		
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	15053.88 kN		

$N_d/R_d = .07 < 1.0$: Nachweis erfüllt

=====

-156.99 -142.27137.94 -132.41127.95 -122.07117.95 113.81-108.63104.52 -98.53

640.00
635.00
630.00
625.00
620.00
615.00
610.00



-150.00 -140.00 -130.00 -120.00 -110.00 -100.00

637.10
636.27
635.08
633.76
632.26
631.19
630.00
628.93
628.45
626.82
625.96
625.30
625.07
625.04
625.02
624.82
624.18
623.67
623.38
622.81
622.19
622.17
622.05
621.80
620.83
620.40
619.11
617.62
617.02
616.87

Seite	7
Aushub	Aushub 1
Lastfall	1
Maßstab	: 1: 500

Aushub Nr. 2 Name: Aushub 2 Lastfall: 1

Innere Standsicherheit

Standsicherheitsuntersuchung (Aushub Aushub 2):

Berechnungen entsprechend GZ 1C.

Berechnungsergebnisse sind Bemessungswerte.

Unterster Nagel über Aushubkote ist eingebaut.

Automatische Ermittlung der Nagellängen:

Nägel unter und mit dem aktuellen werden (falls nötig) verlängert.

Neigung der Ersatzwand durch die Nagelenden wird automatisch ermittelt.

Schnittpunkt Aushubsohle-Wand $x = -130.67$ $z = 620.71$

Mechanismen mit dem Schnittpunkt der Gleitlinien bei den Nagelenden:

ϑ_1 [°]	ϑ_2 [°]	ϑ_{12} [°]	L_{Nag} [m]	W [kN]	Q_1 [kN]	Q_{12} [kN]	Z_{Erf} [kN]	Z_{Vorh} [kN]	E_d/R_d [-]
0.00	38.68	90.00	15.8	1202.4	1114.7	137.7	-316.8	358.9	0.00
0.00	44.34	115.00	14.8	1250.5	1106.0	129.8	-313.6	358.9	0.00

Mechanismen mit dem Schnittpunkt der Gleitlinien innerhalb der Vernagelung:

14.62	36.28	90.00	-	111.2	165.0	68.2	56.4	378.3	0.15
14.62	37.04	95.23	-	118.9	168.1	68.6	58.6	378.3	0.15

Ergebnisse eines einfachen Erddruckkeiles:

ϑ [°]	W [kN]	Q [kN]	$ZH_{Erf} = E_{ah}$ [kN]	ZH_{Vorh} [kN]	E_d/R_d [-]
33.6	220.65	228.32	54.50	322.47	0.17

Maßgebende Bruchfigur in diesem Aushub: Einfacher Erddruckkeil:

ϑ [°]	W [kN]	Q [kN]	$ZH_{Erf} = E_{ah}$ [kN]	ZH_{Vorh} [kN]	E_d/R_d [-]
33.6	220.65	228.32	54.50	322.47	0.17

Wand, Zustandsgrößen (Bemessungswerte)

Schnittgrößen nach GZ 1C (Bemessungswerte).

Verformung w im GZ 2.

Bemessung nach DIN 1045-1

Dicke Betonquerschnitt $h = 25.0$ [cm]

Randachsabstand Bewehrung Luftseite $d_{luft} = 7.0$ [cm]

Randachsabstand Bewehrung Erdseite $d_{erde} = 7.0$ [cm]

E-Modul Beton $E = 24900$ [MN/m²]

Biegesteifigkeit $EI = 32422$ [kN*m²]

Nennfestigkeit Beton $f_{ck} = 20.0$ [MN/m²]

Nennfestigkeit Bewehrung $f_{yk} = 500.0$ [MN/m²]

Biegebewehrung zur Bestimmung des Längsbewehrungsgrades μ

für den Durchstanznachweis $As\mu = \text{MAX}(as_1, as_2)$ aus Wandberechnung

*** Die Berechnung der Erddruckkräfte E_{ah} erfolgt aus der Optimierung von Theta unter Berücksichtigung aller Lasten (g+p) des akt. Lastfalles.

*** Der Erddruckverlauf e_{ah} entspricht der abschnittsweise const. Ableitung der E_{ah} -Werte nach z.

*** Kohäsion wird bei der Erddruckberechnung nicht berücksichtigt.

*** Der Wandreibungswinkel δ ist mit 0° angesetzt.

*** Der Erddruck wird zu 85.00 [%] angesetzt.

Erddruck je lfm Wandbreite (Bemessungswerte):

Wandverlauf		Wanddicke	Bew.-abstände		Gleitwinkel	Erddruck	
x	z	h	d _{luft}	d _{erde}	ϕ	E _{ah}	e _{ah}
[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[°]	[kN]	[kN/m]
-130.15	623.67	25.0	7.0	7.0	0.00	0.0	2.81
-130.17	623.57	25.0	7.0	7.0	28.64	0.3	2.81
-130.19	623.47	25.0	7.0	7.0	30.16	0.6	3.56
-130.20	623.37	25.0	7.0	7.0	31.05	1.1	4.80
-130.22	623.27	25.0	7.0	7.0	31.54	1.7	5.96
-130.24	623.17	25.0	7.0	7.0	31.76	2.4	7.09
-130.26	623.07	25.0	7.0	7.0	31.81	3.2	8.21
-130.27	622.97	25.0	7.0	7.0	32.05	4.2	9.25
-130.28	622.93	25.0	7.0	7.0	32.14	4.6	9.90
-130.29	622.87	25.0	7.0	7.0	32.24	5.2	10.38
-130.31	622.77	25.0	7.0	7.0	32.37	6.3	11.12
-130.33	622.67	25.0	7.0	7.0	32.54	7.5	12.05
-130.34	622.57	25.0	7.0	7.0	32.99	8.8	12.92
-130.36	622.47	25.0	7.0	7.0	33.40	10.2	13.74
-130.38	622.37	25.0	7.0	7.0	33.76	11.6	14.55
-130.40	622.27	25.0	7.0	7.0	34.09	13.2	15.35
-130.41	622.17	25.0	7.0	7.0	34.39	14.8	16.14
-130.43	622.07	25.0	7.0	7.0	34.69	16.4	16.71
-130.45	621.97	25.0	7.0	7.0	35.08	18.1	16.90
-130.47	621.87	25.0	7.0	7.0	35.45	19.9	17.25
-130.48	621.77	25.0	7.0	7.0	35.78	21.7	18.02
-130.50	621.67	25.0	7.0	7.0	36.10	23.5	18.82
-130.52	621.57	25.0	7.0	7.0	36.42	25.5	19.63
-130.54	621.47	25.0	7.0	7.0	36.73	27.6	20.45
-130.54	621.45	25.0	7.0	7.0	36.78	28.0	20.72
-130.55	621.37	25.0	7.0	7.0	37.02	29.7	21.40
-130.57	621.27	25.0	7.0	7.0	31.37	36.2	64.76
-130.59	621.17	25.0	7.0	7.0	31.73	39.0	28.23
-130.61	621.07	25.0	7.0	7.0	32.09	41.9	29.23
-130.62	620.97	25.0	7.0	7.0	32.44	44.9	30.21
-130.64	620.87	25.0	7.0	7.0	32.78	48.0	31.19
-130.66	620.77	25.0	7.0	7.0	33.11	51.3	32.16
-130.67	620.71	25.0	7.0	7.0	33.31	53.2	32.91

Zustandsgrößen je lfm Wandbreite (Bemessungswerte):

Kote	H-Druck	Verform.	Schnittgr.		Aufl.	Biegebem.		Schubbem.
z	h	w	V	M	A _H	as _{Luft}	as _{Erde}	as _{bue}
[m]	[kN/m]	[mm]	[kN]	[kN*m]	[kN]	[cm ² /m]	[cm ² /m]	[cm ² /m]
623.67	2.81	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
623.57	2.81	0.0	-0.29	-0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
623.57	3.56	0.0	-0.29	-0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
623.47	3.56	0.0	-0.65	-0.06	0.0	0.00	0.01	0.00
623.47	4.80	0.0	-0.65	-0.06	0.0	0.00	0.01	0.00
623.37	4.80	0.0	-1.13	-0.15	0.0	0.00	0.02	0.00
623.37	5.96	0.0	-1.13	-0.15	0.0	0.00	0.02	0.00
623.27	5.96	0.0	-1.74	-0.30	0.0	0.00	0.04	0.00
623.27	7.09	0.0	-1.74	-0.30	0.0	0.00	0.04	0.00
623.17	7.09	0.0	-2.46	-0.51	0.0	0.00	0.06	0.00
623.17	8.21	0.0	-2.46	-0.51	0.0	0.00	0.06	0.00
623.07	8.21	0.0	-3.29	-0.80	0.0	0.00	0.10	0.00
623.07	9.25	0.0	-3.29	-0.80	0.0	0.00	0.10	0.00
623.03	9.25	0.0	-3.67	-0.96	0.0	0.00	0.12	0.00
622.93	9.90	0.0	0.33	-0.92	9.9	0.00	0.11	0.00
622.93	10.38	0.0	0.33	-0.92	0.0	0.00	0.11	0.00
622.83	11.12	0.0	4.34	-0.88	0.0	0.00	0.11	0.00
622.77	11.12	0.0	3.66	-0.63	0.0	0.00	0.08	0.00
622.77	12.05	0.0	3.66	-0.63	0.0	0.00	0.08	0.00
622.67	12.05	0.0	2.43	-0.32	0.0	0.00	0.04	0.00

