



Baugeologisches
Büro Bauer

Baugeologisches Büro Bauer GmbH
Domagkstraße 1 a
D-80807 München

www.baugeologie.de

Bearbeiter: Klaus Keilig
Dr. Judith Festl
Dr. Peter Neumann

Telefon: +49-89-36040-491
Fax: +49-89-36040-100
e-mail: Klaus.Keilig@baugeologie.de



Lehrstuhl für Ingenieurgeologie
Technische Universität München
Arcisstraße 21
D-80333 München

www.eng.geo.tum.de

Bearbeiter: Prof. Dr. Kurosch Thuro

Telefon: +49-89-28925850
Fax: +49-89-28925852
e-mail: thuro@tum.de

Steinbruch Überfilzen

Geologisch-geotechnischer Bericht

Projektnummer: 05513

Auftraggeber: Südbayerisches Portland-Zementwerk
Gebr. Wiesböck & Co. GmbH
Herr Dr. Roppelt
Sinning 1
83101 Rohrdorf

Datum: 21. Dezember 2018

| Inhaltsverzeichnis | Seite |
|--|--------------|
| 1 Grundlagen und Untersuchungen | 7 |
| 1.1 Gegenstand und Veranlassung | 7 |
| 1.2 Verwendete Unterlagen | 7 |
| 1.3 Verwendete Normen | 7 |
| 1.4 Methodik, durchgeführte Untersuchungen und Grundlagen..... | 8 |
| 1.4.1 Ingenieurgeologische Kartierung und Gefügeaufnahme..... | 8 |
| 1.4.2 Kleinrammbohrungen (KRB) | 8 |
| 1.4.3 Schwere Rammsondierungen (DPH)..... | 9 |
| 1.4.4 Probennahme und Laborversuche..... | 9 |
| 1.4.5 Vorgehensweise bei der Bestimmung der geotechnischen Parameter für die standsicherheitstechnischen Berechnungen | 10 |
| 2 Ingenieurgeologische Dokumentation | 14 |
| 2.1 Geologischer Überblick..... | 14 |
| 2.2 Ingenieurgeologische Schichtgliederung im Steinbruch Überfilzen | 15 |
| 2.2.1 Festgesteine | 15 |
| 2.2.1.1 Alpiner Muschelkalk (Reifling-Formation) | 15 |
| 2.2.1.2 Partnachsichten (Partnach-Formation)..... | 17 |
| 2.2.1.3 Wettersteinkalk (Wetterstein-Formation)..... | 18 |
| 2.2.2 Lockergesteine | 18 |
| 2.2.2.1 Anthropogene Ablagerungen | 18 |
| 2.2.2.2 Hang- und Verwitterungsschutt..... | 19 |
| 2.2.3 Interpretation des Schichtaufbaus..... | 20 |
| 2.3 Hydrogeologie..... | 20 |
| 2.4 Trennflächen- und Gebirgscharakteristik | 20 |
| 2.4.1 Alpiner Muschelkalk..... | 21 |
| 2.4.2 Partnachsichten..... | 22 |
| 2.4.3 Wettersteinkalk..... | 22 |
| 3 Standsicherheitstechnische Berechnungen | 24 |
| 3.1 Bestimmung der geotechnischen Parameter | 24 |
| 3.2 Betrachtung der Standsicherheit der abbaubetrieblichen Böschungen..... | 28 |
| 3.2.1 Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen..... | 28 |
| 3.2.2 Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen | 30 |
| 3.2.3 Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen..... | 33 |
| 3.2.4 Betrachtung der Böschungen im Hang- und Verwitterungsschutt..... | 34 |
| 3.3 Betrachtung der Standsicherheit der Böschungen im Endzustand | 36 |
| 3.3.1 Betrachtung der nach Süden fallenden Böschungen..... | 36 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3.2 | Betrachtung der nach Westen fallenden Böschungen | 37 |
| 3.3.3 | Betrachtung der nach Norden fallenden Böschungen..... | 39 |
| 3.4 | Betrachtung der Standsicherheit des Gleitkeils im Wettersteinkalk..... | 40 |
| 4 | Bewertung der standsicherheitstechnischen Berechnungen | 42 |
| 4.1 | Abbaubetrieb | 42 |
| 4.2 | Endzustand..... | 43 |
| 4.3 | Spezialfall Gleitkeil | 43 |
| 4.4 | Zusammenfassung | 44 |
| 5 | Hangstabilität im Umfeld der Bichler Alm..... | 45 |
| 6 | Empfehlungen..... | 45 |
| 7 | Schlussbemerkung | 47 |

| Tabellenverzeichnis | Seite |
|---|--------------|
| Tab. 1: Zusammenstellung der entnommenen Bodenproben und der durchgeführten bodenmechanischen Versuche im Steinbruch Überfilzen (EKP 2018). | 9 |
| Tab. 2: Beschleunigungs- und Erdbebenbeiwerte durch Gewinnungssprengungen zur Modellierung der geotechnischen Parameter im Steinbruch Überfilzen..... | 13 |
| Tab. 3: Trennflächenabstände nach [U 3] und [U 4]..... | 15 |
| Tab. 4: Zusammenstellung der charakteristischen geotechnischen Parameter. | 26 |
| Tab. 5: Ausnutzungsgrade der unterschiedlich orientierten Böschungen bei den wichtigsten Trennflächen-Einfallswerten im Abbaubetrieb und im Endzustand..... | 44 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Beurteilung der Kornrundung nach DIN EN 14688-1:2018-05 bzw. [U 6]. | 10 |
| Abb. 2: Bestandsböschung im Steinbruch Überfilzen. In Rot ist der für die Modellierung maßgebende Schnitt eingezeichnet. | 11 |
| Abb. 3: Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung (DIN 4150:2001-06, S. 6, Bild 1). Die verwendete Kurve wurde farblich rot hervorgehoben. | 13 |
| Abb. 4: Ausschnitt aus der amtlichen geologischen Karte (GK25) Blatt 8239 Aschau i. Chiemgau [U 1] mit eingezeichnetem geplanten Abbauggebiet (rot). | 14 |
| Abb. 5: Alpiner Muschelkalk im Steinbruch Überfilzen. Links: Dünnbankige Ausbildung unten und dickbankige Ausbildung oben. Rechts: Ausgeprägte Spezialfaltung bei dickplattiger Schichtung. | 16 |
| Abb. 6: Ausgeprägte Spezialfaltung im Alpinen Muschelkalk bei dünnbankiger bis mittelbankiger Schichtung. | 17 |
| Abb. 7: Partnachsichten südlich des alten Steinbruchteils. Links: Im Kontakt zu einer Steilwand aus Wettersteinkalk. Roter Pfeil: Scherkörper aus kompetenterem Gestein. Rechts: Detailausschnitt, siehe Kasten links. | 17 |
| Abb. 8: Wettersteinkalk im Steinbruch Überfilzen. Links: Im frischen Aufschluss wird die deutlich hellere Farbe im Vergleich zum Alpinen Muschelkalk und die massige Ausbildung deutlich. Rechts: Möglicherweise angedeutete Schichtung (siehe Hand), die erst durch leichte Verkarstung erkennbar wird. | 18 |
| Abb. 9: Auszählung von Komponenten aus dem Hang- und Verwitterungsschutt. | 19 |
| Abb. 10: Polpunktdiagramm der Trennflächen im Alpinen Muschelkalk. Blaue Punkte Schichtflächen, rote Punkte Störungen und Klüfte. | 21 |
| Abb. 11: Zwei parallele Großklüfte (rote Pfeile) durchtrennen den stark verfalteten Alpinen Muschelkalk. | 22 |
| Abb. 12: Polpunktdiagramm der Trennflächen im Wettersteinkalk.. Blaue Punkte Schichtflächen, rote Punkte Störungen und Klüfte. | 23 |
| Abb. 13: Rückrechnung der Kohäsion und des Reibungswinkels der Trennflächen einer stabilen Böschung im dünnbankigen Alpinen Muschelkalk mit einer Trennflächenneigung von 70° bei einem $\mu = 0,97$. | 25 |
| Abb. 14: Rückrechnung der Kohäsion und des Reibungswinkels der Trennflächen einer stabilen Böschung im dünnbankigen Alpinen Muschelkalk mit einer Trennflächenneigung von 75° bei einem $\mu = 0,81$. | 25 |
| Abb. 15: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Dämpfung der Scherwellenbeschleunigungen bei einem Schichteinfallen von 70°. In Grün der angenommene Dämpfungsgrad von 80 %. | 27 |
| Abb. 16: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Dämpfung der Scherwellenbeschleunigungen bei einem Schichteinfallen von 75°. In Grün der angenommene Dämpfungsgrad von 80 %. | 27 |

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 17: | Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen nach Süden fallenden Böschung im dünnbankigen Alpenen Muschelkalk mit einer rel. Trennflächenneigung von 65° und einem $\mu = 0,95$ (6.2.1 Blatt 5). | 29 |
| Abb. 18: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Süden einfallenden Böschungen. | 30 |
| Abb. 19: | Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen nach Westen fallenden Böschung im dünnbankigen Alpenen Muschelkalk mit einer relativen Trennflächenneigung von 0° bei einem $\mu = 0,70$ (6.2.2 Blatt 3). | 31 |
| Abb. 20: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Westen einfallenden Böschungen. | 32 |
| Abb. 21: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Wettersteinkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Westen einfallenden Böschungen. | 32 |
| Abb. 22: | Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen nach Norden fallenden Böschung im dünnbankigen Alpenen Muschelkalk mit einer rel. Trennflächenneigung von -75° bei einem $\mu = 0,70$ (6.2.3 Blatt 7). | 33 |
| Abb. 23: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Norden einfallenden Böschungen. | 34 |
| Abb. 24: | Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen Böschung im Hang- und Verwitterungsschutt. | 35 |
| Abb. 25: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den Endzustand der nach Süden einfallenden Böschungen. | 37 |
| Abb. 26: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den Endzustand der nach Westen einfallenden Böschungen. | 38 |
| Abb. 27: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Wettersteinkalk für den Endzustand der nach Westen einfallenden Böschungen. | 38 |
| Abb. 28: | Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den Endzustand der nach Norden einfallenden Böschungen. | 39 |
| Abb. 29: | Gleitkeilbildung innerhalb des Wettersteinkalks durch die Verschneidung einer Störungsfläche mit einer Großkluft. | 40 |
| Abb. 30: | Darstellung eines Gleitkeils im Wettersteinkalk am oberen (östlichen) Abbaurand mit SWEDGE© Rocscience. | 41 |
| Abb. 31: | Potentiell gefährlicher Block an der Sichtschutzwand. | 46 |

Anlagenverzeichnis

| | |
|--------------|--|
| Anlage 1 | Geographischer Übersichtslageplan, M = 1 : 50.000 |
| Anlage 2 | Ingenieurgeologische Detailkartierung, M = 1 : 1.000 |
| Anlage 3 | Ingenieurgeologische Profilschnitte |
| Anlage 3.1 | Maßgebende Profilschnitte |
| Anlage 3.2 | Varianten der Profilschnitte |
| Anlage 4 | Dokumentation der Aufschlüsse |
| Anlage 4.1 | Kleinrammbohrung (KRB) |
| Anlage 4.2 | Schwere Rammsondierungen (DPH) |
| Anlage 5 | Laboruntersuchungen |
| Anlage 5.1 | Bodenmechanische Versuche |
| Anlage 6 | Standsicherheitsbetrachtungen |
| Anlage 6.1 | Rückwärtige Modellierung der Gesteins-, Trennflächen- und Gebirgsparameter |
| Anlage 6.2 | Standsicherheitsbetrachtung der geplanten abbaubetrieblichen Böschungen |
| Anlage 6.2.1 | Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.2.2 | Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.2.3 | Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.2.4 | Betrachtung der Böschungen im Hang- und Verwitterungsschutts im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.3 | Standsicherheitsbetrachtung der Böschungen im Endzustand |
| Anlage 6.3.1 | Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen im Endzustand |
| Anlage 6.3.2 | Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen im Endzustand |
| Anlage 6.3.3 | Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen im Endzustand |

1 Grundlagen und Untersuchungen

1.1 Gegenstand und Veranlassung

Das Südbayerische Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH plant die Erweiterung des Steinbruchs „Überfilzen“ bei Nußdorf a. Inn. Dabei spielt für die Abbauplanung die räumliche Verbreitung der auftretenden Gesteine eine wichtige Rolle. Für das Genehmigungsverfahren ist außerdem eine standsicherheitstechnische Betrachtung der Böschungen erforderlich.

Der Lehrstuhl für Ingenieurgeologie der Technischen Universität München (TUM) wurde in Kooperation mit der Baugeologisches Büro Bauer GmbH (BBB) beauftragt das Steinbruchareal ingenieurgeologisch aufzunehmen und eine standsicherheitstechnische Betrachtung durchzuführen.

1.2 Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen fanden zur Erstellung dieses Berichtes vor allem Verwendung:

- [U 1] BGLA – Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1996): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, mit Erläuterungen, Blatt Nr. 8239 Aschau i. Chiemgau.– München.
- [U 2] Floss, R. (1993): Gutachten zur östlichen Sichtschutzwand im Steinbruch. – 3. Fertigung; München.
- [U 3] IAEG - International Association of Engineering Geology (1981): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. - Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. – Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 24: 235-274.
- [U 4] ISRM - International Society for Rock Mechanics (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Document No. 4. – Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 15: 319-368.
- [U 5] Moser, M. (2017): Stellungnahme Steinbruch Überfilzen.– Erlangen.
- [U 6] Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R. (1987): Sand and sandstone. – 2. Auflage; New York.
- [U 7] Ulrich, R. (1960): Gutachtliche Äußerung über die Gesteinsausbildung und Lagerung im Bereich eines geplanten Steinbruchs östlich von Überfilzen b. Nußdorf/Inn.– München.

1.3 Verwendete Normen

DIN 1054:2010-12: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).

DIN 1055-2:2010-11 Einwirkung auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngrößen. – Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH)

- DIN 4084:2009-01: Baugrund - Geländebruchberechnungen.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 4150-1:2001-06: Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1: Vorermittlung von Schwinggrößen.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN 1997-2:2010-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN ISO 14688-1:2018-05: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2018.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN ISO 14689:2018-05: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels (ISO 14689:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14689:2018.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN ISO 22475-1:2007-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).
- DIN EN ISO 22476-2:2012-03: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen.– Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin (Beuth Verlag GmbH).

1.4 Methodik, durchgeführte Untersuchungen und Grundlagen

1.4.1 Ingenieurgeologische Kartierung und Gefügaufnahme

Das Projektgebiet wurde im Maßstab 1 : 1.000 ingenieurgeologisch aufgenommen und kartiert. Die Ergebnisse sind in einer ingenieurgeologischen Karte (Anlage 2) und in ingenieurgeologischen Profilschnitten (Anlage 3) dargestellt. Außerdem wurden mit einem Gefügekompas insgesamt 53 Schicht-, Kluft- oder Störungsflächen eingemessen. Die Ergebnisse werden in Kap. 2.2.3 erläutert.

1.4.2 Kleinrammbohrungen (KRB)

Am 20. November 2018 wurde eine Kleinrammbohrung mit einem Durchmesser von 80/60 mm innerhalb des Hangschutts bis in 7,5 m Tiefe durchgeführt. Die Lage der Bohrung ist in Anlage 2 dargestellt. Das Bohrprofil und die Bohrkernfotos sind in der Anlage 4.1 zusammengestellt.

1.4.3 Schwere Rammsondierungen (DPH)

Um ein durchgehendes Profil der Lagerungsdichte des Hangschutts zu erhalten, wurden zwei schwere Rammsondierungen (DPH) nach DIN EN ISO 22476-2:2012-03 durchgeführt. Die Sondierungen wurden jeweils in 15,5 m Tiefe abgebrochen, ohne auf Festgestein getroffen zu sein. Die Lager der Sondierungen ist in Anlage 2 dargestellt. Die Auswertung in Form von Schlagzahlendiagrammen ist in Anlage 4.2 zusammengestellt.

1.4.4 Probennahme und Laborversuche

Zur Ermittlung bodenmechanischer Kennwerte des Hangschutts wurden insgesamt drei Bodenproben genommen und in ein bodenmechanisches Labor geliefert. Bei der Probennahme wurde die Entnahmekategorie B nach DIN EN ISO 22475-1:2007-01 eingehalten (Güteklasse 4 nach DIN EN 1997-2:2010-10). Eine Zusammenstellung der Proben und der daran durchgeführten bodenmechanischen Untersuchungen zeigt die Tab. 1. Eine Gesamttabelle mit allen Versuchsergebnissen sowie die einzelnen Ergebnisblätter sind in der Anlage 5.1 zusammengestellt.