Kote z [m]	H-Druck h [kN/m]	Verform. w [mm]	Schnittgr.		Aufl. A _H [kN]	Biegebem.		Schubbem. a _{S_{bue}} [cm ² /m]
			V [kN]	M [kN*m]		a _{S_{Luft}} [cm ² /m]	a _{S_{Erde}} [cm ² /m]	
622.67	12.92	0.0	2.43	-0.32	0.0	0.00	0.04	0.00
622.57	12.92	0.0	1.12	-0.14	0.0	0.00	0.02	0.00
622.57	13.74	0.0	1.12	-0.14	0.0	0.00	0.02	0.00
622.47	13.74	0.0	-0.27	-0.09	0.0	0.00	0.01	0.00
622.47	14.55	0.0	-0.27	-0.09	0.0	0.00	0.01	0.00
622.37	14.55	0.0	-1.75	-0.20	0.0	0.00	0.02	0.00
622.37	15.35	0.0	-1.75	-0.20	0.0	0.00	0.02	0.00
622.27	15.35	0.0	-3.31	-0.45	0.0	0.00	0.06	0.00
622.27	16.14	0.0	-3.31	-0.45	0.0	0.00	0.06	0.00
622.17	16.14	0.0	-4.95	-0.87	0.0	0.00	0.11	0.00
622.17	16.71	0.0	-4.95	-0.87	0.0	0.00	0.11	0.00
622.07	16.71	0.0	-6.64	-1.46	0.0	0.00	0.18	0.00
622.07	16.90	0.0	-6.64	-1.46	0.0	0.00	0.18	0.00
621.97	16.90	0.0	-8.36	-2.22	0.0	0.00	0.27	0.00
621.97	17.25	0.0	-8.36	-2.22	0.0	0.00	0.27	0.00
621.87	17.25	0.0	-10.11	-3.16	0.0	0.00	0.39	0.00
621.87	18.02	0.0	-10.11	-3.16	0.0	0.00	0.39	0.00
621.77	18.02	0.0	-11.94	-4.28	0.0	0.00	0.53	0.00
621.77	18.82	0.0	-11.94	-4.28	0.0	0.00	0.53	0.00
621.67	18.82	0.0	-13.85	-5.59	0.0	0.00	0.69	0.00
621.67	19.63	0.0	-13.85	-5.59	0.0	0.00	0.69	0.00
621.57	19.63	0.0	-15.84	-7.10	0.0	0.00	0.88	0.00
621.57	20.45	0.0	-15.84	-7.10	0.0	0.00	0.88	0.00
621.55	20.45	0.0	-16.26	-7.44	0.0	0.00	0.92	0.00
621.45	20.72	0.0	3.17	-7.09	43.3	0.00	0.88	0.00
621.45	21.40	0.0	3.17	-7.09	0.0	0.00	0.88	0.00
621.35	64.76	0.0	22.60	-6.75	0.0	0.00	0.83	0.00
621.27	64.76	0.0	17.34	-5.07	0.0	0.00	0.62	0.00
621.27	28.23	0.0	17.34	-5.07	0.0	0.00	0.62	0.00
621.17	28.23	0.0	14.47	-3.46	0.0	0.00	0.42	0.00
621.17	29.23	0.0	14.47	-3.46	0.0	0.00	0.42	0.00
621.07	29.23	0.0	11.50	-2.14	0.0	0.00	0.26	0.00
621.07	30.21	0.0	11.50	-2.14	0.0	0.00	0.26	0.00
620.97	30.21	0.0	8.44	-1.13	0.0	0.00	0.14	0.00
620.97	31.19	0.0	8.44	-1.13	0.0	0.00	0.14	0.00
620.87	31.19	0.0	5.27	-0.43	0.0	0.00	0.05	0.00
620.87	32.16	0.0	5.27	-0.43	0.0	0.00	0.05	0.00
620.77	32.16	-0.1	2.00	-0.06	0.0	0.00	0.01	0.00
620.77	32.91	-0.1	2.00	-0.06	0.0	0.00	0.01	0.00
620.71	32.91	-0.1	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00

*** Hinweis: Bei Nägeln wird die Querkraft und das Moment im Punkt der Stützung linear aus T und M an den Rändern der Kopfplatte interpoliert.

Nageldaten (Aushub Aushub 2) (Bemessungswerte):

x-Kopf [m]	z-Kopf [m]	Neig. [°]	Länge [m]	A [m]	f _{yk} [MN/m ²]	γ _s [-]	F _{Std} [kN]	F _{Erf} [kN]	F _{Bem} [kN]	Dm _{Erf} [mm]
-130.28	622.93	35.0	15.80	1.50	500	1.15	288.8	48.8	18.1	12.0
-130.54	621.45	35.0	14.80	1.50	500	1.15	301.7	51.0	79.3	15.2

Durchstanznachweise (DIN 1045 - 1):

- F Nagelkraft aus Erddruckber. auf die Wand $MAX(F_{Erf}, F_{Bem}) * \cos(\text{Neigung})$
- H-Druck Erddruckkraft auf Kopfplatte
- B Breite der Kopfplatte
- h Dicke der Wand
- A_{sl} Längs-/Querbewehrung (aus Biegung) bei Kopfplatte in cm^2/m Wand
- ρ_l Längsbewehrungsgrad aus A_{sl} bei Kopfplatte
- d Stat. Höhe der Wand
- V_{Ed} Bemessungswert Querkraft
- V_{Rdct} Quertragfähigkeit ohne Schubbewehrung
- A_{swErf} Erf. Duchstanzbewehrung (Schubbew.) (Abst.= $0.5*d$ vom Stützenrand)
- A_{slErf} Alternativ zu A_{swErf} : Erf. Gesamt-Längsbewehrung, so dass keine Durchstanzbew. erforderlich ist.

z-Kopf	F	H-Druck	B	h	A_{sl}	ρ_l	d	V_{Ed}		V_{Rdct}	A_{swErf}	A_{slErf}
[m]	[kN]	[kN/m ²]	[cm]	[cm]	[cm ² /m]	[%]	[cm]	[MN/m]		[MN/m]	[cm ²]	[cm ² /m]
622.93	44.2	9.90	20.0	25.0	0.92	0.1	18.0	0.017	<	0.051	-	-
621.45	71.9	20.72	20.0	25.0	0.92	0.1	18.0	0.027	<	0.051	-	-

Äußere Standsicherheit

Nachweis der Grundbruchsicherheit im GZ 1B

Horizontallast H [kN]	=	119.37		
Böschungsneigung β [°] (verändert, siehe Hinweis)	=	1.74		
Einbindetiefe t [m]	=	0.00		
Ersatzeinbindetiefe d' [m]	=	0.05		
Ersatzbreite b' [m]	=	12.79		
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$				
= 119.37 kN / 1531.32 kN	=	0.08		
Maßgebende Bodenkennwerte:				
Gamma oberhalb Gründungssohle [kN/m ³]	=	19.00		
Gamma unterhalb Gründungssohle [kN/m ³]	=	21.45		
Reibungswinkel φ [°]	=	26.67		
Kohäsion c [kN/m ²]	=	4.82		
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_d, N_b	=	23.51	12.84	6.17
Neigungsbeiwerte i_c, i_d, i_b	=	0.84	0.85	0.78
Geländeneigungsbeiwerte $\lambda_c, \lambda_d, \lambda_b$	=	1.00	0.94	0.91
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	1531.32 kN		
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	12015.46 kN		

$N_d/R_d = .13 < 1.0$: Nachweis erfüllt
=====

Hinweis: die Böschungshöhe wurde auf die halbe verbleibende Breite der Grundbruchfigur von 39.21 m angesetzt, da die Beiwerte λ für unendlich ausgedehnte Böschungen gelten.

System

Belastung

Schnittgrößen

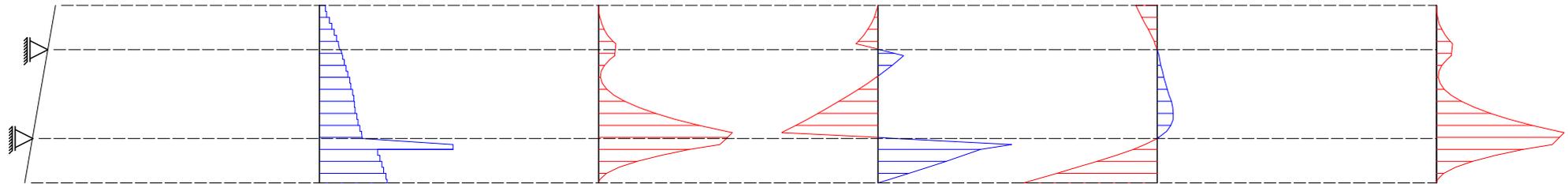
h

M

Q

w

as1/as2



Maximum
Minimum

64.76 kN/m
2.81 kN/m

-0.00 kNm
-7.44 kNm

22.60 kN
-16.26 kN

0.01 mm
-0.07 mm

0.00 cm² 0.92 cm²
0.00 cm² 0.00 cm²

Zusammenstellung der maßgebenden erforderl. Nagelkräfte und -längen:

Lage	z-Kote [m]	Kraft (Bem.) N_d [kN]	Länge [m]	Verpress- länge [m]	erf. Durchm. [mm]	Breite Kopfl. [mm]	Korr.-faktor Schub [%]
1	622.93	48.81	15.80	15.80	12.0	200	100
2	621.45	79.34	14.80	14.80	15.2	200	100

Gleitkreisnachweis im GZ 1C

Lastfall 1

Gleitkörper von $x = -143.52$ bis -120.76 mGleitkreis: $x_M = -136.13$ m, $z_M = 627.88$ m, $R = 15.63$ m

Bestimmung der Lamellen-Anteile:

x_M [m]	Breite b [m]	Eigen- gewicht [kN/m]	Auflast [kN/m]	Wasser- auflast [kN/m]	φ [°]	c [kN/m ²]	ϑ [°]
-143.02	1.00	4.91	0.00	0.00	22.50	5.0	-26.18
-142.02	1.00	47.41	0.00	0.00	22.50	5.0	-22.16
-141.02	1.00	66.09	0.00	0.00	22.50	5.0	-18.25
-140.02	1.00	71.82	0.00	0.00	22.50	5.0	-14.43
-139.02	1.00	78.58	0.00	0.00	22.50	5.0	-10.68
-138.02	1.00	114.28	0.00	0.00	22.50	5.0	-6.96
-137.02	1.00	137.23	0.00	0.00	22.50	5.0	-3.28
-136.02	1.00	143.37	0.00	0.00	22.50	5.0	0.39
-135.02	1.00	148.26	0.00	0.00	22.50	5.0	4.06
-134.02	1.00	151.90	0.00	0.00	22.50	5.0	7.74
-133.02	1.00	154.25	0.00	0.00	22.50	5.0	11.46
-132.02	1.00	152.28	0.00	0.00	22.50	5.0	15.23
-131.02	1.00	147.49	0.00	0.00	22.50	5.0	19.07
-130.02	1.00	182.00	0.00	0.00	22.50	5.0	23.00
-129.02	1.00	187.35	0.00	0.00	22.50	5.0	27.05
-128.02	1.00	182.37	0.00	0.00	22.50	5.0	31.25
-127.02	1.00	174.95	0.00	0.00	22.50	5.0	35.64
-126.02	1.00	163.07	0.00	0.00	22.50	5.0	40.30
-125.02	1.00	147.41	29.65	0.00	18.00	0.0	45.29
-124.02	1.00	126.09	33.30	0.00	22.50	3.8	50.78
-123.02	1.00	99.69	33.30	0.00	22.50	3.8	57.01
-122.02	1.00	65.46	33.30	0.00	22.50	3.8	64.52
-121.14	0.76	20.97	25.29	0.00	18.00	0.0	73.54
x_M [m]						$R \cdot T_i$ [kNm/m]	$R \cdot G^* \cdot \sin(\vartheta)$ [kNm/m]
-143.02						113.24	-33.82
-142.02						374.43	-279.46
-141.02						468.62	-323.51
-140.02						482.62	-279.70
-139.02						503.69	-227.45
-138.02						681.94	-216.51
-137.02						786.69	-122.76
-136.02						803.38	15.11
-135.02						816.38	163.89
-134.02						826.00	319.81
-133.02						832.35	478.99
-132.02						820.60	625.16
-131.02						798.37	752.99

Programm DC-Nagel/Win Version 3.25
A 4_1 HM S 1 Spw 020316

x_M	$R \cdot T_i$	$R \cdot G^*$ $\sin(\vartheta)$
[m]	[kNm/m]	[kNm/m]
-130.02	977.70	1111.17
-129.02	1016.82	1331.17
-128.02	1009.46	1478.18
-127.02	995.57	1592.95
-126.02	964.45	1647.89
-125.02	839.59	1966.28
-124.02	1032.92	1929.53
-123.02	949.99	1742.84
-122.02	824.17	1392.99
-121.14	383.57	693.26

Summen: 17302.53 15758.99

Nägel

Nagelkraft	Hebelarm	Winkel zu R	φ	M rückh.	M abtr.
[kN/m]	[m]	[°]	[°]	[kNm/m]	[kNm/m]
115.62	0.70	2.56	18.33	693.71	-80.74
119.12	2.06	7.57	18.33	709.17	-245.36

**** ~~Hinweis: Die Ausziehungskräfte der Nägel für den Geländebruch sind größer als die berechneten Nagelkräfte. Prüfen Sie, ob die Nageldurchmesser zu erhöhen sind.~~

Einwirkungen $E_d = 15432.90$ kNm/m

Widerstände $R_d = 18705.41$ kNm/m

$E_d/R_d = .83 < 1.0$: Nachweis erfüllt

=====

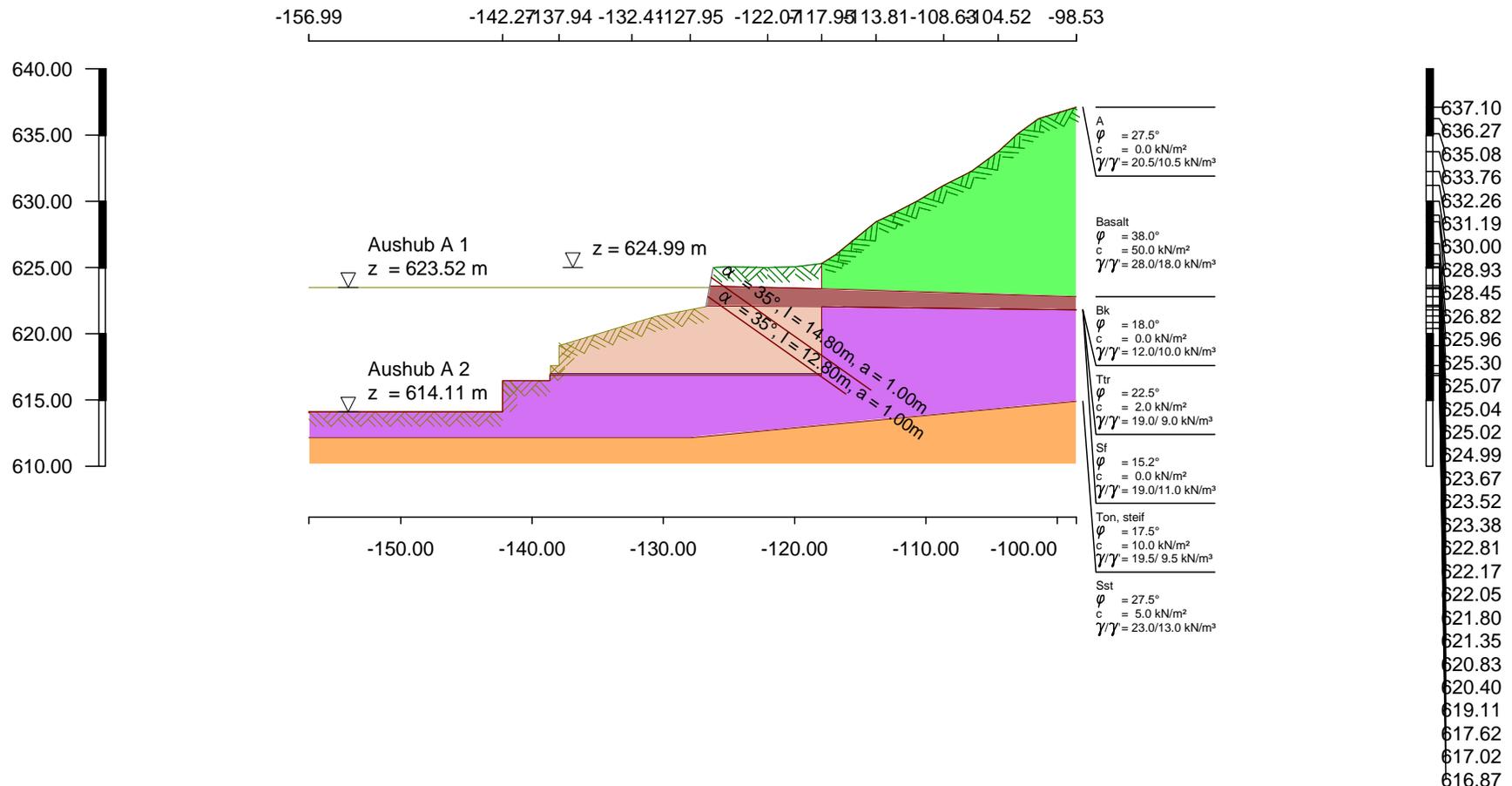
Bezeichnungen im Ausdruck 'Standsicherheitsuntersuchung':

Die Angabe von Kräften [kN] bezieht sich auf 1 m Wand senkr. zur Bildebene.