Tab. 1: Zusammenstellung der entnommenen Bodenproben und der durchgeführten bodenmechanischen Versuche im Steinbruch Überfilzen (EKP 2018).

| Anzahl Versuche | Versuch | | Norm / Empfehlung |
|-----------------|--|---------------|--|
| 3 | Ansprache, visuelle und manuelle Beurteilung | | DIN 4023:2006-02 DIN EN 14688-1:2018-05 |
| 3 | Korngrößenverteilung | Siebanalyse | DIN EN ISO 17892-4:2017-04 |
| 3 | Wassergehalt | Ofentrocknung | DIN EN ISO 17892-1:2015-03 |
| 3 | Bestimmung der Kornformen | | DIN EN 14688-1:2018-05 bzw. Pettijohn et al. (1987) [U 6] |

Die Beurteilung der Kornrundung wurde nach DIN EN 14688-1:2018-05 bzw. der Nomenklatur von [U 6] vorgenommen. Abb. 1 zeigt die verwendeten Klassen.

| | | | | | | |
|----------------------|--------------|--------|--------------------|------------|----------|--------------|
| hohe Kugeligkeit | | | | | | |
| niedrige Kugeligkeit | | | | | | |
| | scharfkantig | kantig | kanten gerundet | angerundet | gerundet | gut gerundet |

Abb. 1: Beurteilung der Kornrundung nach DIN EN 14688-1:2018-05 bzw. [U 6].

1.4.5 Vorgehensweise bei der Bestimmung der geotechnischen Parameter für die standsicherheitstechnischen Berechnungen

Zur standsicherheitstechnischen Berechnung werden je nach Berechnungsmodell geotechnische Parameter wie Reibungswinkel, Kohäsion, Druck- und Zugfestigkeit, Dilatation, Kluftöffnung u.a. für die Gesteine und Trennflächen benötigt. Diese können durch sehr aufwändige, teure und nicht immer zielführende Laborversuche bestimmt oder anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Im konkreten Fall wäre es aufgrund des starken Durchtrennungsgrads und der häufig dickplattig bis dünnbankigen Schichtung nicht oder nur durch erheblichen Aufwand möglich gewesen, geeignete Prüfkörper aus dem Alpinen Muschelkalk für entsprechende Triaxialversuche zu gewinnen. Die Scherparameter der Trennflächen lassen sich im Labormaßstab nur an räumlich eng begrenzten Flächen, die i.d.R. nicht repräsentativ sind, oder durch Großversuche bestimmen, die ebenfalls i.d.R. nicht repräsentativ für die Fläche eines Steinbruchareals sind.

Eine weitere Möglichkeit bietet die rückwärtige Berechnung der Scherparameter aus bestehenden, meist über mehrere Jahre stabilen Böschungen. Diese stellen eine konservative Einschätzung dar, da sich diese i.d.R. nicht im Grenzgleichgewicht befinden sondern deutlich stabiler sind. Die in den nicht im Betrieb befindlichen Teilen des Steinbruchs befindlichen Böschungen werden von Alpinem Muschelkalk aufgebaut. Die Böschungen haben unterschiedliche Orientierungen zu den auftretenden Trennflächen, eine ähnliche Höhe wie die geplanten neuen Böschungen und sind bereits über Jahre hinweg stabil gewesen. Es handelt sich dabei im Prinzip um einen „Großversuch“, an dem man die Bedingungen der stabilen Gebirgsverhältnisse analysieren und in eine Modellrechnung übertragen kann. Die Scherparameter werden dann zunächst anhand von Er-

fahrungs- und Literaturwerten eingestuft und anschließend so lange variiert, bis sich das Berechnungsmodell auf der stabilen Seite sehr nahe am Grenzzustand befindet. Dieser Grenzzustand ist allerdings – wie bereits geschildert – auf der konservativen, also sicheren Seite.

Es wurde für die Bestimmung der geotechnischen Parameter die in Abb. 2 dargestellte bestehende Böschung südlich der Sichtschutzwand standsicherheitstechnisch betrachtet, die nach Auskunft des Auftraggebers seit 1994 besteht. Sie ist etwa 27 m hoch und wird von dünnbankigem Alpinen Muschelkalk aufgebaut. Die Schichtung fällt, wie für den Alpinen Muschelkalk in dieser Region typisch, steil nach Südosten ein. Somit fällt die Schichtung in etwa böschungsparallel ein, was einen geometrisch sehr ungünstigen Fall darstellt. Direkt am Böschungsfuß beträgt das Schichteinfallen 75° , etwa 30 m südlich davon 70° . Diese beiden Werte wurden in der Modellierung berücksichtigt.



Abb. 2: Bestandsböschung im Steinbruch Überfilzen. In Rot ist der für die Modellierung maßgebende Schnitt eingezeichnet.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die modellierten Trennflächen ideal eben sind und den Gebirgsverband zu 100% durchtrennen (also sich „unendlich erstrecken“). In der Realität sind die Schichtflächen jedoch in ihrer Geometrie weit unregelmäßiger, nämlich gebogen und gewellt, z.T. sogar kleinräumig spezialverfaltet (gefältelt), was einen deutlich höheren Verzahnungsgrad ergibt. Zudem keilen Schichten lateral aus und sind nicht unendlich erstreckt. Gleichermäßen gilt

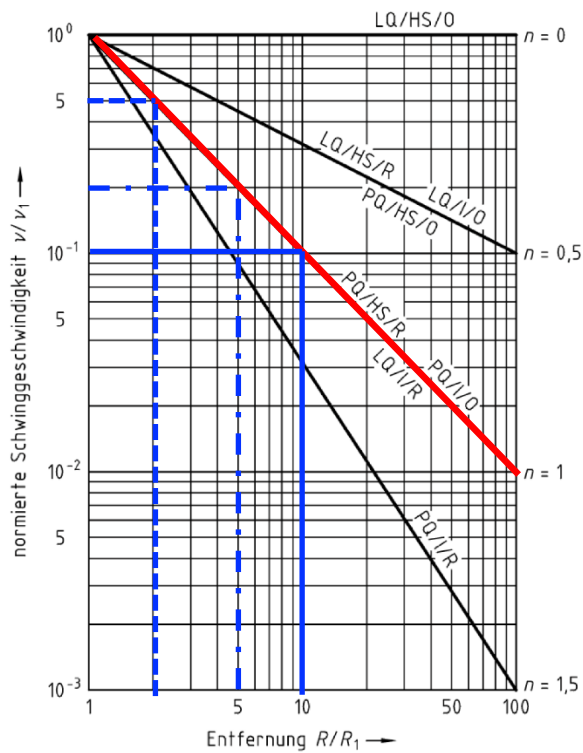
dies für die Kluft-Trennflächen. Die vorliegenden Annahmen stellen also einen idealisierten, konservativen Fall dar, so dass die Berechnungen auf der sicheren Seite stattfinden.

Zur Berechnung wurde das Programm GGU Stability© verwendet. Die Berechnungen wurden auf Grundlage des Eurocode 7 durchgeführt. Alle Teilsicherheitsbeiwerte wurden auf den Wert 1 gestellt, da es sich um die Modellierung eines IST-Zustandes handelt. Außerdem wurden die Erschütterungen durch Gewinnungssprengungen in Form von Erdbebenbeiwerten berücksichtigt. Nachrichtlich einer Mitteilung des Auftraggebers treten auf Basis der Auskunft des Sprengsachverständigen im Nahfeld der Sprengungen erfahrungsgemäß Schwinggeschwindigkeiten von etwa 100 mm/s und Scherwellenbeschleunigungen von 1000-2000 mm/s² auf. Damit kann der horizontale und vertikale Erbebenbeiwert nach Eurocode 8 berechnet und in das Berechnungsmodell implementiert werden.

Nach DIN 4150:2001-06 S. 5, gilt, dass bei Erschütterungsquellen in Oberflächennähe die Ausbreitung der Schwingungen vorwiegend an der Erdoberfläche mit einer sog. „Rayleighwelle“ als Oberflächenwelle erfolgt. Die Größe der durch den Boden weitergeleiteten Schwingungen nimmt dabei mit zunehmender Entfernung von der Erschütterungsquelle exponentiell ab (vgl. Formel (2) in DIN 4150:2001-06 S. 5). Diese Abnahme wird im Wesentlichen durch die geometrische Amplitudenabnahme und die Materialdämpfung des Bodens bestimmt (Abb. 3). Bei den vorliegenden Umständen ist im ungünstigsten Fall von einer Punktquelle und einer Oberflächenwelle auszugehen; die Anregung ist als impulsförmig anzunehmen (rot gekennzeichnete Kurve).

Im Diagramm von Abb. 3 ist abzulesen, dass die anzusetzenden Schwinggeschwindigkeiten in kurzen Entfernungen stark gedämpft werden und sich daher stark reduzieren: Bei 2 m Entfernung von der Anregungsquelle (Nahfeld der Sprengung) können die Schwinggeschwindigkeiten um etwa den Faktor 0,5 reduziert werden, bei 5 m Abstand um den Faktor 0,2 und bei 10 m Abstand um den Faktor 0,1. Das heißt, die Schwinggeschwindigkeit muss mit diesem Faktor multipliziert werden, um die am gewünschten Ort gültige Schwinggeschwindigkeit zu erhalten.

Bei unserer konservativen Annahme gehen wir davon aus, dass die Scherwellengeschwindigkeiten an den benachbarten Abbauwänden und Böschungen nur noch maximal 20 % des Maximalwertes betragen. Daher wurden die angegebenen Scherwellenbeschleunigungen entsprechend abgemindert. Es ergeben sich demnach die in Tab. 2 dargestellten Erdbebenbeiwerte.



Legende

Quellentyp geometrisch:

LQ – Linienquelle

PQ – Punktquelle

Quellentyp zeitlich:

HS – harmonisch/stationär

I – impulsförmig

Wellenart:

R – Raumwelle

O – Oberflächenwelle

Hier vorliegende Kurve: **PQ/I/O**

Normierte Schwinggeschwindigkeit v/v_1 :

| Entfernung | Faktor | Dämpfung |
|------------|------------|----------|
| 2 m | 0,5 (50 %) | 50 % |
| 5 m | 0,2 (20 %) | 80 % |
| 10 m | 0,1 (10 %) | 90 % |

Abb. 3: Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung (DIN 4150:2001-06, S. 6, Bild 1). Die verwendete Kurve wurde farblich rot hervorgehoben.

Tab. 2: Beschleunigungs- und Erdbebenbeiwerte durch Gewinnungssprengungen zur Modellierung der geotechnischen Parameter im Steinbruch Überfilzen.

| | Bezeichnung | Wert |
|--|--|--------|
| Eingangswerte | Schwinggeschwindigkeit ppv_{max} [mm/s] | 100 |
| | Scherwellenbeschleunigung v_s [mm/s ²] | 2000 |
| Verwendete Werte mit Dämpfung (Faktor 0,2) | Schwinggeschwindigkeit ppv_{red} [mm/s] | 20 |
| | Scherwellenbeschleunigung $v_{s red}$ [mm/s ²] | 400 |
| Erdbebenbeiwerte ohne Dämpfung | Horizontaler Erdbebenbeiwert, k_h [-] | 0,2 |
| | Vertikaler Erdbebenbeiwert k_v [-] | 0,066 |
| Erdbebenbeiwerte mit Dämpfung (Faktor 0,2) | Horizontaler Erdbebenbeiwert, $k_{h red}$ [-] | 0,04 |
| | Vertikaler Erdbebenbeiwert $k_{v red}$ [-] | 0,0132 |

Die Ergebnisse der rückwärtig modellierten geotechnischen Parameter werden in Kap. 3.1 dargestellt.

2 Ingenieurgeologische Dokumentation

2.1 Geologischer Überblick

Das Steinbruchareal befindet sich knapp 2 km südöstlich von Nußdorf am Inn und rd. 700 m ost-südöstlich von Überfilzen in der Gemeinde Nußdorf am Inn im Landkreis Rosenheim und in den Chiemgauer Alpen (Anlage 1). Das Projektgebiet liegt an der Westflanke des Heubergs (1338 m) und erstreckt sich von etwa 630 m im Westen auf etwa 800 m im Osten.

Tektonisch gesehen befindet sich der Steinbruch in den Nördlichen Kalkalpen, die hier vor allem aus Gesteinen der alpinen Trias bestehen. Die Nördlichen Kalkalpen sind ehemalige, ursprünglich getrennte marine Ablagerungsräume, die durch die alpidische Gebirgsbildung deckenartig übereinander geschoben wurden. Eine dieser Decken ist die sogenannte Lechtal-Decke, an deren nördlichen Rand der Steinbruch liegt. In einem alten, stillgelegten und niedriger gelegenen Teil des Steinbruchs ist die Hauptüberschiebungsbahn der Lechtal-Decke auf die Allgäu-Decke aufgeschlossen [U 1].

Aufgeschlossen sind im Bereich des geplanten Steinbruchs triassische Gesteine, die als Kalke und Tonmergel auftreten. Teilweise werden die Gesteine von mächtigem Hang- und Verwitterungsschutt bedeckt (Abb. 4).

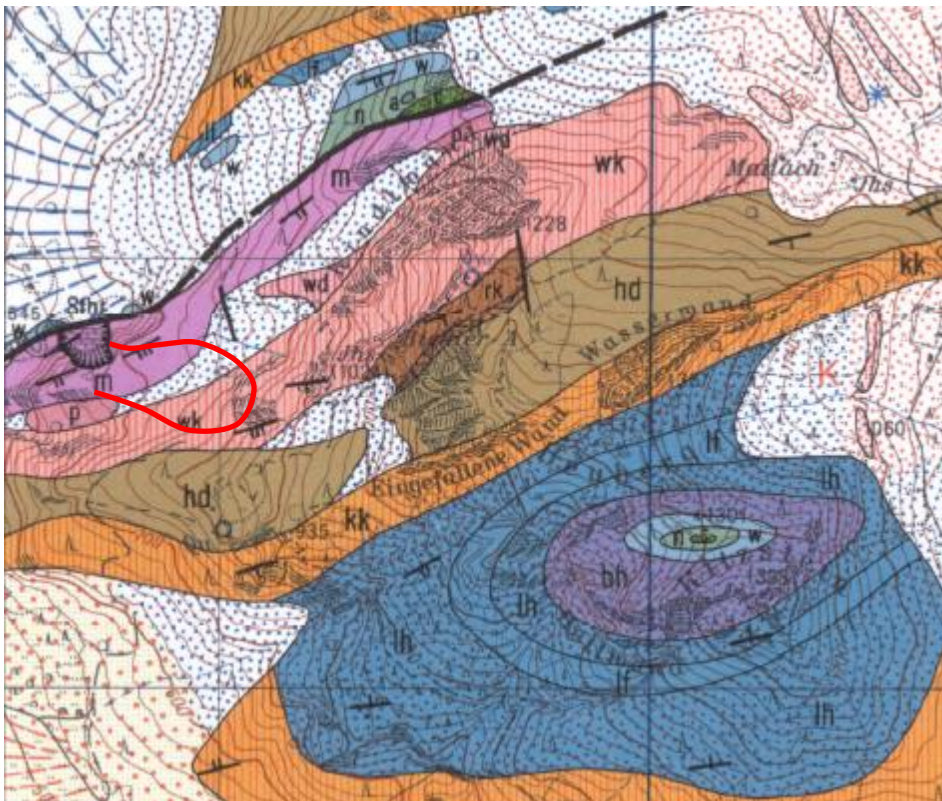


Abb. 4: Ausschnitt aus der amtlichen geologischen Karte (GK25) Blatt 8239 Aschau i. Chiemgau [U 1] mit eingezeichnetem geplantem Abbaugbiet (rot).

2.2 Ingenieurgeologische Schichtgliederung im Steinbruch Überfilzen

2.2.1 Festgesteine

Im Folgenden werden die im Steinbruch Überfilzen auftretenden Gesteine beschrieben. Zur Klassifikation der Gesteinsmassen in Bezug auf ihre Schichtmächtigkeiten und Kluftabstände wurde die in der Tab. 3 aufgeführte Nomenklatur nach IAEG [U 3] und ISRM [U 4] sowie DIN EN ISO 14689:2018-05 verwendet.