- ϑ_1 Neigung der flachen Hauptgleitfuge
- ϑ_2 Neigung der steilen Hauptgleitfuge
- ϑ_{12} Neigung der Zwischengleitfuge (Ersatzwand) ($=90^\circ + \varphi$)
- L_{Nag} Nagellänge
- W Gesamtlast des Hauptgleitkörpers (Eigengew., Lasten, Wasserdr.)
- Q_1 Kraft in der flachen Hauptgleitfuge
- Q_{12} aktive Erddruckkraft auf Zwischengleitfuge
- Z_{Erf} erforderl. result. Nagelkraft auf Hauptgleitkörper (Zug=positiv) um das Kräftegleichgewicht zu erfüllen
- Z_{Vorh} vorhandene (= max. mobilisierbare) Nagelkräfte (= Summe der möglichen Ausziehungskräfte von Nagelabschnitten, die hinter der flachen Hauptgleitlinie liegen)
- E_d/R_d Sicherheit bzgl. Nagelkräfte Z_{Erf} und Z_{Vorh}

Bezeichnungen im Ausdruck 'Nageldaten':

A	Horizontaler Nagelabstand
f_{yk}	Nennfestigkeit Nagelstahl
γ_s	Stahl: Sicherheit ggü. Fließen
F_{Std}	Maximal mögl. Ausziehungskraft je Nagel aus Standsicherheitsberechnung F_{Std} korrespondiert mit der Kraft Z_{Vorh} im Ausdruck 'Standsicherheitsuntersuchung'
F_{Erf}	Erforderliche Nagelkraft zur Aufnahme von Z_{Erf} des maßgeblichen Mechanismus im diesem Bauzustand: $\sum(F_{Erf}) = Z_{Erf}$
F_{Bem}	Maximale Kraft je Nagel aus Berechnung der Wandschnittgrößen
Dm_{Erf}	Erforderlicher Durchmesser aus der Bedingung $A_s = \text{MAX}(F_{Erf}, F_{Bem}) * \gamma_s / f_{yk}$



Seite	1
Übersicht	
Maßstab :	1: 500

Programm DC-Nagel/Win Version 3.25

A 4_2 HM S 1 Spw 2 250116

Eingabedatei: A 4_2 HM S 1 Spw 2 250116.dbn

Schichtsystem mit 7 Schichten**Erdschichtwerte**

φ	Reibungswinkel phi
δ	Wandreibungswinkel
C	Kohäsion c
γ	Wichte
γ_w	Wichte unter Auftrieb
φ_{EW}	Wandreibungswinkel auf die Ersatzwand durch die Nagelenden (Zwischengleitfuge)
T_{Nagel}	mobilisierbare Haftreibung eines Nagels im Boden

Num.	Bezeichnung	φ [°]	δ [°]	C [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	γ_w [kN/m ³]	φ_{EW} [°]	T_{Nagel} [kN/m]
1	A	27.5	0.0	0.0	20.5	10.5	27.5	17.3
2	Basalt	38.0	0.0	50.0	28.0	18.0	38.0	62.8
3	Bk	18.0	0.0	0.0	12.0	10.0	18.0	6.9
4	Ttr	22.5	0.0	2.0	19.0	9.0	22.5	17.3
5	Sf	15.2	0.0	0.0	19.0	11.0	15.2	6.9
6	Ton, steif	17.5	0.0	10.0	19.5	9.5	17.5	34.6
7	Sst	27.5	0.0	5.0	23.0	13.0	27.5	30.0

Geländeverlauf:

x [m]	z [m]
-126.21	624.99
-125.17	625.07
-122.07	625.02
-120.01	625.04
-117.95	625.30
-116.91	625.96
-115.87	626.82
-113.81	628.45
-112.77	628.93
-110.71	630.00
-108.63	631.19
-106.57	632.26
-104.52	633.76
-102.99	635.08
-101.42	636.27
-98.53	637.10

Verlauf Unterkante der 1. Schicht A:

x [m]	z [m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-138.62	617.62
-137.94	617.62
-137.93	619.11
-135.50	620.40
-134.46	620.83
-132.41	622.17
-131.36	622.81
-130.15	623.67
-117.95	623.38
-117.95	625.30
-116.91	625.96
-115.87	626.82
-113.81	628.45
-112.77	628.93
-110.71	630.00
-108.63	631.19
-106.57	632.26
-104.52	633.76
-102.99	635.08
-101.42	636.27
-98.53	637.10

Verlauf Unterkante der 2. Schicht Basalt:

x [m]	z [m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-138.62	617.62
-137.94	617.62
-137.93	619.11
-135.50	620.40
-134.46	620.83
-132.41	622.17
-131.36	622.81
-130.15	623.67
-117.95	623.38
-98.53	622.80

Verlauf Unterkante der 3. Schicht Bk:

x	z
[m]	[m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-138.62	617.62
-137.94	617.62
-137.93	619.11
-135.50	620.40
-134.46	620.83
-132.41	622.17
-117.95	622.05
-98.53	621.80

Verlauf Unterkante der 4. Schicht Ttr:

x	z
[m]	[m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-138.62	617.02
-117.95	617.02
-117.95	622.05
-98.53	621.80

Verlauf Unterkante der 5. Schicht Sf:

x	z
[m]	[m]
-142.27	614.11
-142.26	616.43
-138.63	616.43
-138.63	616.87
-117.95	616.87
-117.95	622.05
-98.53	621.80

Verlauf Unterkante der 6. Schicht Ton, steif:

x	z
[m]	[m]
-127.95	612.17
-98.53	614.90

Streifenlasten:

x_A	z_A	x_E	z_E	P_x	P_z	Art	Lastfall	γ_{1B}	γ_{1C}	ψ
[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]					
-125.41	625.04	-125.17	625.07	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-
-125.17	625.07	-122.07	625.02	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-
-122.07	625.02	-120.01	625.04	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-
-120.01	625.04	-119.41	625.04	0.00	33.30	Verkehr	1	-	-	-

Nageltabelle:

Lage	z-Kote [m]	Neigung [°]	Min- länge [m]	Verpress- länge [m]	Horiz. Abstand [m]	Breite Kopfpl. [mm]	Rechenfestigk. Stahl [N/mm ²]	Vorspann- kraft [kN]
1	624.26	35.00	14.80	14.80	1.00	200	500	-
2	622.78	35.00	12.80	12.80	1.00	200	500	-

Aushubtabelle:

Phase	Schnitt Sohle-Wand		wirksame Nägel
	x [m]	z [m]	
1: A 1	-126.47	623.52	
2: A 2	-126.73	622.04	1, 2

Berechnung nach DIN 1054:2005**Teilsicherheitsbeiwerte γ -**

	g	w	l	q	gb	φ	c	Gl	tgr	s
GZ 1B:										
LF1	1.35	1.35	1.35	1.50	1.40	1.00	1.00	1.10	1.10	1.15
LF2	1.20	1.20	1.20	1.30	1.30	1.00	1.00	1.10	1.10	1.15
LF3	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20	1.00	1.00	1.10	1.10	1.15
GZ 1C:										
LF1	1.00	1.00	1.00	1.30	1.00	1.25	1.25	1.00	1.40	1.00
LF2	1.00	1.00	1.00	1.20	1.00	1.25	1.15	1.00	1.30	1.00
LF3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.10	1.00	1.20	1.00

γ -	Teilsicherheitsbeiwert für...
g	Erddruck
w	Wasserdruck
l	Ständige Lasten
q	Verkehrslasten
gb	Grundbruchwiderstand
γ	Reibungsbeiwert $\tan(\varphi)$
c	Kohäsion c
Gl	Gleitwiderstand
tgr	Herausziehwiderstand Nägel
s	Nagelstahl

Berechnung Lastfall 1 (Typ LF1)**Aushub Nr. 1 Name: A 1 Lastfall: 1****Innere Standsicherheit**

Ergebnisse eines einfachen Erddruckkeiles:

ϑ	W	Q	$ZH_{Erf}=E_{ah}$	ZH_{Vorh}	E_d/R_d
[°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
39.8	56.86	59.54	18.67	0.00	unendl

Es wurde ein einfacher Erddruckkeil von (-126.47,623.52) bis (-124.62,625.06) untersucht, auf den keine Nagelkräfte wirken.

Bitte überprüfen Sie die geometrische Situation/Nägel in diesem Aushub 'A 1'.

Es verbleibt eine horiz. Kraft von 18.67 kN, die durch Kohäsion aufgenommen werden muss.

Maßgebende Bruchfigur in diesem Aushub: Einfacher Erddruckkeil:

ϑ	W	Q	$ZH_{Erf}=E_{ah}$	ZH_{Vorh}	E_d/R_d
[°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
39.8	56.86	59.54	18.67	0.00	unendl

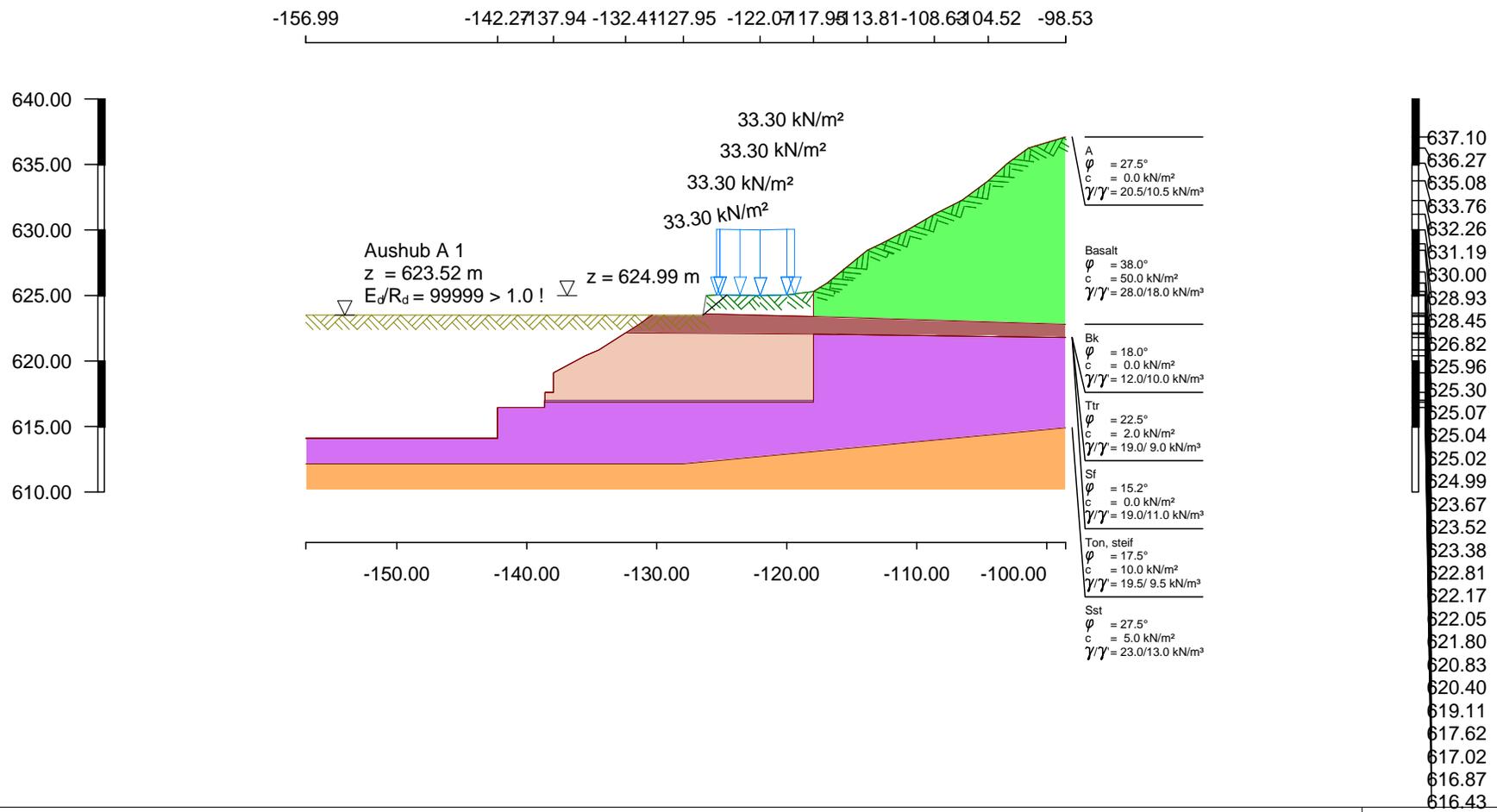
Äußere Standsicherheit

Nachweis der Grundbruchsicherheit im GZ 1B

Horizontallast H [kN]	=	0.00		
Einbindetiefe t [m]	=	0.00		
Ersatzbreite b' [m]	=	12.25		
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$				
= 0.00 kN / 1097.57 kN	=	0.00		
Maßgebende Bodenkennwerte:				
Gamma oberhalb Gründungssohle [kN/m³]	=	12.00		
Gamma unterhalb Gründungssohle [kN/m³]	=	20.81		
Reibungswinkel φ [°]	=	26.04		
Kohäsion c [kN/m²]	=	5.00		
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_d, N_b	=	22.37	11.96	5.54
Neigungsbeiwerte i_c, i_d, i_b	=	1.00	1.00	1.00
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	1097.57 kN		
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	13344.42 kN		

$N_d/R_d = .08 < 1.0$: Nachweis erfüllt

=====



Aushub Nr. 2 Name: A 2 Lastfall: 1

Innere Standsicherheit

Standsicherheitsuntersuchung (Aushub A 2):

Berechnungen entsprechend GZ 1C.

Berechnungsergebnisse sind Bemessungswerte.

Unterster Nagel über Aushubkote ist eingebaut.

Automatische Ermittlung der Nagellängen:

Nägel unter und mit dem aktuellen werden (falls nötig) verlängert.

Neigung der Ersatzwand durch die Nagelenden wird automatisch ermittelt.

Schnittpunkt Aushubsohle-Wand $x=-126.73$ $z=622.04$

Mechanismen mit dem Schnittpunkt der Gleitlinien bei den Nagelenden:

ϑ_1 [°]	ϑ_2 [°]	ϑ_{12} [°]	L_{Nag} [m]	W [kN]	Q_1 [kN]	Q_{12} [kN]	Z_{Erf} [kN]	Z_{Vorh} [kN]	E_d/R_d [-]
0.00	43.66	90.00	14.8	1092.1	1005.0	97.3	-272.6	362.1	0.00
0.00	57.60	115.00	12.8	1053.6	935.5	100.3	-250.9	362.1	0.00

Mechanismen mit dem Schnittpunkt der Gleitlinien innerhalb der Vernagelung:

21.64	49.65	90.00	-	125.1	194.7	53.1	88.6	374.1	0.24
21.64	51.21	95.23	-	137.5	205.6	54.4	93.4	374.1	0.25

Ergebnisse eines einfachen Erddruckkeiles:

ϑ [°]	W [kN]	Q [kN]	$ZH_{Erf}=E_{ah}$ [kN]	ZH_{Vorh} [kN]	E_d/R_d [-]
42.5	154.08	168.19	72.12	311.27	0.23

Maßgebende Bruchfigur in diesem Aushub:

flache Hauptgleitlinie von $x=-126.73$ $z=622.04$ bis $x=-124.46$ $z=622.94$

$\vartheta_1=21.64$ $\vartheta_2=51.21$ $\vartheta_{12}=95.23$ $Z_{Erf}=93.44$ [kN] $E_d/R_d=0.25$

Wand, Zustandsgrößen (Bemessungswerte)

Schnittgrößen nach GZ 1C (Bemessungswerte).

Verformung w im GZ 2.

Bemessung nach DIN 1045-1

Dicke Betonquerschnitt $h = 25.0$ [cm]

Randachsabstand Bewehrung Luftseite $d_{luft} = 7.0$ [cm]

Randachsabstand Bewehrung Erdseite $d_{erde} = 7.0$ [cm]

E-Modul Beton $E = 24900$ [MN/m²]

Biegesteifigkeit $EI = 32422$ [kN*m²]

Nennfestigkeit Beton $f_{ck} = 20.0$ [MN/m²]

Nennfestigkeit Bewehrung $f_{yk} = 500.0$ [MN/m²]

Biegebewehrung zur Bestimmung des Längsbewehrungsgrades μ

für den Durchstanznachweis $As\mu = \text{MAX}(as_1, as_2)$ aus Wandberechnung

*** Die Berechnung der Erddruckkräfte E_{ah} erfolgt aus der Optimierung von Theta unter Berücksichtigung aller Lasten (g+p) des akt. Lastfalles.

*** Der Erddruckverlauf e_{ah} entspricht der abschnittsweise const. Ableitung der E_{ah} -Werte nach z.

*** Kohäsion wird bei der Erddruckberechnung nicht berücksichtigt.

*** Der Wandreibungswinkel δ ist mit 0° angesetzt.

*** Der Erddruck wird zu 85.00 [%] angesetzt.

Erddruck je lfm Wandbreite (Bemessungswerte):