Tab. 3: Trennflächenabstände nach [U 3] und [U 4].

| Abstände | Schichtung (DIN EN ISO 14689) | Klüftung (DIN EN ISO 14689) |
|-----------|-------------------------------|--|
| > 200 cm | massig (sehr dick) | kompakt (sehr weitständig) |
| 60-200 cm | dickbankig (dick) | weitständig |
| 20-60 cm | mittelbankig (mittel) | mittelständig |
| 6-20 cm | dünnbankig (dünn) | engständig |
| 2-6 cm | dickplattig (sehr dünn) | dichtständig (sehr engständig) |
| 0,6-2 cm | dünnplattig (grob laminiert) | sehr dichtständig (außerordentlich engständig) |
| < 0,6 cm | blättrig (fein laminiert) | Störungszone / Kakirit (außerordentlich engständig) |

Neben der eigenen Geländeaufnahme fanden auch die Erläuterungen von [U 1], [U 2] und [U 7] Eingang in die Beschreibung der auftretenden Gesteine.

2.2.1.1 Alpiner Muschelkalk (Reifling-Formation)

Der Alpine Muschelkalk ist ein sehr dichtes, im frischen Anschlag wie im angewitterten Zustand mittel- bis dunkelgraues Karbonatgestein (Abb. 5), das auffällig durch eine Vielzahl regelloser Kalkzitadern durchzogen ist. Er ist zumeist dickplattig bis dünnbankig ausgebildet, wobei auch dickbankige Horizonte auftreten. Die dickbankige Fazies scheint eher im oberen Teil aufzutreten. Die knollige Internstruktur des Alpiner Muschelkalks wird besonders auf angewitterten Schichtflächen erkennbar. Hier treten teils dunkelgraue bis schwarze Tonhäutchen auf, die die rhythmisch sedimentierten Kalkbänke voneinander trennen. Nach [U 1] können im Alpiner Muschelkalk auch Hornsteinknollen auftreten, die besonders in den oberen Bereichen der Schicht verbreitet sind. Hornsteinknollen sind Konkretionen aus amorpher bis feinstkristalliner Kieselsäure (Quarz) und können daher hohen Verschleiß verursachen. Im Steinbruch zeigt sich der Muschelkalk stark gebirgsmechanisch deformiert und mit ausgeprägter Spezialfaltung (Abb. 5 rechts und Abb. 6). Großräumig scheint die Schichtung dennoch steil nach Süden bis Südosten einzufallen.

Meist steil stehende Störungen und Großklüfte durchtrennen das Gebirge überwiegend weitständig bis sehr weitständig (kompakt). Die detaillierten Ergebnisse der Gefügaufnahme sind in Kap. 2.2.3 dargestellt.

Der Alpine Muschelkalk wurde bereits im alten Steinbruch abgebaut und zieht sich von dort weiter nach Osten. Nach [U 1] schwankt die Mächtigkeit des Muschelkalks zwar meist um die 50 m, für den Steinbruch Überfilzen werden jedoch über 100 m angegeben. Vermutlich führt die Verfaltung zu einer scheinbar größeren Mächtigkeit dieses Schichtpakets.



Abb. 5: Alpiner Muschelkalk im Steinbruch Überfilzen. Links: Dünnbankige Ausbildung unten und dickbankige Ausbildung oben. Rechts: Ausgeprägte Spezialfaltung bei dickplattiger Schichtung.



Abb. 6: Ausgeprägte Spezialfaltung im Alpinen Muschelkalk bei dünnbankiger bis mittelbankiger Schichtung.

2.2.1.2 Partnachsichten (Partnach-Formation)

Die Partnachsichten treten als dunkelgraue bis schwarze blättrige bzw. fein lamellierte / außerordentlich engständige Mergel und Tonmergel auf (Abb. 7). Nach [U 1] ist das Gestein bituminös sowie pyritführend und vereinzelt können Kalkkonkretionen oder -bänke auftreten. Die Partnachsichten sind stark verwitterungsanfällig und bilden demnach häufig morphologische Hohlformen zwischen Alpinem Muschelkalk und Wettersteinkalk. Ihre Mächtigkeit liegt nach [U 1] bei rund 15 m, wobei das Schichtpaket tektonisch sowohl durch Verfaltung scheinbar größere Mächtigkeiten aufweisen oder aber auch ganz unterdrückt sein kann.



Abb. 7: Partnachsichten südlich des alten Steinbruchteils. Links: Im Kontakt zu einer Steilwand aus Wettersteinkalk. Roter Pfeil: Scherkörper aus kompetenterem Gestein. Rechts: Detailausschnitt, siehe Kasten links.

2.2.1.3 Wettersteinkalk (Wetterstein-Formation)

Beim Wettersteinkalk handelt es sich um ein feinkörnig bis dichtes, im frischen Anschlag hellgrau bis beige, im angewitterten Zustand mittel bis dunkelgraues Karbonatgestein (Abb. 8). Aufgrund seiner Erosionsbeständigkeit stellt der Wettersteinkalk, neben dem Hauptdolomit, einen der beiden Hauptgipfelbildner der Nördlichen Kalkalpen dar. Das Gestein ist als massiger oder dickbankiger Riffkalk überwiegend im östlichen und südlichen Abbauggebiet verbreitet. Es bildet in massiger Ausbildung ohne erkennbare Schichtung markante und steile Felswände am östlichen Rand des Steinbruchs. Mit angedeuteter Schichtung tritt der Wettersteinkalk vor allem im Nordostteil des Steinbruchs in dickbankiger Ausbildung auf, bildet dort aber keine Steilwände aus. Der Wettersteinkalk ist nach [U 1] sowie den Ergebnissen der Felduntersuchungen regellos zerklüftet. Sich wiederholende Störungs- oder Kluftscharen haben meist Trennflächenabstände > 5 m. Die detaillierten Ergebnisse der Gefügeaufnahme sind in Kap. 2.2.3 dargestellt.

Wettersteindolomit wurde bei der Geländeaufnahme nicht angetroffen.



Abb. 8: Wettersteinkalk im Steinbruch Überfilzen. Links: Im frischen Aufschluss wird die deutlich hellere Farbe im Vergleich zum Alpenen Muschelkalk und die massige Ausbildung deutlich. Rechts: Möglicherweise angedeutete Schichtung (siehe Hand), die erst durch leichte Verkarstung erkennbar wird.

2.2.2 Lockergesteine

2.2.2.1 Anthropogene Ablagerungen

Im Bereich des Steinbruchs treten anthropogene Ablagerungen in Form von Ausgleichsmassen für den Wegebau und Schutthalden von gelöstem Ausbruchsmaterial auf. Diese Ablagerungen sind entweder sehr geringmächtig oder nur temporär vorhanden und werden daher für die weitere Beschreibung und Planung weitgehend vernachlässigt.

2.2.2.2 Hang- und Verwitterungsschutt

Der Hang- und Verwitterungsschutt hat sich in-situ durch Entfestigung und Auflockerung des darunter liegenden Festgesteins gebildet. Er liegt abseits von Felsrippen oder freigeräumten Flächen auf den Festgesteinen auf. Er ist bodenmechanisch als schwach schluffiger, schwach sandiger, teils stark steiniger Kies zu charakterisieren. Die Komponenten sind nach [U 6] überwiegend als scharfkantig bis kantig zu klassifizieren und weisen mittlere Sphärizität / Kugeligkeit auf. Abb. 9 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse der Auszählungen der Kornfraktion 16 mm bis 31,5 mm bzgl. der Kornrundung.

Die Ergebnisse der Einzelproben sind in Anlage 5.1 dargestellt.

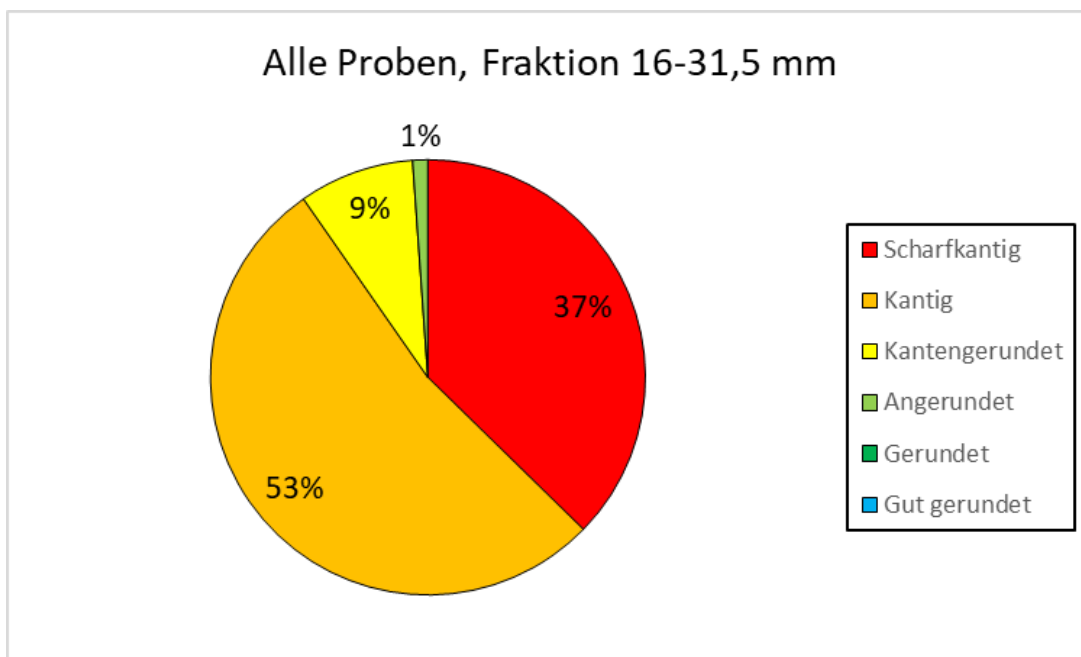


Abb. 9: Auszählung von Komponenten aus dem Hang- und Verwitterungsschutt.

Nach den Ergebnissen der schweren Rammsondierungen mit Schlagzahlen von $N_{10} = 3-20$ ist der Hang- und Verwitterungsschutt als mitteldicht gelagert zu charakterisieren. Die Mächtigkeit des Hangschutts übersteigt im Bereich der schweren Rammsondierungen 15,5 m, die Basis konnte nicht erkundet werden.

Moränenmaterial sollte sich in der Rammsondierung als deutlich dichter gelagertes Material abzeichnen. Dieses trat im Zuge der Rammsondierungen jedoch nicht auf.

Die Kleinrammbohrung hat nur eine Tiefe von 7,5 m erschlossen und kein Moränenmaterial ergeben. Auf Moränenmaterial hätte die charakteristische Kornform und Kornoberfläche von glazial transportierten Geschieben oder ein vorhandener Kristallinanteil hingewiesen. Beides wurde aber nicht angetroffen.

2.2.3 Interpretation des Schichtaufbaus

In Anlage 3.1 findet eine Interpretation des Schichtaufbaus statt. Grundlage dafür sind die Ergebnisse der ingenieurgeologischen Kartierung und die Informationen zum tektonischen Aufbau aus [U 1]. Die in Anlage 3.1 dargestellten Profile stellen die wahrscheinlich anzutreffende Situation und somit die für alle Berechnungen maßgebenden Schnitte dar. Durch die komplizierten tektonischen Verhältnisse, die teils mächtige Überdeckung mit Hang- und Verwitterungsschutt und die stark ausgeprägte Verfaltung der Gesteine sowie nicht zuletzt der großen Tiefenlage der Abbausohle unterliegen die Längsschnitte einer gewissen Unsicherheit.

Die Aufschlussituation und das geomechanische Verhalten der Partnachsichten legen den Schluss nahe, dass ein großflächiges Auftreten der Partnachsichten unterhalb des Hang- und Verwitterungsschutts sehr unwahrscheinlich ist. Trotzdem kann dies nicht gänzlich ausgeschlossen werden. In Anlage 3.2 sind daher alternative Schnitte für diesen Fall abgebildet.

Ein großflächiges Auftreten der Partnachsichten würde deutlich negative Auswirkungen auf die Böschungstabilität haben. Sollte es sich beim laufenden Abbau herausstellen, dass die Partnachsichten doch großflächiger bzw. in größerer Mächtigkeit auftreten, müssen ergänzende Erkundungsmaßnahmen ergriffen werden, die mit dem geotechnischen Sachverständigen abzustimmen sind.

2.3 Hydrogeologie

Bei der Geländeaufnahme wurden keine Quellen, Schichtwasseraustritte oder sonstige Wasservorkommen beobachtet. Im westlichen Teil des Steinbruchs sind im Bereich einer Störungszone (siehe Anlage 2) die Böschungen vernässt, was auf Wasserwegsamkeiten entlang dieser Störungszone hindeutet.

2.4 Trennflächen- und Gebirgscharakteristik

Für die Standsicherheit ist neben der Festigkeit der Felsmassen das Trennflächengefüge, also der Aufbau und die Eigenschaften der mechanisch wirksamen Schicht-, Kluft- und Störungsflächen maßgeblich. Dies umfasst Parameter wie die Art der Trennflächen, Einfallrichtung und Neigung, Persistenz (Erstreckung) und Öffnungsweiten sowie den Durchtrennungsgrad des Gebirges. Im Folgenden wird das Trennflächengefüge der im Steinbruch Überfilzen auftretenden Felsgruppen zusammenfassend erläutert und exemplarisch dargestellt.

2.4.1 Alpiner Muschelkalk

Die Einmessung von Kluft-, Störungs- und Schichtungsspuren (Abb. 10) zeigt, dass die Schichtung überwiegend steil (im Mittel mit 54°) nach Südosten fällt (im Mittel 156°). Klüfte und Störungen durchtrennen den Alpiner Muschelkalk eher regellos, wobei allerdings auffällt, dass diese Trennflächen überwiegend sehr steil ($75\text{-}85^\circ$) einfallen.

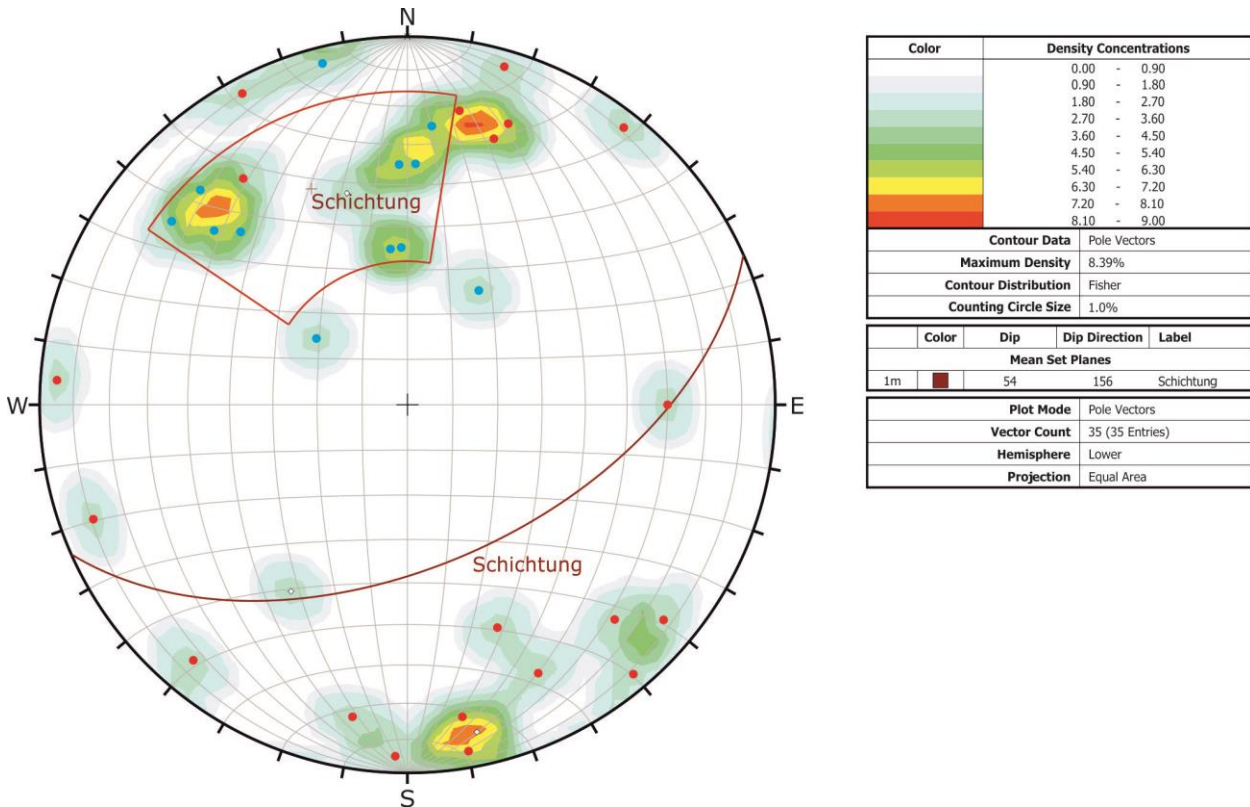


Abb. 10: Polpunktplot der Trennflächen im Alpiner Muschelkalk. Blaue Punkte Schichtflächen, rote Punkte Störungen und Klüfte.

Bei der Aufnahme wurden neben Schichtungsflächen vor allem Großklüfte berücksichtigt, also Klüfte, die das Gebirge über weitere Strecken durchtrennen (Abb. 11) und daher maßgebend für die Standsicherheit sind. Es wurden allerdings auch einzelne aber markante kleinere Klüfte aufgenommen.

Die Schicht-, Kluft- und Störungsflächen im Alpiner Muschelkalk sind überwiegend als rau und uneben zu bezeichnen. An Bruchflächen lässt sich erkennen, dass die Durchtrennung nicht vollständig ist, sondern häufig von Materialbrücken unterbrochen wird. Auf Störungsflächen lassen sich häufig Harnische erkennen.



Abb. 11: Zwei parallele Großklüfte (rote Pfeile) durchtrennen den stark verfalteten Alpinen Muschelkalk.

2.4.2 Partnachsichten

In den Partnachsichten wurden keine Trennflächen eingemessen. Wie in Kap. 2.2.1.2 beschrieben und in Abb. 7 zu sehen, ist das Gestein fein lamelliert bis stark zerschert und an oberflächennahen Aufschlüssen zusätzlich aufgeweicht und stark verwittert.

2.4.3 Wettersteinkalk

Die Einmessung von Kluft-, Störungs- und Schichtungsspuren (Abb. 12) zeigt, dass die Schichtung überwiegend steil (im Mittel mit 53°) nach Südosten fällt (im Mittel 147°). Durch die massige Ausbildung des Wettersteinkalks ist die Schichtung allerdings nur selten erkennbar und es liegen nur wenige Messwerte der Schichtung vor. Diese passen aber gut zur großtektonischen Situation und zu den Werten im Alpinen Muschelkalk (vgl. Abb. 10). Klüfte und Störungen durchtrennen den Wettersteinkalk regellos, wobei steil einfallende Trennflächen überwiegen.

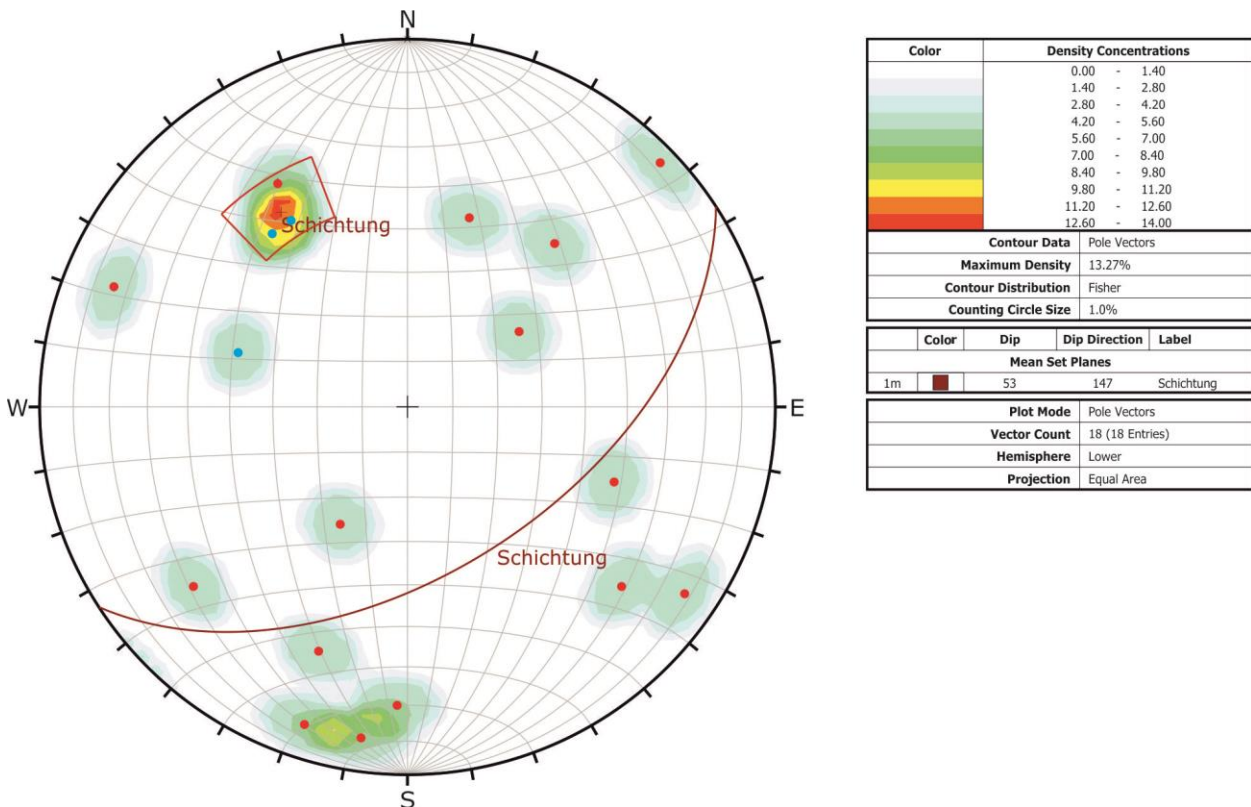


Abb. 12: Polpunktplot der Trennflächen im Wettersteinkalk.. Blaue Punkte Schichtflächen, rote Punkte Störungen und Klüfte.

Die Schicht-, Kluft- und Störungsflächen im Wettersteinkalk sind überwiegend als rau und uneben zu bezeichnen. An Bruchflächen lässt sich erkennen, dass die Durchtrennung nicht vollständig ist, sondern häufig von Materialbrücken unterbrochen wird. Auf Störungsflächen lassen sich häufig Harnische erkennen.

Wie bereits in [U 5] gezeigt kommt es im östlichen Bereich des Steinbruchs im Wettersteinkalk durch eine Trennflächenverschneidung zur Bildung eines Gleitkeils (siehe Abb. 29). Die betreffenden Flächen wurden bei der Geländeaufnahme eingemessen. Eine standsicherheitstechnische Berechnung des Gleitkeils findet in Kap. 3.4 statt.

3 Standsicherheitstechnische Berechnungen

3.1 Bestimmung der geotechnischen Parameter

Wie in Kap. 1.4.5 erläutert wurden die geotechnischen Parameter zunächst abgeschätzt und anhand einer seit dem Jahr 1994 bestehenden Böschung mit einer sehr ungünstigen Trennflächenorientierung rückgerechnet. Die Ergebnisse dieser Modellierung der Scherparameter sind in Anlage 6.1 und in Abb. 13 sowie Abb. 14 dargestellt.

Nach der in Anlage 6.1 durchgeführten Standsicherheitsberechnung mit einer Trennflächenneigung von 70° liegt für diesen Bereich mit den in Tab. 4 angegebenen Scherparametern für den Alpinen Muschelkalk mit dünnbankiger Ausbildung ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,97$ vor (Abb. 13). Die exemplarische Böschung ist somit rechnerisch standsicher und sehr nah am Grenzzustand.

Bei einer Trennflächenneigung von 75° liegt für diesen Bereich mit den in Tab. 4 angegebenen Scherparametern für den Alpinen Muschelkalk mit dünnbankiger Ausbildung ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,81$ vor (Abb. 14). Die Böschung ist somit rechnerisch standsicher.

Aus der Modellierung ergeben sich somit für die weiteren Berechnungen die in Tab. 4 angegebenen Scherparameter für den Alpinen Muschelkalk mit dünnbankiger Ausbildung. Die Gesteinsparameter des dickbankigen Muschelkalks und des Wettersteinkalks wurden aufgrund ihres deutlich geringeren Durchtrennungsgrades leicht erhöht, während die Trennflächenparameter nicht verändert wurden.

Der Einfluss der Variation der Orientierung bzw. des Einfallens der Schichtflächen wurde erst bei den geplanten Abbauböschungen eingerechnet.

Der relativ hohen Werte des Reibungswinkel von $\varphi_k = 40^\circ$ und der Kohäsion von $c_k = 50 \text{ kN/m}^2$ sind der Tatsache geschuldet, dass die Schichtflächen in ihrer Geometrie gebogen und gewellt, z.T. sogar kleinräumig spezialverfaltet sind, was einen deutlich höheren Verzahnungsgrad ergibt. Sie keilen lateral aus und sind nicht unendlich erstreckt. Gleichermäßen gilt dies für die Klufflächen, bei denen viele Felsbrücken zu einer erhöhten Kohäsion führen.

Für die Parameter des Hang- und Verwitterungsschutts wurde auf die DIN 1055-2:2010-11 zurückgegriffen. Dieser wurde nach Tabelle 1, Zeile 4 (durch $U > 15$) als GW mit mittlerer Lagerungsdichte (Einstufung nach Rammdiagramm der DPH-Untersuchungen, vgl. Anlage 4.2) eingestuft, da der Schluffanteil von ca. 8% nur wenig ins Gewicht fällt (vgl. Kornsummenkurven, Anlage 5.1). Nach DIN 1055-2:2010-11 Abschnitt 3.2. (3) wurde der in der DIN Tabelle 2 angegebene Reibungswinkel von $32,5^\circ$ wegen der nachweislich überwiegend kantigen Kornform (vgl. Abb. 9) um $2,5^\circ$ auf 35° erhöht. Durch den vorhandenen Anteil an Feinkorn von im Mittel 8% (vgl. Anlage 5.1) wird eine Kohäsion c' von 2 kN/m^2 gemäß DIN Tabelle 4, Zeile 2 (UL, steif), angesetzt.

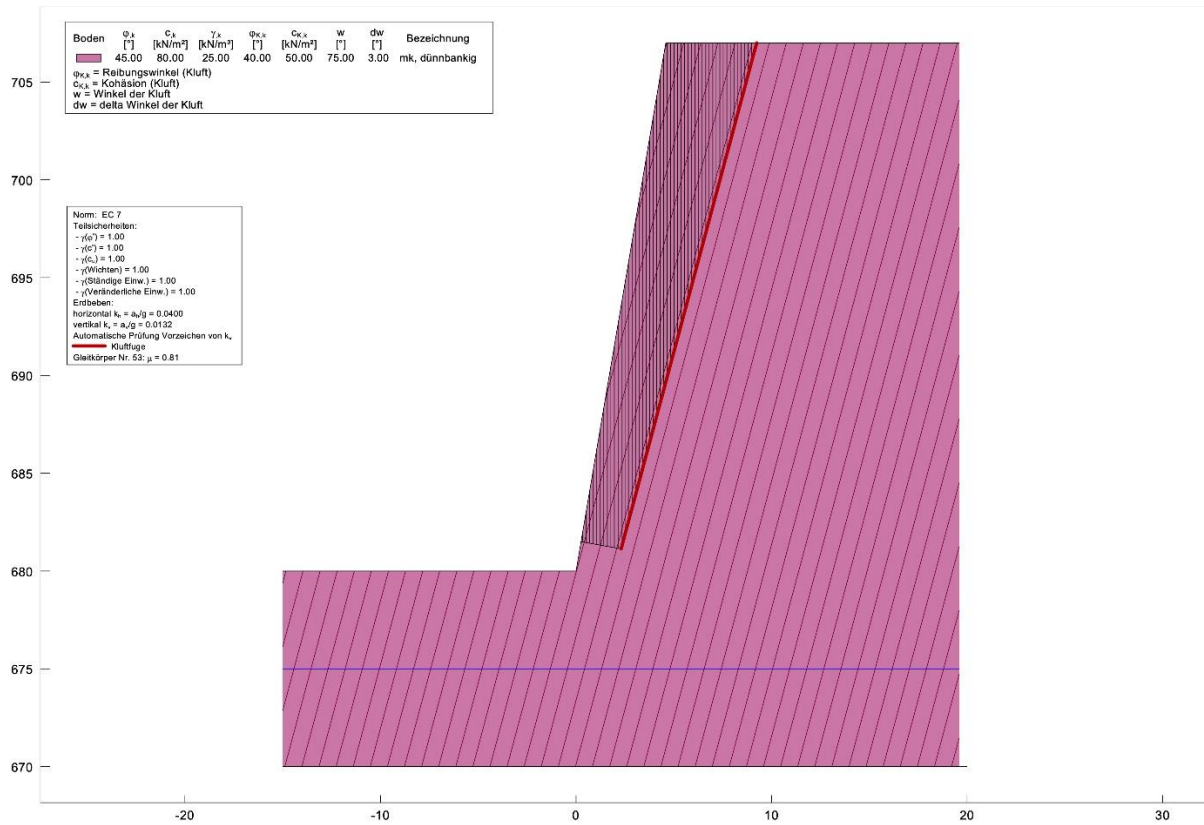


Abb. 13: Rückrechnung der Kohäsion und des Reibungswinkels der Trennflächen einer stabilen Böschung im dünnbankigen Alpenen Muschelkalk mit einer Trennflächenneigung von 70° bei einem $\mu = 0,97$.

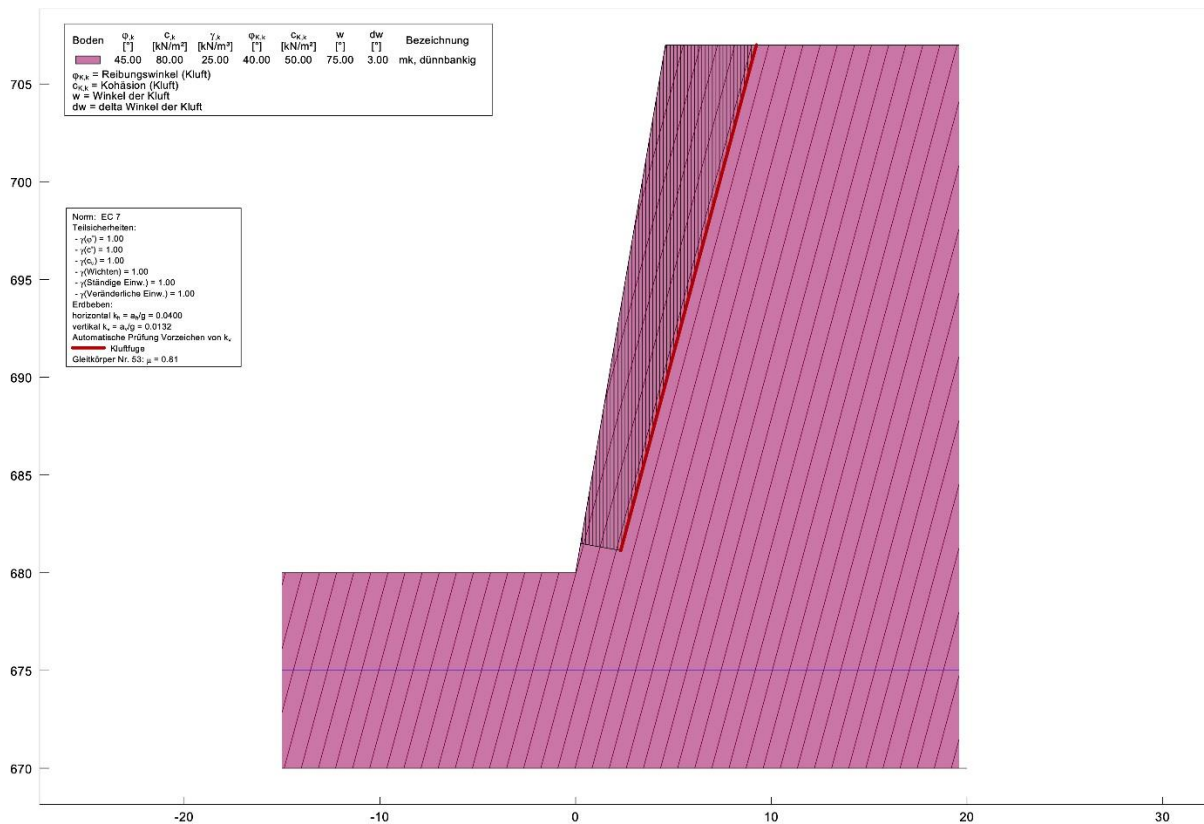


Abb. 14: Rückrechnung der Kohäsion und des Reibungswinkels der Trennflächen einer stabilen Böschung im dünnbankigen Alpenen Muschelkalk mit einer Trennflächenneigung von 75° bei einem $\mu = 0,81$.