Wandverlauf		Wanddicke	Bew.-abstände		Gleitwinkel	Erddruck	
x	z	h	d _{luft}	d _{erde}	ϕ	E _{ah}	e _{ah}
[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[°]	[kN]	[kN/m]
-126.21	624.99	25.0	7.0	7.0	0.00	0.0	0.35
-126.23	624.89	25.0	7.0	7.0	49.82	0.0	0.35
-126.25	624.79	25.0	7.0	7.0	49.82	0.1	1.04
-126.26	624.69	25.0	7.0	7.0	49.81	0.3	1.74
-126.28	624.59	25.0	7.0	7.0	49.81	0.6	2.43
-126.30	624.49	25.0	7.0	7.0	49.81	0.9	3.13
-126.32	624.39	25.0	7.0	7.0	49.81	1.3	3.82
-126.33	624.29	25.0	7.0	7.0	49.81	1.7	4.51
-126.34	624.26	25.0	7.0	7.0	49.81	1.9	4.96
-126.35	624.19	25.0	7.0	7.0	49.81	2.2	5.32
-126.37	624.09	25.0	7.0	7.0	34.51	5.7	34.51
-126.39	623.99	25.0	7.0	7.0	35.67	7.2	15.28
-126.40	623.89	25.0	7.0	7.0	36.71	8.8	16.46
-126.42	623.79	25.0	7.0	7.0	37.67	10.6	17.55
-126.44	623.69	25.0	7.0	7.0	38.53	12.5	18.57
-126.46	623.59	25.0	7.0	7.0	39.33	14.4	19.53
-126.47	623.49	25.0	7.0	7.0	39.99	16.5	21.19
-126.49	623.39	25.0	7.0	7.0	40.47	18.9	23.70
-126.51	623.29	25.0	7.0	7.0	40.87	21.5	25.96
-126.53	623.19	25.0	7.0	7.0	41.35	24.2	26.99
-126.54	623.09	25.0	7.0	7.0	41.79	27.0	27.66
-126.56	622.99	25.0	7.0	7.0	42.19	29.8	28.30
-126.58	622.89	25.0	7.0	7.0	42.57	32.7	28.93
-126.60	622.78	25.0	7.0	7.0	42.96	35.9	29.58
-126.62	622.69	25.0	7.0	7.0	43.26	38.7	30.18
-126.63	622.59	25.0	7.0	7.0	43.56	41.7	30.74
-126.65	622.49	25.0	7.0	7.0	43.85	44.9	31.33
-126.67	622.39	25.0	7.0	7.0	44.12	48.1	31.90
-126.69	622.29	25.0	7.0	7.0	42.10	51.8	37.68
-126.70	622.19	25.0	7.0	7.0	42.51	55.6	37.85
-126.72	622.09	25.0	7.0	7.0	42.39	59.5	38.46
-126.73	622.04	25.0	7.0	7.0	42.50	61.4	39.06

Zustandsgrößen je lfm Wandbreite (Bemessungswerte):

Kote	H-Druck	Verform.	Schnittgr.		Aufl.	Biegebem.		Schubbem.
z	h	w	V	M	A _H	as _{Luft}	as _{Erde}	as _{bue}
[m]	[kN/m]	[mm]	[kN]	[kN*m]	[kN]	[cm ² /m]	[cm ² /m]	[cm ² /m]
624.99	0.35	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
624.89	0.35	0.0	-0.04	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
624.89	1.04	0.0	-0.04	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
624.79	1.04	0.0	-0.14	-0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
624.79	1.74	0.0	-0.14	-0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
624.69	1.74	0.0	-0.32	-0.03	0.0	0.00	0.00	0.00
624.69	2.43	0.0	-0.32	-0.03	0.0	0.00	0.00	0.00
624.59	2.43	0.0	-0.56	-0.08	0.0	0.00	0.01	0.00
624.59	3.13	0.0	-0.56	-0.08	0.0	0.00	0.01	0.00
624.49	3.13	0.0	-0.88	-0.15	0.0	0.00	0.02	0.00
624.49	3.82	0.0	-0.88	-0.15	0.0	0.00	0.02	0.00
624.39	3.82	0.0	-1.27	-0.26	0.0	0.00	0.03	0.00
624.39	4.51	0.0	-1.27	-0.26	0.0	0.00	0.03	0.00
624.36	4.51	0.0	-1.41	-0.31	0.0	0.00	0.04	0.00
624.26	4.96	0.0	3.09	0.03	10.7	0.00	0.00	0.00
624.26	5.32	0.0	3.09	0.03	0.0	0.00	0.00	0.00
624.16	34.51	0.0	7.58	0.37	0.0	0.04	0.00	0.00
624.09	34.51	0.0	5.13	0.86	0.0	0.10	0.00	0.00
624.09	15.28	0.0	5.13	0.86	0.0	0.10	0.00	0.00
623.99	15.28	0.0	3.58	1.30	0.0	0.16	0.00	0.00
623.99	16.46	0.0	3.58	1.30	0.0	0.16	0.00	0.00

Programm DC-Nagel/Win Version 3.25

A 4_2 HM S 1 Spw 2 250116

Kote z [m]	H-Druck h [kN/m]	Verform. w [mm]	Schnittgr.		Aufl. A _H [kN]	Biegebem.		Schubbem. a _{S_{bue}} [cm ² /m]
			V [kN]	M [kN*m]		a _{S_{Luft}} [cm ² /m]	a _{S_{Erde}} [cm ² /m]	
623.89	16.46	0.0	1.91	1.58	0.0	0.19	0.00	0.00
623.89	17.55	0.0	1.91	1.58	0.0	0.19	0.00	0.00
623.79	17.55	0.0	0.13	1.68	0.0	0.21	0.00	0.00
623.79	18.57	0.0	0.13	1.68	0.0	0.21	0.00	0.00
623.69	18.57	0.0	-1.76	1.60	0.0	0.20	0.00	0.00
623.69	19.53	0.0	-1.76	1.60	0.0	0.20	0.00	0.00
623.59	19.53	0.0	-3.74	1.32	0.0	0.16	0.00	0.00
623.59	21.19	0.0	-3.74	1.32	0.0	0.16	0.00	0.00
623.49	21.19	0.0	-5.89	0.83	0.0	0.10	0.00	0.00
623.49	23.70	0.0	-5.89	0.83	0.0	0.10	0.00	0.00
623.39	23.70	0.0	-8.30	0.11	0.0	0.01	0.00	0.00
623.39	25.96	0.0	-8.30	0.11	0.0	0.01	0.00	0.00
623.29	25.96	0.0	-10.94	-0.87	0.0	0.00	0.11	0.00
623.29	26.99	0.0	-10.94	-0.87	0.0	0.00	0.11	0.00
623.19	26.99	0.0	-13.68	-2.12	0.0	0.00	0.26	0.00
623.19	27.66	0.0	-13.68	-2.12	0.0	0.00	0.26	0.00
623.09	27.66	0.0	-16.49	-3.65	0.0	0.00	0.45	0.00
623.09	28.30	0.0	-16.49	-3.65	0.0	0.00	0.45	0.00
622.99	28.30	0.0	-19.36	-5.47	0.0	0.00	0.67	0.00
622.99	28.93	0.0	-19.36	-5.47	0.0	0.00	0.67	0.00
622.89	28.93	0.0	-22.30	-7.58	0.0	0.00	0.94	0.00
622.89	29.58	0.0	-22.30	-7.58	0.0	0.00	0.94	0.00
622.88	29.58	0.0	-22.60	-7.83	0.0	0.00	0.97	0.00
622.78	29.58	0.0	0.10	-7.81	50.7	0.00	0.97	0.00
622.78	30.18	0.0	0.10	-7.81	0.0	0.00	0.97	0.00
622.68	30.74	0.0	22.79	-7.80	0.0	0.00	0.96	0.00
622.59	30.74	0.0	19.98	-5.83	0.0	0.00	0.72	0.00
622.59	31.33	0.0	19.98	-5.83	0.0	0.00	0.72	0.00
622.49	31.33	0.0	16.80	-3.97	0.0	0.00	0.49	0.00
622.49	31.90	0.0	16.80	-3.97	0.0	0.00	0.49	0.00
622.39	31.90	0.0	13.56	-2.43	0.0	0.00	0.30	0.00
622.39	37.68	0.0	13.56	-2.43	0.0	0.00	0.30	0.00
622.29	37.68	0.0	9.73	-1.24	0.0	0.00	0.15	0.00
622.29	37.85	0.0	9.73	-1.24	0.0	0.00	0.15	0.00
622.19	37.85	-0.1	5.89	-0.45	0.0	0.00	0.05	0.00
622.19	38.46	-0.1	5.89	-0.45	0.0	0.00	0.05	0.00
622.09	38.46	-0.1	1.98	-0.05	0.0	0.00	0.01	0.00
622.09	39.06	-0.1	1.98	-0.05	0.0	0.00	0.01	0.00
622.04	39.06	-0.1	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00

*** Hinweis: Bei Nägeln wird die Querkraft und das Moment im Punkt der Stützung linear aus T und M an den Rändern der Kopfplatte interpoliert.

Nageldaten (Aushub A 2) (Bemessungswerte):

x-Kopf [m]	z-Kopf [m]	Neig. [°]	Länge [m]	A [m]	f _{yk} [MN/m ²]	γ _s [-]	F _{Std} [kN]	F _{Erf} [kN]	F _{Bem} [kN]	Dm _{Erf} [mm]
-126.34	624.26	35.0	14.80	1.00	500	1.15	204.0	49.9	13.1	12.1
-126.60	622.78	35.0	12.80	1.00	500	1.15	175.9	43.6	61.9	13.5

Durchstanznachweise (DIN 1045 - 1):

- F Nagelkraft aus Erddruckber. auf die Wand $MAX(F_{Erf}, F_{Bem}) * \cos(\text{Neigung})$
- H-Druck Erddruckkraft auf Kopfplatte
- B Breite der Kopfplatte
- h Dicke der Wand
- A_{sl} Längs-/Querbewehrung (aus Biegung) bei Kopfplatte in cm^2/m Wand
- ϱ_l Längsbewehrungsgrad aus A_{sl} bei Kopfplatte
- d Stat. Höhe der Wand
- V_{Ed} Bemessungswert Querkraft
- V_{Rdct} Quertragfähigkeit ohne Schubbewehrung
- A_{swErf} Erf. Duchstanzbewehrung (Schubbew.) (Abst.= $0.5*d$ vom Stützenrand)
- A_{slErf} Alternativ zu A_{swErf} : Erf. Gesamt-Längsbewehrung, so dass keine Durchstanzbew. erforderlich ist.

z-Kopf	F	H-Druck	B	h	A_{sl}	ϱ_l	d	V_{Ed}		V_{Rdct}	A_{swErf}	A_{slErf}
[m]	[kN]	[kN/m ²]	[cm]	[cm]	[cm ² /m]	[%]	[cm]	[MN/m]		[MN/m]	[cm ²]	[cm ² /m]
624.26	45.2	4.96	20.0	25.0	0.97	0.1	18.0	0.018	<	0.052	-	-
622.78	56.1	29.58	20.0	25.0	0.97	0.1	18.0	0.020	<	0.052	-	-

Äußere Standsicherheit

Nachweis der Grundbruchsicherheit im GZ 1B

Horizontallast H [kN]	=	84.86		
Böschungsneigung β [°] (verändert, siehe Hinweis)	=	0.76		
Einbindetiefe t [m]	=	0.00		
Ersatzbreite b' [m]	=	11.57		
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$				
= 84.86 kN / 1265.54 kN	=	0.07		
Maßgebende Bodenkennwerte:				
Gamma oberhalb Gründungssohle [kN/m ³]	=	19.00		
Gamma unterhalb Gründungssohle [kN/m ³]	=	21.26		
Reibungswinkel φ [°]	=	25.67		
Kohäsion c [kN/m ²]	=	5.26		
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_d, N_b	=	21.70	11.44	5.17
Neigungsbeiwerte i_c, i_d, i_b	=	0.86	0.87	0.81
Geländeneigungsbeiwerte $\lambda_c, \lambda_d, \lambda_b$	=	1.00	0.97	0.96
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	1265.54 kN		
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	9001.51 kN		

$N_d/R_d = .14 < 1.0$: Nachweis erfüllt
=====

Hinweis: die Böschungshöhe wurde auf die halbe verbleibende Breite der Grundbruchfigur von 34.28 m angesetzt, da die Beiwerte λ für unendlich ausgedehnte Böschungen gelten.

System

Belastung

Schnittgrößen

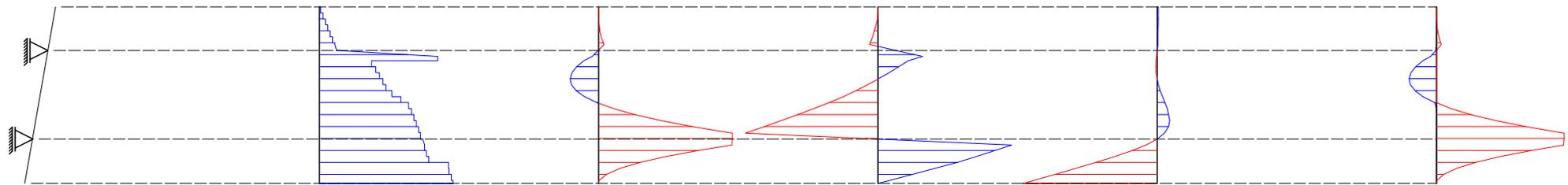
h

M

Q

w

as1/as2



Maximum
Minimum

39.06 kN/m
0.35 kN/m

1.68 kNm
-7.83 kNm

22.79 kN
-22.60 kN

0.01 mm
-0.07 mm

0.21 cm² 0.97 cm²
0.00 cm² 0.00 cm²

Zusammenstellung der maßgebenden erforderl. Nagelkräfte und -längen:

Lage	z-Kote [m]	Kraft (Bem.)N _d [kN]	Länge [m]	Verpress- länge [m]	erf. Durchm. [mm]	Breite Kopfpl. [mm]	Korr.-faktor Schub [%]
1	624.26	49.86	14.80	14.80	12.1	200	100
2	622.78	61.87	12.80	12.80	13.5	200	100

Gleitkreisnachweis im GZ 1C

Lastfall 1

Gleitkörper von x = -137.46 bis -117.95 m

Gleitkreis: x_M = -129.19 m, z_M = 627.06 m, R = 11.37 m

Bestimmung der Lamellen-Anteile:

x _M [m]	Breite b [m]	Eigen- gewicht [kN/m]	Auflast [kN/m]	Wasser- auflast [kN/m]	φ [°]	c [kN/m ²]	ϑ [°]
-135.48	0.05	2.17	0.00	0.00	22.50	2.0	-33.60
-134.96	1.00	51.88	0.00	0.00	22.50	2.0	-30.48
-133.96	1.00	67.59	0.00	0.00	17.50	10.0	-24.79
-132.96	1.00	81.18	0.00	0.00	17.50	10.0	-19.35
-131.96	1.00	92.73	0.00	0.00	17.50	10.0	-14.09
-130.96	1.00	102.39	0.00	0.00	17.50	10.0	-8.95
-129.96	1.00	109.26	0.00	0.00	17.50	10.0	-3.88
-128.96	1.00	113.24	0.00	0.00	17.50	10.0	1.16
-127.96	1.00	115.56	0.00	0.00	17.50	10.0	6.21
-126.96	1.00	118.65	0.00	0.00	17.50	10.0	11.31
-125.96	1.00	156.97	0.00	0.00	17.50	10.0	16.50
-124.96	1.00	154.90	31.75	0.00	17.50	10.0	21.84
-123.96	1.00	145.88	33.30	0.00	15.20	0.0	27.38
-122.96	1.00	134.55	33.30	0.00	22.50	2.0	33.22
-121.96	1.00	120.49	33.30	0.00	22.50	2.0	39.47
-120.96	1.00	102.98	33.30	0.00	22.50	2.0	46.35
-119.96	1.00	80.72	33.30	0.00	22.50	2.0	54.25
-118.96	1.00	52.68	1.55	0.00	18.00	0.0	64.09
-118.20	0.51	11.06	0.00	0.00	27.50	0.0	74.94
x _M [m]						R*T _i [kNm/m]	R*G* sin(ϑ) [kNm/m]
-135.48						12.58	-13.64
-134.96						281.10	-299.28
-133.96						337.59	-322.34
-132.96						362.71	-305.97
-131.96						382.76	-256.76
-130.96						399.08	-181.12
-129.96						409.64	-84.01
-128.96						414.72	26.17
-127.96						418.11	142.26
-126.96						426.97	264.72
-125.96						540.26	507.18
-124.96						636.17	789.76
-123.96						467.14	937.29
-122.96						687.88	1045.87
-121.96						664.97	1112.04
-120.96						637.02	1121.73
-119.96						600.00	1052.55

Programm DC-Nagel/Win Version 3.25

A 4_2 HM S 1 Spw 2 250116

x_M	R^*T_i	R^*G^* $\sin(\vartheta)$
[m]	[kNm/m]	[kNm/m]
-118.96	277.31	554.79
-118.20	104.27	121.51
Summen:	8060.28	6212.73

Nägel

Nagelkraft [kN/m]	Hebelarm [m]	Winkel zu R [°]	φ [°]	M rückh. [kNm/m]	M abtr. [kNm/m]
147.43	0.66	3.33	18.33	468.84	-97.56
105.19	2.02	10.25	18.33	329.72	-212.87

~~***** Hinweis: Die Ausziehungskräfte der Nägel für den Geländebruch sind größer als die berechneten Nagelkräfte. Prüfen Sie, ob die Nageldurchmesser zu erhöhen sind.~~

Ansatz des Erdwiderstands bei $x = -135.51$ m:

Kraft Ep [kN/m]	Hebelarm [m]	Wasserdr.W [kN/m]	Hebelarm [m]	M rückh. [kNm/m]	M abtr. [kNm/m]
107.50	8.61	0.00	0.00	925.00	0.00

Einwirkungen $E_d = 5902.30$ kNm/mWiderstände $R_d = 9783.96$ kNm/m $E_d/R_d = .60 < 1.0$: Nachweis erfüllt

=====

Bezeichnungen im Ausdruck 'Standsicherheitsuntersuchung':

Die Angabe von Kräften [kN] bezieht sich auf 1 m Wand senkr. zur Bildebene.