Tab. 4: Zusammenstellung der charakteristischen geotechnischen Parameter.

| Bezeichnung | Hang- und Verwitterungsschutt | Muschelkalk, dünnbankig | Muschelkalk, dickbankig | Wettersteinkalk |
|--|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| Gesteinsparameter | | | | |
| Wichte γ , γ_k [kN/m ³] | 19 | 25 | 26 | 26 |
| Reibungswinkel φ , φ_k [°] | 35 | 45 | 45 | 45 |
| Kohäsion c , c_k [kN/m ²] | 2 | 80 | 100 | 100 |
| Trennflächenparameter | | | | |
| Reibungswinkel φ , φ_k [°] | - | 40 | 40 | 40 |
| Kohäsion c , c_k [kN/m ²] | - | 50 | 50 | 50 |
| Delta Winkel | - | 3 | 3 | 3 |

In Abb. 15 und Abb. 16 ist der Einfluss des Dämpfungsgrades der Scherwellenbeschleunigung von Gewinnungssprengungen auf den Ausnutzungsgrad μ dargestellt. Bei einer Trennflächenneigung von 70° (Abb. 15) würde eine Verringerung der Dämpfung recht bald zum rechnerischen Versagen der Böschung führen ($\mu > 1$).

Bei einer Trennflächenneigung von 75° (Abb. 16) würde eine ungedämpfte Einwirkung der Scherwellenbeschleunigung auf die Böschung das System mit einem Ausnutzungsgrad von $\mu = 1,00$ genau in den rechnerischen Grenzzustand bringen.

Die Annahme einer Dämpfung von 80% (Faktor 0,2) stellt hierbei jedoch einen sehr ungünstigen, konservativen Fall bei nur etwa 5 m Abstand zur Sprengung dar.

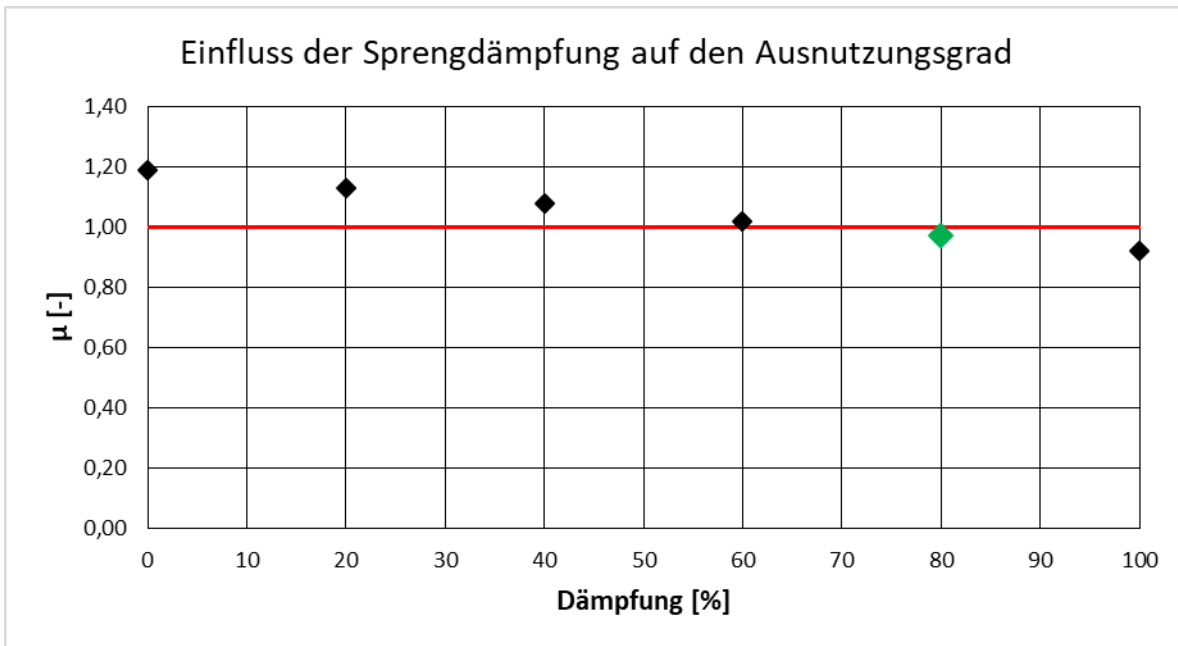


Abb. 15: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Dämpfung der Scherwellenbeschleunigungen bei einem Schichteinfallen von 70°. In Grün der angenommene Dämpfungsgrad von 80 %.

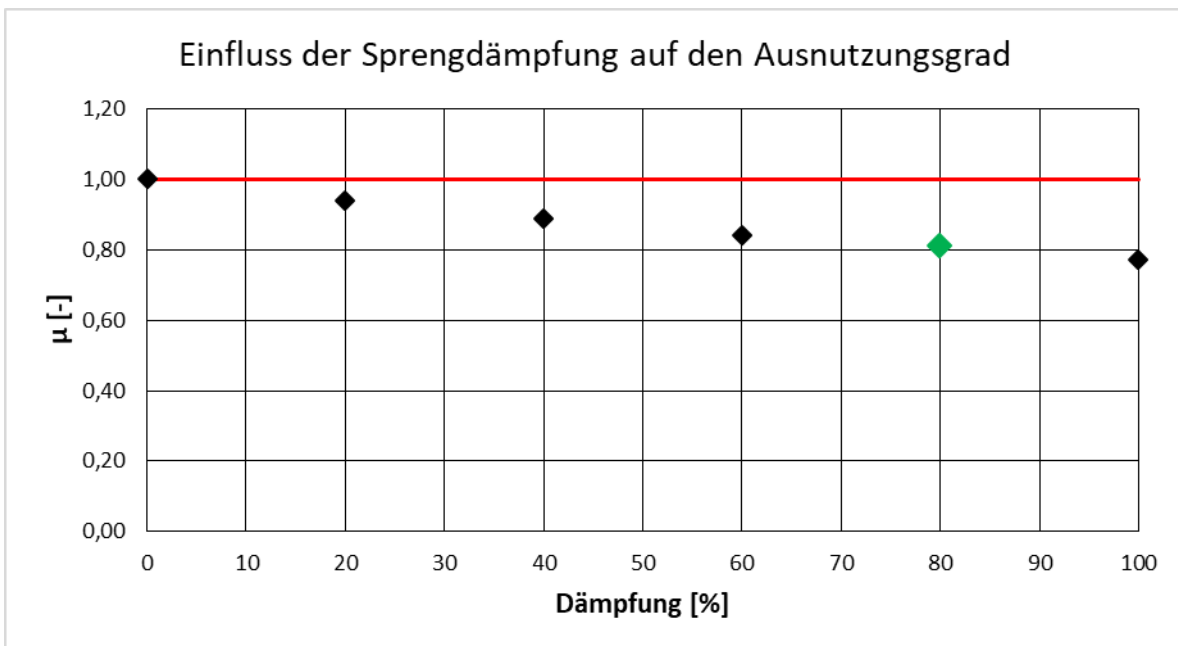


Abb. 16: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Dämpfung der Scherwellenbeschleunigungen bei einem Schichteinfallen von 75°. In Grün der angenommene Dämpfungsgrad von 80 %.

3.2 Betrachtung der Standsicherheit der abbaubetrieblichen Böschungen

Nach derzeitigem Planungsstand soll der Abbau mit Böschungshöhen von 30 m bei 70° Neigung erfolgen. Die Bermenbreite beträgt 5 m. In Anlage 2 sind die Böschungen zur Veranschaulichung transparent dargestellt. In Anlage 3.1 ist die Abbaulinie ebenfalls eingetragen.

Mit den in Kap. 3.1 ermittelten Parametern wurden Standsicherheitsberechnungen für die jeweiligen Gesteine unter der nach Planungsstand vorgegebenen Böschungsgeometrie durchgeführt. Hierfür wird nach den drei Hauptorientierungen der Abbauböschungen unterschieden. Für den Zeitraum des Abbaubetriebs wurden die Berechnungen mit den Teilsicherheiten der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) nach DIN 1054:2010-12 und den in Kap. 1.4.5 erläuterten Erdbebenbeiwerten durchgeführt, um den Sprengerschütterungen Rechnung zu tragen.

Die ausführlichen Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen für den Abbaubetrieb sind in Anlage 6.2 enthalten und werden in Kap. 4.1 zusammengefasst.

Im Folgenden werden die einzelnen charakteristischen Böschungen vorgestellt und ihre Standsicherheit beurteilt.

3.2.1 Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen

Die nach Süden einfallenden Böschungen werden wie in Anlage 3.1 dargestellt von Alpinem Muschelkalk aufgebaut. Wettersteinkalk tritt aller Wahrscheinlichkeit nicht auf. Wie in Kap. 2.4.1 beschrieben fällt die Schichtung dieser Einheit nach Süd bis Südwesten ein und variiert dabei sehr stark. Diese Variation wurde bei den Berechnungen berücksichtigt, indem Modelle berechnet wurden, bei denen das Einfallen der Trennflächen aus der Böschung heraus zwischen 45° und 85° variiert wurden.

Die ausführlichen Ergebnisse der insgesamt 18 Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 6.2.1; eine davon wurde exemplarisch in Abb. 17 dargestellt. In der Abb. 18 werden die Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Schichtung für die jeweils dünnbankige und die dickbankige Varietät des Alpinen Muschelkalks veranschaulicht.

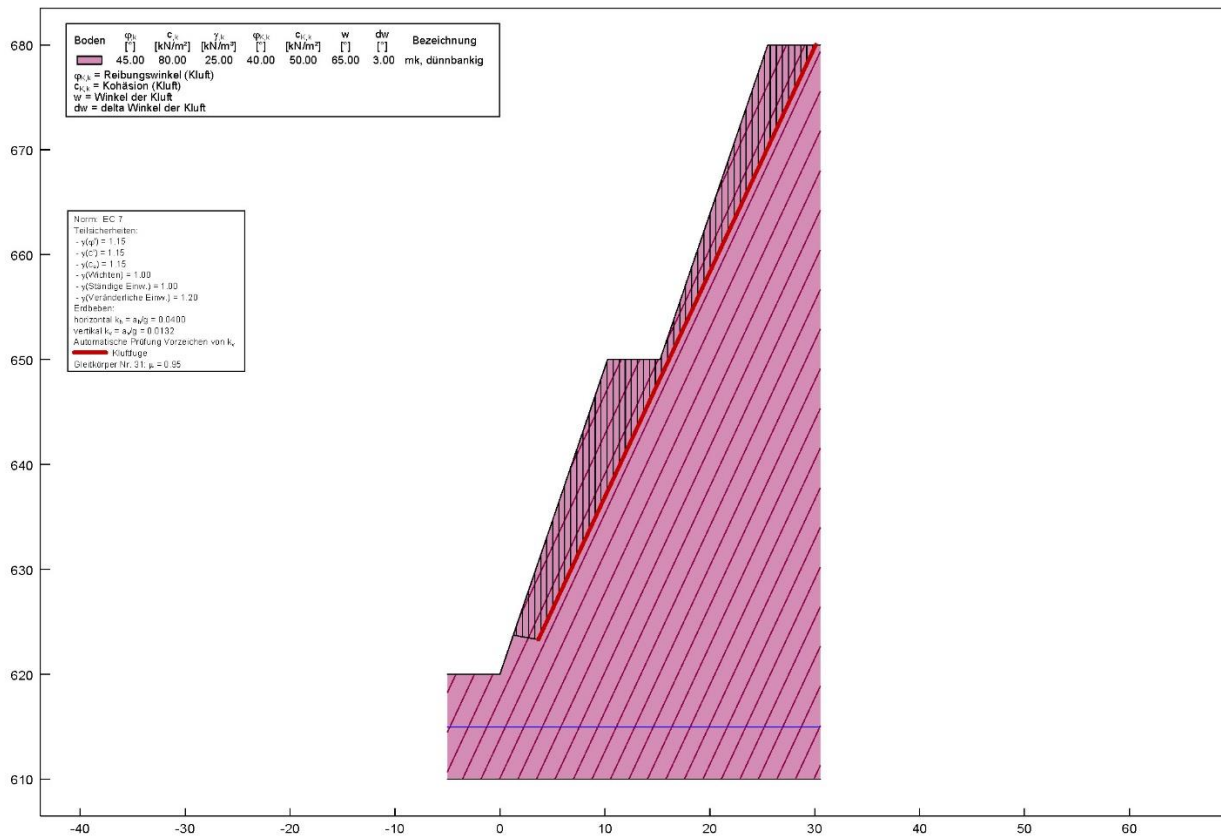


Abb. 17: Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen nach Süden fallenden Böschung im dünnbankigen Alpen Muschelkalk mit einer rel. Trennflächenneigung von 65° und einem $\mu = 0,95$ (6.2.1 Blatt 5).

Aus den Berechnungen ergeben sich Ausnutzungsgrade zwischen $\mu = 0,70$ und $\mu = 0,95$ für den dünnbankigen Alpen Muschelkalk und zwischen $\mu = 0,67$ und $\mu = 0,95$ für den dickbankigen Alpen Muschelkalk.

Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Schichteinfalls im Alpen Muschelkalk stabil.

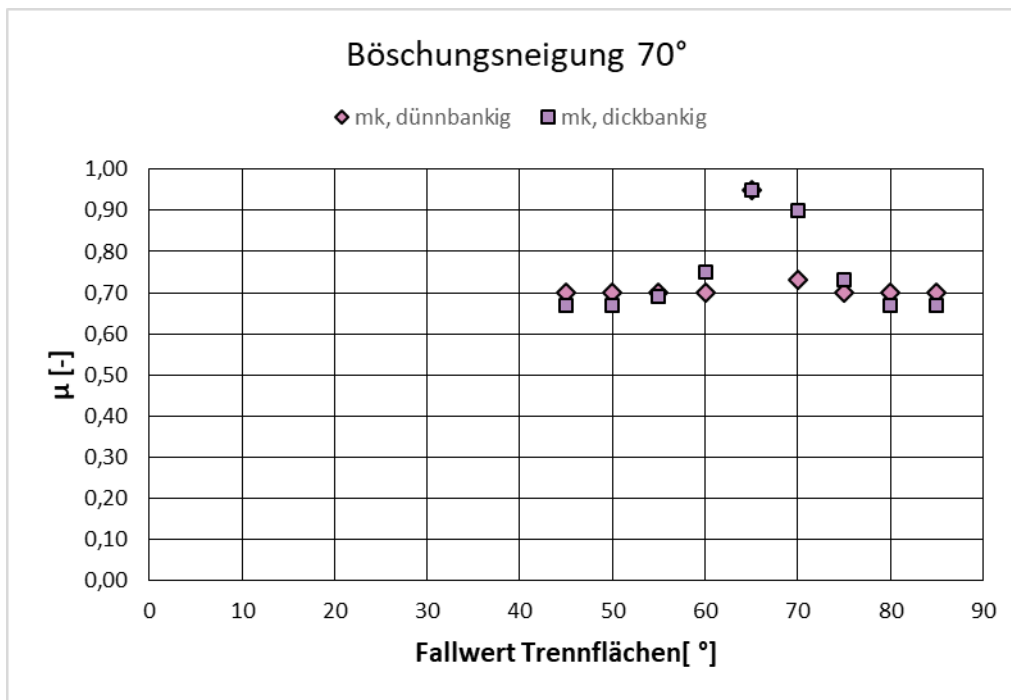


Abb. 18: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Süden einfallenden Böschungen.

3.2.2 Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen

Die nach Westen einfallenden Böschungen werden wie in Anlage 3.1 dargestellt von Alpinem Muschelkalk und von Wettersteinkalk aufgebaut. Wie in Kap. 2.4.1 beschrieben fällt die Schichtung des Alpenen Muschelkalks nach Süd bis Südwesten ein und variiert dabei sehr stark. Durch die senkrechte Verschneidung mit den nach Westen einfallenden Böschungen ergibt sich ein scheinbares Einfallen von 0°. Um bei den Berechnungen der Variation im Streichwert Rechnung zu tragen, wurde bei den Modellen das scheinbare Einfallen zwischen 10° aus der Böschung heraus und 10° in die Böschung hinein variiert.

Wie in Kap. 2.4.3 beschrieben wird der Wettersteinkalk recht regellos durch meist steil einfallende Klüfte und Störungen durchtrennt. Diese Variation wurde bei den Berechnungen berücksichtigt, indem Modelle berechnet wurden, bei denen das Einfallen der Trennflächen aus der Böschung heraus zwischen 55° und 55° in die Böschung hinein variiert wurden.

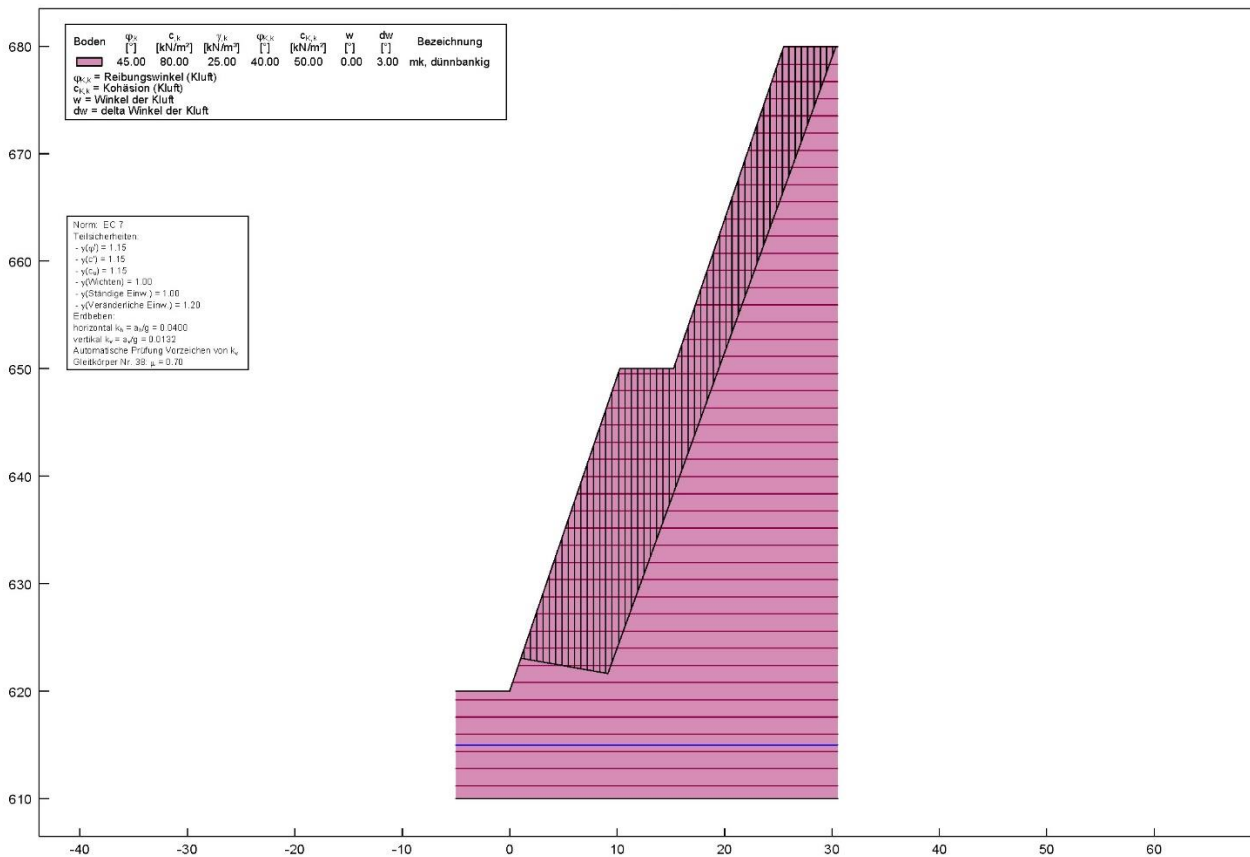


Abb. 19: Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen nach Westen fallenden Böschung im dünnbankigen Alpinen Muschelkalk mit einer relativen Trennflächenneigung von 0° bei einem $\mu = 0,70$ (6.2.2 Blatt 3).

Die ausführlichen Ergebnisse der insgesamt 25 Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 6.2.2 und exemplarisch in Abb. 19 dargestellt.

In Abb. 20 werden die Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Schichtung für die jeweils dünnbankige und die dickbankige Varietät des Alpinen Muschelkalks veranschaulicht.

Aus den Berechnungen ergeben sich Ausnutzungsgrade zwischen $\mu = 0,70$ und $\mu = 0,75$ für den dünnbankigen Muschelkalk und zwischen $\mu = 0,67$ und $\mu = 0,71$ für den dickbankigen Muschelkalk. Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Schichteinfalls im Alpinen Muschelkalk stabil.

Die gezeigten Ergebnisse gelten für die an diesen Böschungen vorherrschende Schichtneigung. Die Böschungen können aber auch von ungünstig orientierten, zwischen 45° und 85° einfallenden Großklüften oder Störungen durchzogen werden. Solche Fälle sind bereits in Kap. 3.2.1 für Schichtflächen berechnet worden und gelten sinngemäß auch für Klüfte als Trennflächen.

In Abb. 21 werden Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Trennflächen für den Wettersteinkalk dargestellt. Aus den Berechnungen ergeben sich für den Wettersteinkalk Ausnutzungsgrade zwischen $\mu = 0,67$ und $\mu = 0,95$. Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach

rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Einfallens von Trennflächen im Wettersteinkalk stabil.

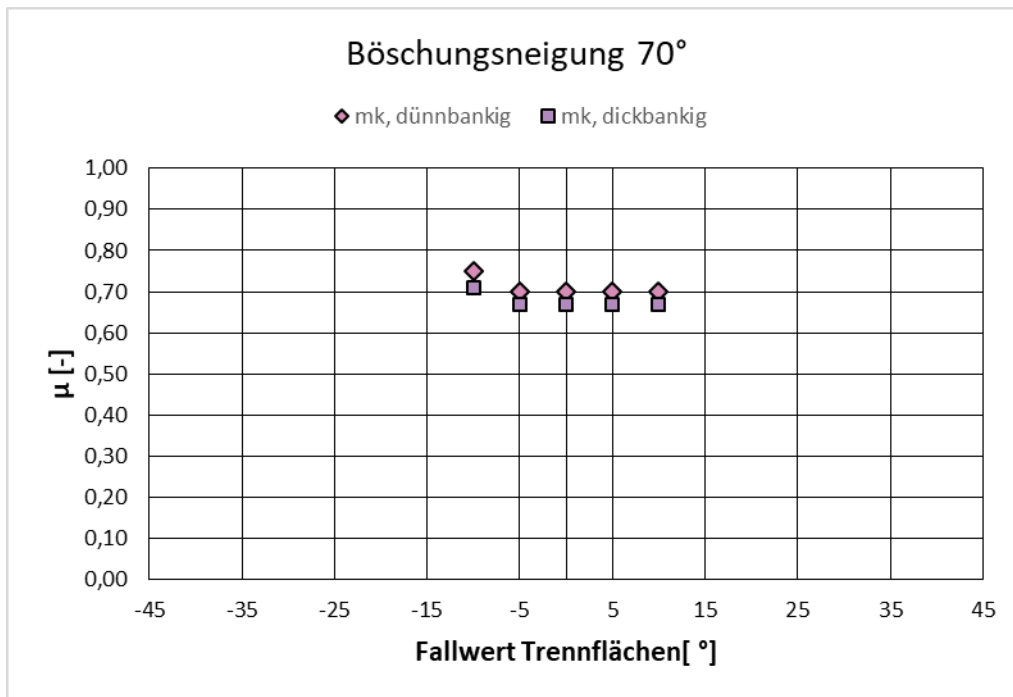


Abb. 20: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpinen Muschelkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Westen einfallenden Böschungen.

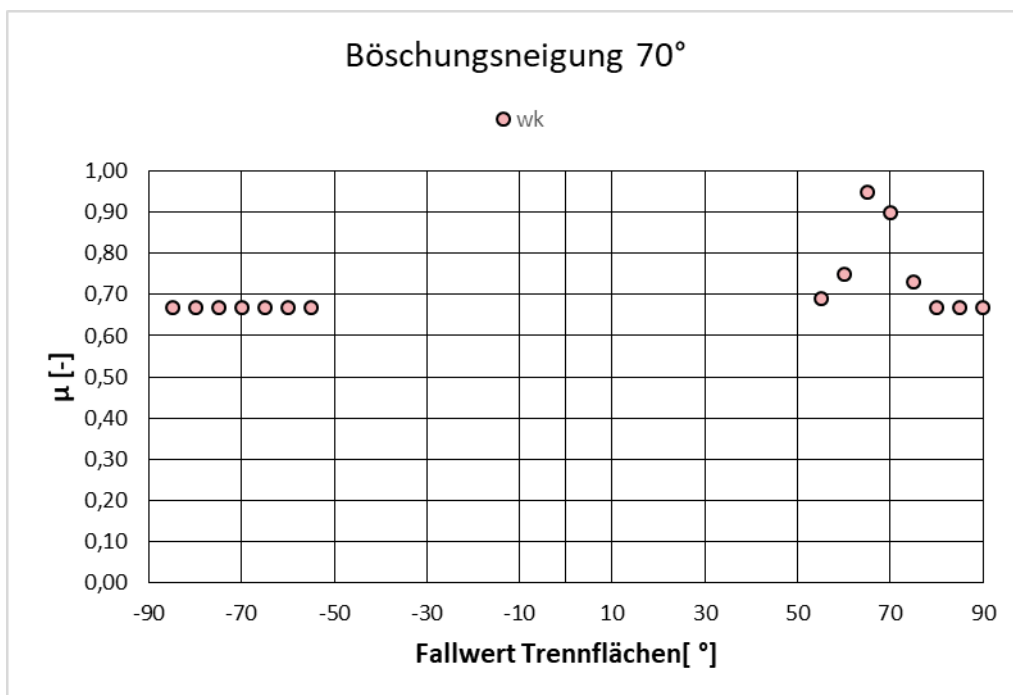


Abb. 21: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Wettersteinkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Westen einfallenden Böschungen.

3.2.3 Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen

Die nach Norden einfallenden Böschungen werden wie in Anlage 3.1 dargestellt von Alpinem Muschelkalk und von Wettersteinkalk aufgebaut. Wie in Kap. 2.4.1 beschrieben fällt die Schichtung des Alpinen Muschelkalks nach Süd bis Südwesten ein und variiert dabei sehr stark. Diese Variation wurde bei den Berechnungen berücksichtigt, indem auch hier bei den Modellen das Einfallen der Trennflächen zwischen 45° und 85° in die Böschung hinein variiert wurde.

Wie in Kap. 2.4.3 beschrieben wird der Wettersteinkalk recht regellos durch meist steil einfallende Klüfte und Störungen durchtrennt. Für die Berechnungen wurde bei den Modellen das Einfallen der Trennflächen zwischen 55° aus der Böschung heraus und 55° in die Böschung hinein variiert.

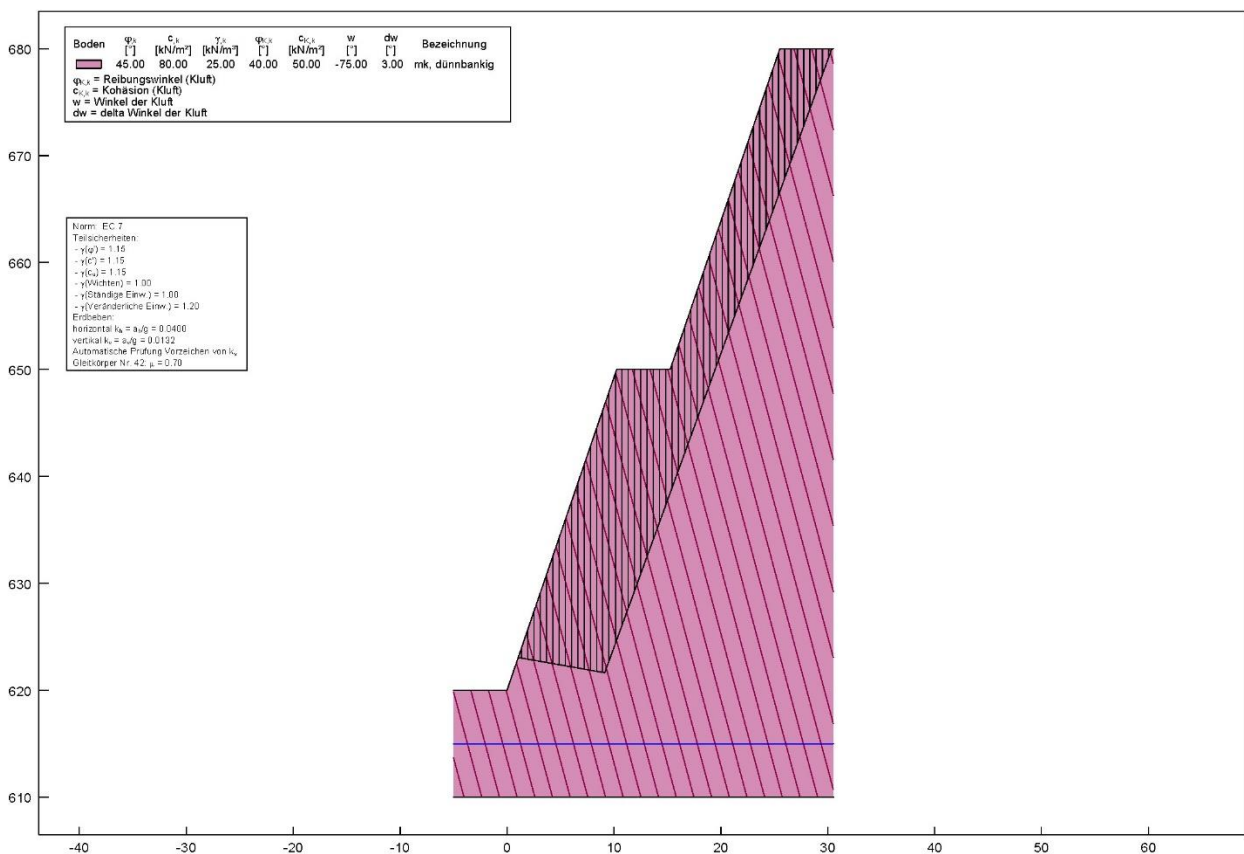


Abb. 22: Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen nach Norden fallenden Böschung im dünnbankigen Alpinen Muschelkalk mit einer rel. Trennflächenneigung von -75° bei einem $\mu = 0,70$ (6.2.3 Blatt 7).

Die ausführlichen Ergebnisse der insgesamt 18 Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 6.2.3 und exemplarisch in Abb. 22 dargestellt.

In Abb. 23 werden die Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Schichtung für die jeweils dünnbankige und die dickbankige Varietät des Alpinen Muschelkalks veranschaulicht.

Die Böschungen im Wettersteinkalk verhalten sich wie die bereits in Kap. 3.2.2 berechneten Böschungen.

Aus den Berechnungen für den Alpinen Muschelkalk ergeben sich Ausnutzungsgrade von $\mu = 0,70$ für den dünnbankigen Muschelkalk und $\mu = 0,67$ für den dickbankigen Muschelkalk.

Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Schichteinfallens im Alpinen Muschelkalk stabil.

Die gezeigten Ergebnisse gelten für die an diesen Böschungen vorherrschende Schichtneigung. Die Böschungen können aber auch von ungünstig orientierten, zwischen 45° und 85° einfallenden Großklüften oder Störungen durchzogen werden. Solche Fälle sind bereits in Kap. 3.2.1 für Schichtflächen berechnet worden und gelten sinngemäß auch für Klüfte als Trennflächen.