ϑ_1	Neigung der flachen Hauptgleitfuge
ϑ_2	Neigung der steilen Hauptgleitfuge
ϑ_{12}	Neigung der Zwischengleitfuge (Ersatzwand) ($=90^\circ + \varphi$)
L_{Nag}	Nagellänge
W	Gesamtlast des Hauptgleitkörpers (Eigengew., Lasten, Wasserdr.)
Q_1	Kraft in der flachen Hauptgleitfuge
Q_{12}	aktive Erddruckkraft auf Zwischengleitfuge
Z_{Erf}	erforderl. result. Nagelkraft auf Hauptgleitkörper (Zug=positiv) um das Kräftegleichgewicht zu erfüllen
Z_{Vorh}	vorhandene (= max. mobilisierbare) Nagelkräfte (= Summe der möglichen Ausziehungskräfte von Nagelabschnitten, die hinter der flachen Hauptgleitlinie liegen)
E_d/R_d	Sicherheit bzgl. Nagelkräfte Z_{Erf} und Z_{Vorh}

Bezeichnungen im Ausdruck 'Nageldaten':

A	Horizontaler Nagelabstand
f_{yk}	Nennfestigkeit Nagelstahl
γ_s	Stahl: Sicherheit ggü. Fließen
F_{Std}	Maximal mögl. Ausziehungskraft je Nagel aus Standsicherheitsberechnung F_{Std} korrespondiert mit der Kraft Z_{Vorh} im Ausdruck 'Standsicherheitsuntersuchung'
F_{Erf}	Erforderliche Nagelkraft zur Aufnahme von Z_{Erf} des maßgeblichen Mechanismus im diesem Bauzustand: $\text{Summe}(F_{Erf}) = Z_{Erf}$
F_{Bem}	Maximale Kraft je Nagel aus Berechnung der Wandschnittgrößen
Dm_{Erf}	Erforderlicher Durchmesser aus der Bedingung $As = \text{MAX}(F_{Erf}, F_{Bem}) * \gamma_s / f_{yk}$



Innere Tragfähigkeit

Bohrlochdurchmesser 100 mm

Für einen Bohrlochdurchmesser von 100 mm wird für den Nachweis zugbeanspruchter Pfähle für die Ermittlung des Bemessungswertes $R_{m,k}$ eine Zementsteinüberdeckung von 30 mm (IBO 40/16) angesetzt.

IBO 40/16 Anker

$$R_d = R_{m,k} / \gamma_R$$

γ_R = 1,15 (Teilsicherheitsbeiwert, Widerstand des Stahlzuggliedes)

$R_{m,k}$ = 447,0 kN (charakteristische Tragfähigkeit des Stahltraggliedes für zugbeanspruchte Pfähle, Zementsteindeckung = 30 mm)

R_d = Bemessungswert des Pfahlwiderstandes

Zug: $R_d = 447,0 \text{ kN} / 1,15 = \mathbf{388,69 \text{ kN}}$

Nachweis der Inneren Tragfähigkeit

max. Ankerkräfte E_k (kN) (Anlage 3.10) = **180,0 kN**

Anker

$$\begin{array}{lcl} R_{d,a} & \geq & E_d \\ \mathbf{388,69 \text{ kN/m}} & \geq & \mathbf{180,0 \text{ kN}} \quad \checkmark \end{array}$$



Äußere Tragfähigkeit

Bohrlochdurchmesser 100 mm

Bohrlochaufweitung IBO Anker

Fa. Ischebek gibt für Lockergestein eine Aufweitung von 30 % an, bei Fels 0 %

Auf der sicheren Seite wird eine Aufweitung von lediglich 20 % angesetzt.

20 % wirksamer Bohrlochdurchmesser = $100 \text{ mm} * 1,20 = 120 \text{ mm}$

Grenzmantelreibung A	$q_{s,k} = 50,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung BK	$q_{s,k} = 20,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung Ttr	$q_{s,k} = 75,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung Sf	$q_{s,k} = 20,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung Ton steif	$q_{s,k} = 100,0 \text{ kN/m}^2$

Berechnung der aufnehmbaren Kraft je Meter Verpressstrecke:

$$R_{d,a} = \pi * d_v * q_{s,k} / y_N$$

d_v = Durchmesser Verpresskörper

$q_{s,k}$ = Grenzmantelreibung

y_N = Sicherheit Herauszieh Widerstand von Boden- und Felsnägeln = 1,40

A:

$$R_{d,a} = \pi * 0,12 \text{ m} * 50,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 13,46 \text{ kN/m}$$

BK:

$$R_{d,a} = \pi * 0,12 \text{ m} * 20,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 5,38 \text{ kN/m}$$

Ttr:

$$R_{d,a} = \pi * 0,12 \text{ m} * 75,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 20,19 \text{ kN/m}$$

Sf:

$$R_{d,a} = \pi * 0,12 \text{ m} * 20,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 5,38 \text{ kN/m}$$

Ton steif:

$$R_{d,a} = \pi * 0,12 \text{ m} * 100,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 26,92 \text{ kN/m}$$



max. Ankerkräfte E_k (kN) (Anlage 3.10)

180,0 kN

Ankerreihe A 1; $a = 1,50$ m; $L = 16,0$ m (wirksame Nagellänge = 15,80 m)

Anker Ttr

$20,19$ kN/m * 2,56 m (Nagellänge hinter Gleitfläche) = 51,68 kN

Anker Ton steif

$26,92$ kN/m * 5,36 m (Nagellänge hinter Gleitfläche) = 144,29 kN

Summe: **195,97 kN > 180,0 kN** ✓

Ankerreihe A 2; $a = 1,50$ m; $L = 15,0$ m (wirksame Nagellänge 14,80 m)

Anker Ttr

$20,19$ kN/m * 0,51 m (Nagellänge hinter Gleitfläche) = 10,29 kN

Anker Ton steif

$26,92$ kN/m * 6,93 m (Nagellänge hinter Gleitfläche) = 186,55 kN

Summe: **196,84 kN > 180 kN** ✓



Innere Tragfähigkeit

Bohrlochdurchmesser 100 mm

Für einen Bohrlochdurchmesser von 100 mm wird für den Nachweis zugbeanspruchter Pfähle für die Ermittlung des Bemessungswertes $R_{m,k}$ eine Zementsteinüberdeckung von 30 mm (IBO 40/16) angesetzt.

IBO 40/16 Anker

$$R_d = R_{m,k} / \gamma_R$$

γ_R = 1,15 (Teilsicherheitsbeiwert, Widerstand des Stahlzuggliedes)

$R_{m,k}$ = 447,0 kN (charakteristische Tragfähigkeit des Stahltraggliedes für zugbeanspruchte Pfähle, Zementsteindeckung = 30 mm)

R_d = Bemessungswert des Pfahlwiderstandes

Zug: $R_d = 447,0 \text{ kN} / 1,15 = \mathbf{388,69 \text{ kN}}$

Nachweis der Inneren Tragfähigkeit

max. Ankerkräfte E_k (kN) (Anlage 3.10) = **170,0 kN**

Anker

$$\begin{array}{lcl} R_{d,a} & \geq & E_d \\ \mathbf{388,69 \text{ kN/m}} & \geq & \mathbf{170,0 \text{ kN}} \quad \checkmark \end{array}$$



Äußere Tragfähigkeit

Bohrlochdurchmesser 100 mm

Bohrlochaufweitung IBO Anker

Fa. Ischebek gibt für Lockergestein eine Aufweitung von 30 % an, bei Fels 0 %

Auf der sicheren Seite wird eine Aufweitung von lediglich 10 % angesetzt.

10 % wirksamer Bohrlochdurchmesser = 100 mm * 1,10 = 110 mm

Grenzmantelreibung A	$q_{s,k} = 50,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung BK	$q_{s,k} = 20,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung Ttr	$q_{s,k} = 75,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung Sf	$q_{s,k} = 20,0 \text{ kN/m}^2$
Grenzmantelreibung Ton steif	$q_{s,k} = 100,0 \text{ kN/m}^2$

Berechnung der aufnehmbaren Kraft je Meter Verpressstrecke:

$$R_{d,a} = \pi * d_v * q_{s,k} / y_N$$

d_v = Durchmesser Verpresskörper

$q_{s,k}$ = Grenzmantelreibung

y_N = Sicherheit Herauszieh Widerstand von Boden- und Felsnägeln = 1,40

A:

$$R_{d,a} = \pi * 0,11 \text{ m} * 50,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 12,34 \text{ kN/m}$$

BK:

$$R_{d,a} = \pi * 0,11 \text{ m} * 20,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 4,93 \text{ kN/m}$$

Ttr:

$$R_{d,a} = \pi * 0,11 \text{ m} * 75,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 18,51 \text{ kN/m}$$

Sf:

$$R_{d,a} = \pi * 0,11 \text{ m} * 20,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 4,93 \text{ kN/m}$$

Ton steif:

$$R_{d,a} = \pi * 0,11 \text{ m} * 100,0 \text{ kN/m}^2 / 1,40 = 24,68 \text{ kN/m}$$

max. Ankerkräfte E_k (kN) (Anlage 3.20)

170,0 kN



Ankerreihe A 1; a = 1,0 m; L = 15,0 m (wirksame Nagellänge = 14,80 m)

Anker Ttr

$$20,19 \text{ kN/m} * 5,18 \text{ m (Nagellänge hinter Gleitfläche)} = 104,58 \text{ kN}$$

Anker Ton steif

$$26,92 \text{ kN/m} * 4,57 \text{ m (Nagellänge hinter Gleitfläche)} = 123,05 \text{ kN}$$

Summe: **227,60 kN > 170,0 kN** ✓

Ankerreihe A 2; a = 1,0 m; L = 13,0 m (wirksame Nagellänge 12,80 m)

Anker Ttr

$$20,19 \text{ kN/m} * 5,62 \text{ m (Nagellänge hinter Gleitfläche)} = 113,46 \text{ kN}$$

Anker Ton steif

$$26,92 \text{ kN/m} * 2,69 \text{ m (Nagellänge hinter Gleitfläche)} = 72,41 \text{ kN}$$

Summe: **185,87 kN > 170 kN** ✓