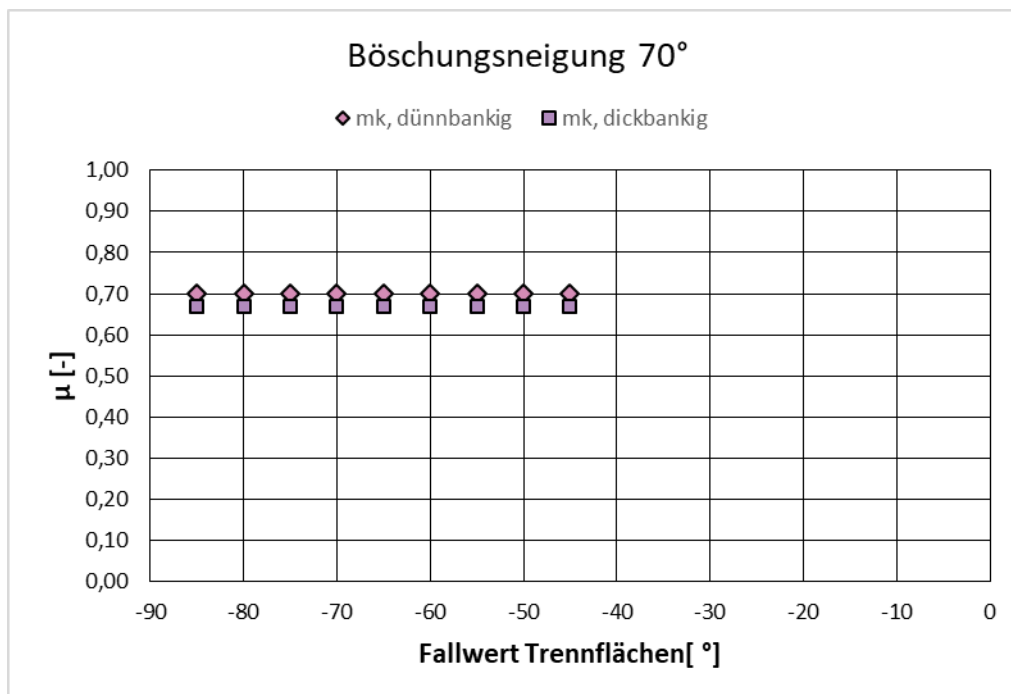


Abb. 23: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpinen Muschelkalk für den abbaubetrieblichen Zustand der nach Norden einfallenden Böschungen.

3.2.4 Betrachtung der Böschungen im Hang- und Verwitterungsschutt

Durch die große Mächtigkeit des Hang- und Verwitterungsschutts muss davon ausgegangen werden, dass während des Abbaubetriebs notwendig sein wird, Böschungen temporär auch im Hangschutt herzustellen.

Unter Anwendung der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) und den in Kap. 1.4.5 erläuterten Erdbebenbeiwerten sowie den in Tab. 4 angegebenen geotechnischen Parametern

wurde eine Standsicherheitsberechnung für eine Böschungshöhe von 7 m unter einem Böschungswinkel von 38° durchgeführt. Der Böschungswinkel von 38° ergibt sich aus dem Reibungswinkel von 35° und der Kohäsion von 2 kN/m².

Zur Berechnung wurde das Programm GGU Stability© verwendet. Die Berechnungen wurden auf Grundlage des Eurocode 7 durchgeführt.

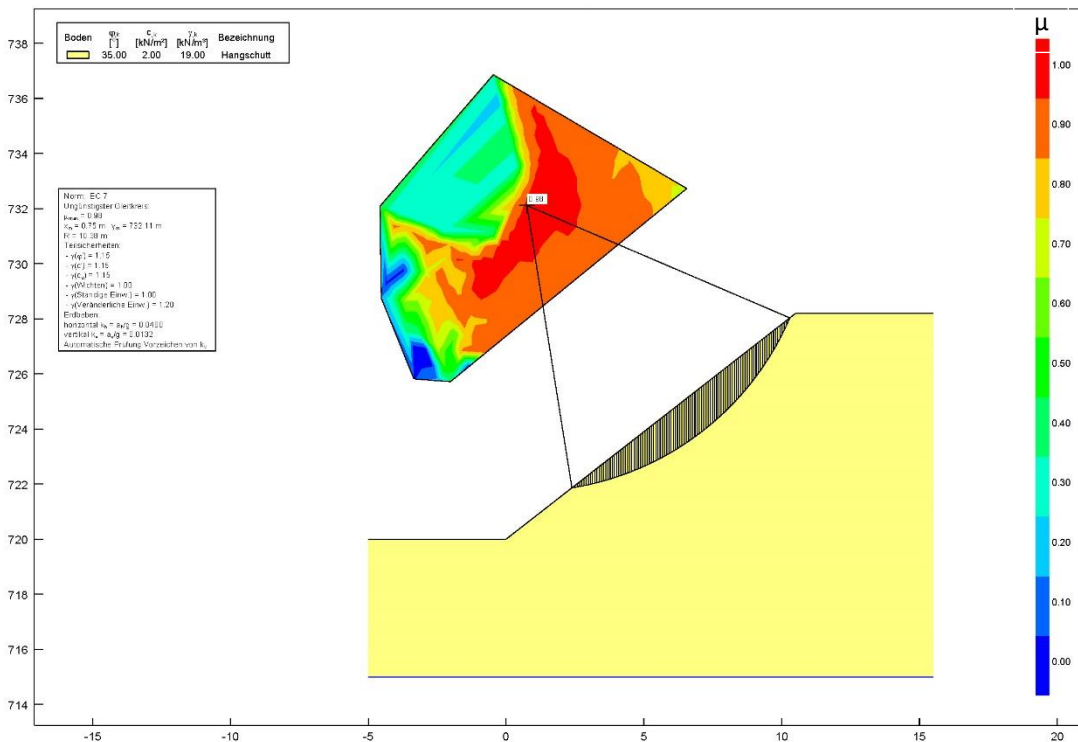


Abb. 24: Berechnung der Standsicherheit einer abbaubetrieblichen Böschung im Hang- und Verwitterungsschutt.

Das Ergebnis ist in Anlage 6.2.4 und in Abb. 24 dargestellt. Dabei sind die Isolinien des Ausnutzungsgrades der Mittelpunkte der berechneten Gleitkreise farblich dargestellt. Der ungünstigste Gleitkreis mit dem größten Ausnutzungsgrad wird angezeigt. Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von μ = 0,98. Die Böschung ist somit rechnerisch standsicher. Die Standsicherheit wird von der lokalen Zusammensetzung des Hangschutts gesteuert.

Sollte sich dahingehend eine andere Körnungslinie ergeben, müsste die Standsicherheitsberechnung mit der neuen Kornzusammensetzung wiederholt werden. Sollten sich andere Böschungshöhen oder -winkel ergeben sind diese neuen Vorgaben ebenfalls durch neue Standsicherheitsberechnungen zu überprüfen.

Auf Basis der Berechnung empfehlen wir die Böschungsneigung im unverritzten Gebirge des Hang- und Verwitterungsschutts von 30°-35° zu erstellen, um noch genügend Sicherheiten bei lokal ungünstiger Kornzusammensetzung oder weniger dichter Lagerung zu haben.

3.3 Betrachtung der Standsicherheit der Böschungen im Endzustand

Nach derzeitigem Planungsstand soll der Abbau mit Böschungshöhen von 30 m bei 70° Neigung erfolgen. Die Bermenbreite beträgt 5 m. Es soll überprüft werden, ob diese Böschungsgeometrie auch im Endzustand beibehalten werden kann. In Anlage 2 *Geologische Karte* sind die Böschungen zur Veranschaulichung grau/transparent dargestellt. In Anlage 3.1 *Geologische Profile* ist die Abbaulinie jeweils in grau in die Schnitte eingetragen.

Für den Zeitraum nach dem Abbaubetrieb wurden die Berechnungen mit den Teilsicherheiten der permanenten Bemessungssituation (BS-P) nach DIN 1054:2010-12 und ohne Erdbebenbeiwerte durchgeführt, da keine Gewinnungssprengungen mehr erfolgen und das Steinbruchareal entsprechend der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 in der Erdbebenzone 0 liegt (d.h. in einem Gebiet, in der gemäß des zugrunde gelegten Gefährdungsniveaus rechnerisch die Intensität $\leq 6,0$ zu erwarten ist).

Ansonsten wurden die Stabilitätsberechnungen analog zu denen des Kap. 3.2 durchgeführt. Für Erläuterungen zu den Variationen der Trennflächenneigung siehe die entsprechenden Kap. 3.2.1, 3.2.2 und 3.2.3. Im Folgenden sind daher auch keine Abbildungen der Böschungen mehr dargestellt, da sich lediglich die Berechnung zur jeweiligen Böschungsgeometrie ändert.

Die ausführlichen Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen für den Endzustand sind in Anlage 6.3 zusammengefasst und werden in Kap. 4.2 nochmals zusammengefasst.

Im Folgenden werden die einzelnen charakteristischen Böschungen mit ihren Orientierungen vorgestellt und ihre Standsicherheit beurteilt.

3.3.1 Betrachtung der nach Süden fallenden Böschungen

Die ausführlichen Ergebnisse der insgesamt 18 Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 6.3.1 dargestellt.

In Abb. 25 werden die Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Schichtung für die jeweils dünnbankige und die dickbankige Varietät des Alpenen Muschelkalks veranschaulicht.

Aus den Berechnungen ergeben sich Ausnutzungsgrade zwischen $\mu = 0,73$ und $\mu = 0,98$ für den dünnbankigen Muschelkalk und zwischen $\mu = 0,69$ und $\mu = 0,98$ für den dickbankigen Muschelkalk.

Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Schichteinfallens im Alpenen Muschelkalk stabil.

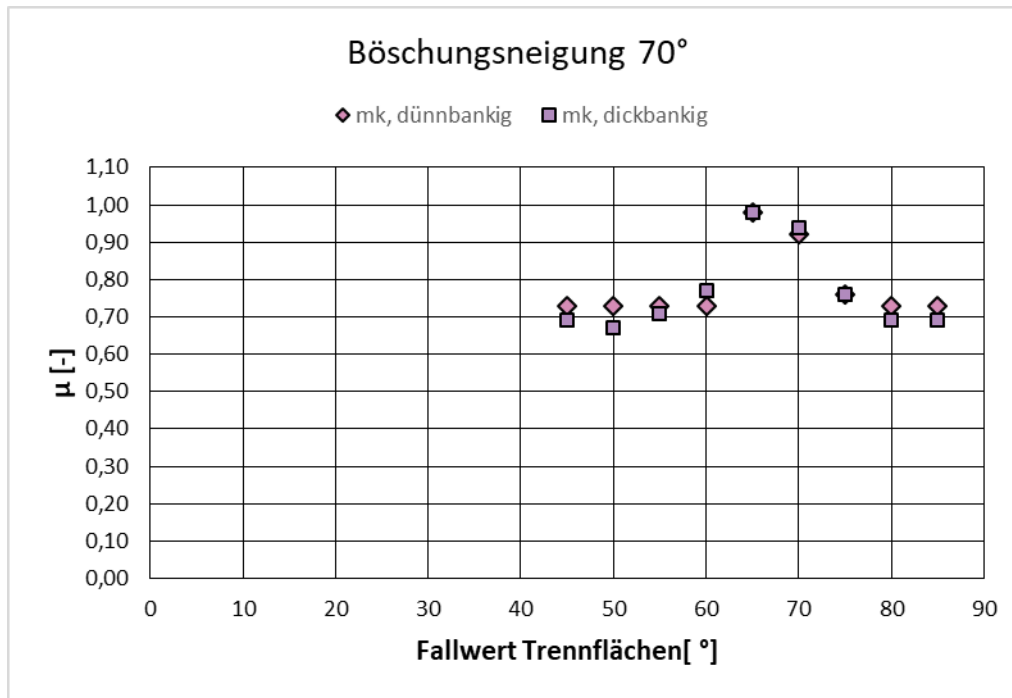


Abb. 25: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpinen Muschelkalk für den Endzustand der nach Süden einfallenden Böschungen.

3.3.2 Betrachtung der nach Westen fallenden Böschungen

Die ausführlichen Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 6.3.2 dargestellt.

In Abb. 26 werden die Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Schichtung für die jeweils dünnbankige und die dickbankige Varietät des Alpinen Muschelkalks veranschaulicht.

Aus den Berechnungen ergeben sich Ausnutzungsgrade zwischen $\mu = 0,73$ und $\mu = 0,77$ für den dünnbankigen Muschelkalk und zwischen $\mu = 0,69$ und $\mu = 0,74$ für den dickbankigen Muschelkalk. Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Schichteinfallens im Alpinen Muschelkalk stabil.

Die gezeigten Ergebnisse gelten für die an diesen Böschungen vorherrschende Schichtneigung. Die Böschungen können auch von ungünstig orientierten, zwischen 45° und 85° einfallenden Großklüften oder Störungen durchzogen werden. Solche Fälle sind bereits in Kap. 3.2.1 für Schichtflächen berechnet worden und gelten sinngemäß auch für Klüfte als Trennflächen.

In Abb. 27 werden Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Trennflächen für den Wettersteinkalk dargestellt. Aus den Berechnungen ergeben sich für den Wettersteinkalk Ausnutzungsgrade zwischen $\mu = 0,69$ und $\mu = 0,98$. Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Einfallens von Trennflächen im Wettersteinkalk stabil.

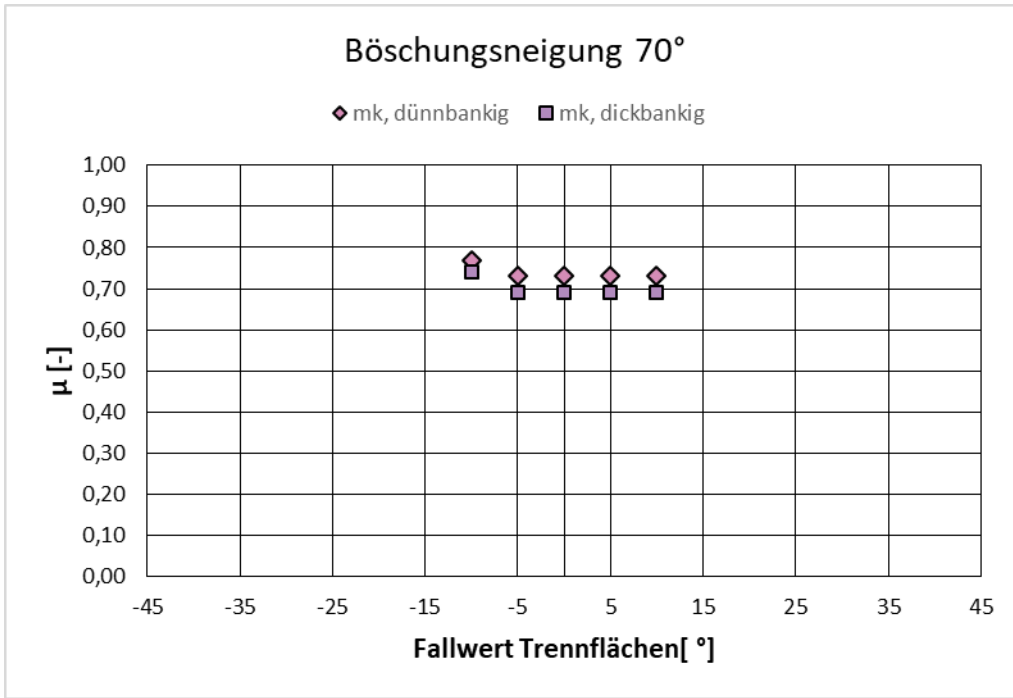


Abb. 26: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungeneigung von 70° im Alpenen Muschelkalk für den Endzustand der nach Westen einfallenden Böschungen.

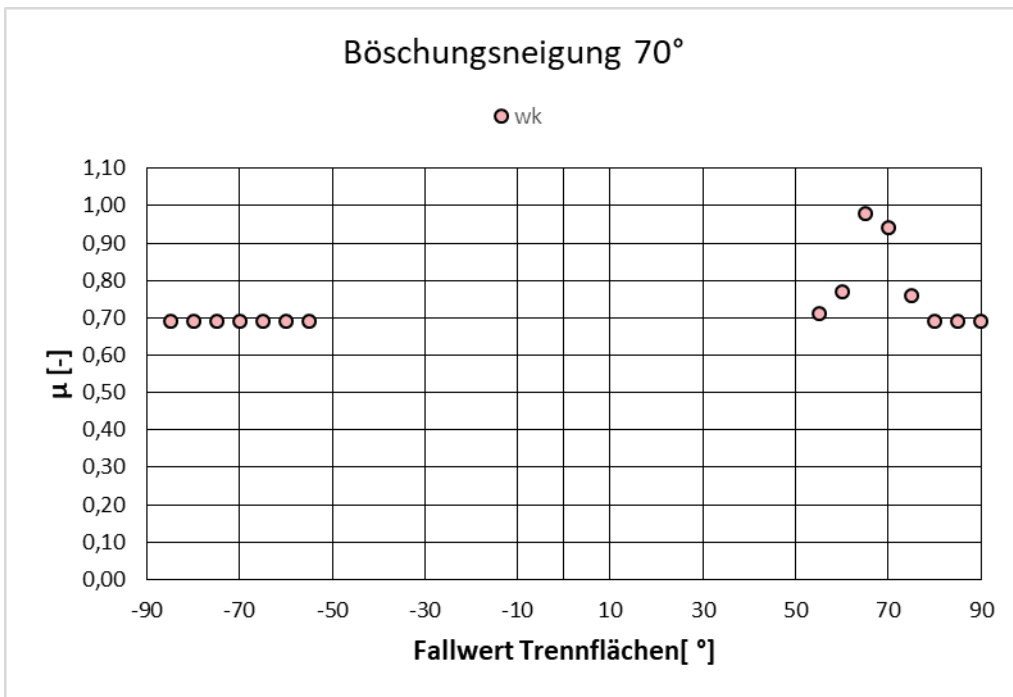


Abb. 27: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungeneigung von 70° im Wettersteinkalk für den Endzustand der nach Westen einfallenden Böschungen.

3.3.3 Betrachtung der nach Norden fallenden Böschungen

Die ausführlichen Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 6.3.3 dargestellt. In Abb. 28 werden die Ausnutzungsgrade für die verschiedenen Einfallswinkel der Schichtung für die jeweils dünnbankige und die dickbankige Varietät des Alpinen Muschelkalks veranschaulicht.

Die Böschungen im Wettersteinkalk verhalten sich wie die bereits in Kap. 3.3.2 berechneten Böschungen.

Aus den Berechnungen für den Alpinen Muschelkalk ergeben sich Ausnutzungsgrade von $\mu = 0,73$ für den dünnbankigen Muschelkalk und $\mu = 0,69$ für den dickbankigen Muschelkalk. Eine Böschungsneigung von 70° ist demnach rechnerisch für alle Werte des aufgetretenen Schichteinfallens im Alpinen Muschelkalk stabil.

Die gezeigten Ergebnisse gelten für die an diesen Böschungen vorherrschende Schichtneigung. Die Böschungen können auch von ungünstig orientierten, zwischen 45° und 85° einfallenden Großklüften oder Störungen durchzogen werden. Solche Fälle sind bereits in Kap. 3.2.1 für Schichtflächen berechnet worden und gelten sinngemäß auch für Klüfte als Trennflächen.

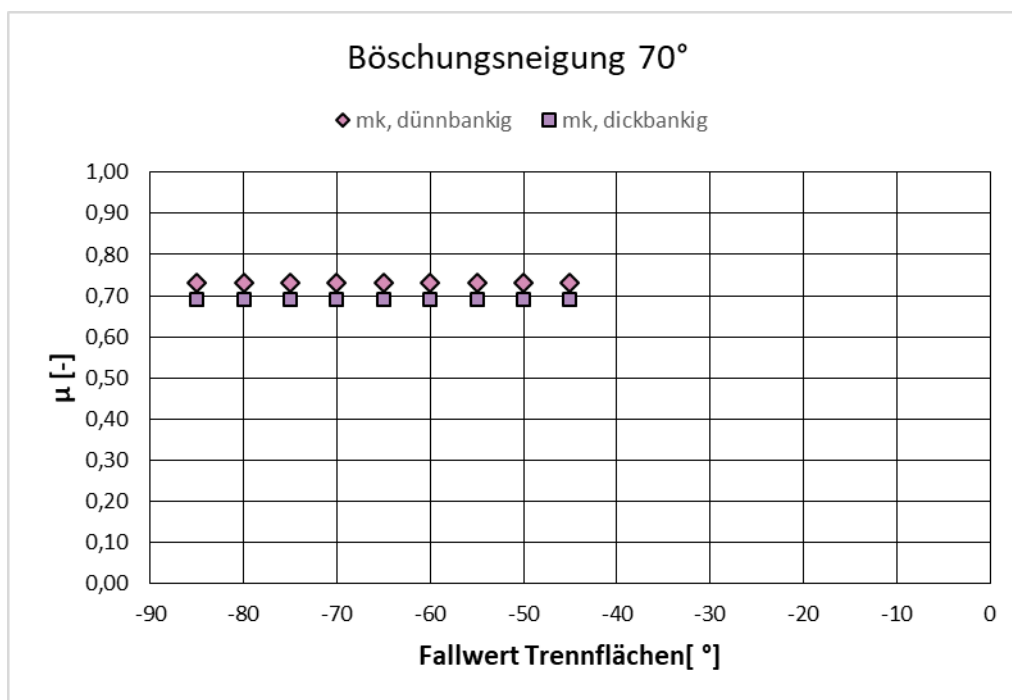


Abb. 28: Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Trennflächenorientierung bei einer Böschungsneigung von 70° im Alpinen Muschelkalk für den Endzustand der nach Norden einfallenden Böschungen.

3.4 Betrachtung der Standsicherheit des Gleitkeils im Wettersteinkalk

Wie in Kap. 2.4.3 und [U 5] beschrieben, befindet sich am oberen Perimeter des Untersuchungsgebiets ein Gleitkeil im Wettersteinkalk. Der Gleitkeil wird auf einer Seite von einer Störung mit der Orientierung 222/50 und auf der anderen Seite von einer Großkluft mit der Orientierung 020/60 begrenzt. Das Verschneidungslinial der beiden Flächen fällt mit etwa 15° in Richtung Nordwesten (299°) ein.



Abb. 29: Gleitkeilbildung innerhalb des Wettersteinkalks durch die Verschneidung einer Störungsfläche mit einer Großkluft.

Rein analytisch lässt sich bereits ableiten, dass für ein Abgleiten des Gleitkörpers der Reibungswinkel auf dem Linear und damit den beiden begrenzenden Flächen geringer sein müsste als 15° - und das, ohne die Kohäsion zu berücksichtigen. Das ist für die rauen und unebenen Trennflächen im Wettersteinkalk jedoch unrealistisch. Bei den bisherigen Böschungsberechnungen wurde ein Reibungswinkel von $\varphi = 40^\circ$ und eine Kohäsion von $c = 50$ kPa angenommen.

Trotzdem wurden die Daten mit der Software SWEDGE© von Rocscience analysiert (Abb. 30) und eine Standsicherheitsanalyse durchgeführt. Rechnerisch ist der Gleitkeil selbst bei etwas ungünstiger gewählten Scherparametern als bei den Böschungsberechnungen ($\varphi = 35^\circ$; $c = 0$ kPa) bei einem Standsicherheitsbeiwert (*factor of safety*) von 4,36 rechnerisch deutlich stabil.

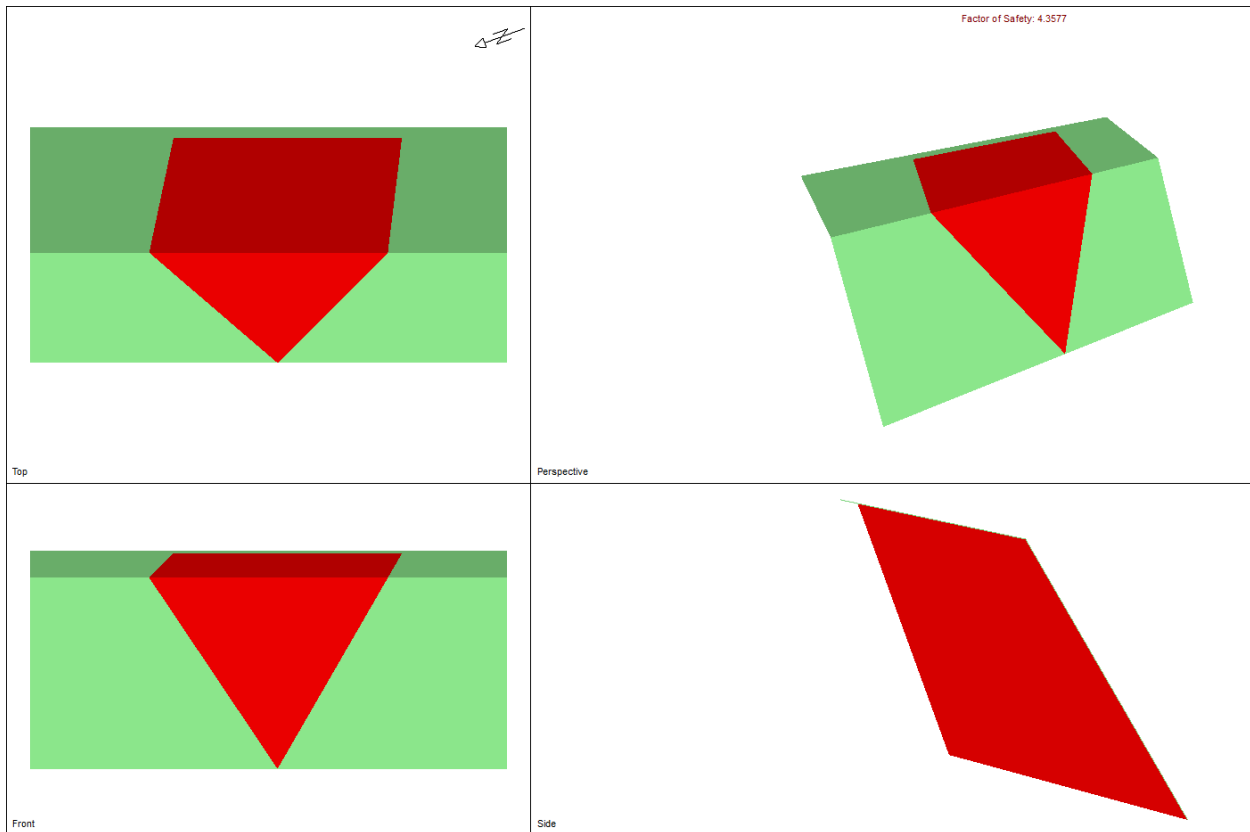


Abb. 30: Darstellung eines Gleitkeils im Wettersteinkalk am oberen (östlichen) Abbaurand mit SWEDGE© Rocscience.

4 Bewertung der standsicherheitstechnischen Berechnungen

Die Standsicherheitsberechnungen wurden mit Parametern durchgeführt, die anhand einer bestehenden seit mehreren Jahren stabilen Böschung rückgerechnet wurden (vgl. Kap. 1.4.5). Es wurden je nach Bemessungssituation sowohl für den Abbaubetrieb als auch für den Endzustand entsprechende Teilsicherheiten sowie der Einfluss von Gewinnungssprengungen über die auftretenden Schwinggeschwindigkeiten berücksichtigt.

Die berücksichtigten Schnitte (Anlage 3.1) stellen nach Auswertung aller vorliegenden Informationen den Regelfall dar. Durch eine ausführliche Variantenstudie wurde den stark wechselhaften Trennflächenorientierungen und Schichtmächtigkeiten Rechnung getragen.

Dennoch ist anzumerken, dass es unter sehr ungünstigen und zum derzeitigen Zeitpunkt nicht vorhersehbaren Bedingungen lokal dennoch zu Instabilitäten kommen kann. Dazu gehören zufällige, aber ungünstige Verschneidungen von mehreren Trennflächen mit der Böschungsgeometrie, negative Beeinflussung der Scherparameter durch lokale Wasserzutritte oder stark verringerte Gebirgsfestigkeiten im Bereich von Störungen bzw. Störungszonen.

Ein großflächiges oder mächtiges Auftreten der Partnachsichten erscheint zum derzeitigen Stand der Erkenntnisse aus der Kartierung des Steinbruchareals zwar unwahrscheinlich, kann aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Wegen der geringen Gebirgsfestigkeit der Partnachsichten würden diese die Standsicherheit der darin befindlichen Böschungen grundsätzlich negativ beeinflussen und die Böschungen müssten wesentlich flacher hergestellt werden. Ohne genaue Kenntnis ihres Auftretens lassen sich aber derzeit keine Szenarien dazu berechnen. In diesen Fällen sind Detailuntersuchungen durchzuführen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um eine Standsicherheit der Böschungen zu gewährleisten.

4.1 Abbaubetrieb

Die im Kap. 3.2 gezeigten Ergebnisse zeigen, dass die im Steinbruch Überfilzen geplanten Böschungen mit 70° Böschungsneigung während des Abbaubetriebs unter Berücksichtigung der Sprengwirkung, der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) sowie unterschiedlichen Trennflächenorientierungen **rechnerisch durchwegs stabil** sind.

Wie in Abb. 18 und Abb. 21 zu erkennen, treten bei Berechnungsvarianten mit Trennflächen, die mit etwa 65° aus der Böschung heraus fallen, die höchsten Ausnutzungsgrade auf.

Auf Basis der Berechnung empfehlen wir in den Lockergesteinen des Hang- und Verwitterungsschutts die Böschungsneigung im unverritzten Gebirge von 30°-35° zu erstellen, um noch genügend Sicherheiten bei lokal ungünstiger Kornzusammensetzung oder weniger dichter Lagerung zu haben. Das Standsicherheitsverhalten ist dabei laufend zu kontrollieren.

4.2 Endzustand

Die im Kap. 3.3 gezeigten Ergebnisse zeigen, dass die im Steinbruch Überfilzen geplanten Böschungen mit 70° Böschungsneigung während des Abbaubetriebs unter Berücksichtigung der permanenten Bemessungssituation (BS-P) sowie unterschiedlichen Trennflächenorientierungen **rechnerisch durchwegs stabil** sind.

Wie in Abb. 25 und Abb. 27 zu erkennen, treten bei Berechnungsvarianten mit Trennflächen, die mit etwa 65° aus der Böschung heraus fallen die höchsten Ausnutzungsgrade auf.

Sollten die Böschungen über eine längere Zeit offen stehen, wäre mit Nachfall durch Steinschlag insbesondere durch Kippen oder Gleiten von Kluftkörpern aus der Böschung zu rechnen. Diese können durch lokal rasch wechselndes Einfallen von Schicht- und/oder Klufflächen entstehen, wobei es zu lokal ungünstigen Verschneidungen kommen kann.

Für die Gestaltung von permanenten Böschungen insbesondere entlang von Fahrstraßen wird daher empfohlen, die Böschungen mit Stahlnetzen und lokalen Ankern mit Längen von ca. 4 m zu sichern.

4.3 Spezialfall Gleitkeil

Der Gleitkeil, der sich im Wettersteinkalk gebildet hat, wurde unter Berücksichtigung seiner Trennflächenorientierungen standsicherheitstechnisch betrachtet (vgl. Kap. 3.4). Er ist als **rechnerisch stabil** einzuschätzen.

Sollten solche Gleitkeile aufgrund von lokal ungünstigen Verschneidungen von Schicht- und/oder Klufflächen entstehen, wären diese standsicherheitstechnisch zu überprüfen und dann ggfs. mit Ankern geeigneter Länge zu sichern.

4.4 Zusammenfassung

Die wichtigsten Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tab. 5 zusammengefasst. Für die unterschiedlich orientierten Böschungen wurden die Ausnutzungsgrade für den Abbaubetrieb und den Endzustand für jeweils drei Trennflächenorientierungen angegeben. Die gelbe Markierung stellt dabei den ungünstigsten Fall für einen Ausnutzungsgrad von $\mu > 0,95$, d.h. einem Standsicherheitsbeiwert von 1,05 dar.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Kohäsion und der Reibungswinkel konservativ aus den vorhandenen Böschungen rückgerechnet wurden. Die Sicherheit sollte daher deutlich höher sein.

Tab. 5: Ausnutzungsgrade der unterschiedlich orientierten Böschungen bei den wichtigsten Trennflächen-Einfallswerten im Abbaubetrieb und im Endzustand..

| Böschung | Gestein | Abbau Anl.-Nr. | Endzustand Anl.-Nr. | Blatt Nr. | Einfallen TF | Abbaubetrieb Ausnutzungsgrad μ | Endzustand Ausnutzungsgrad μ |
|-----------------------------------|------------------------|----------------|---------------------|-----------|--------------|------------------------------------|----------------------------------|
| fällt 70° nach Süden | Muschelkalk dünnbankig | 6.2.1 | 6.3.1 | 3 | 55° | 0,70 | 0,73 |
| | | | | 5 | 65° | 0,95 | 0,98 |
| | | | | 7 | 75° | 0,73 | 0,76 |
| | Muschelkalk dickbankig | | | 12 | 55° | 0,69 | 0,71 |
| | | | | 14 | 65° | 0,95 | 0,98 |
| | | | | 16 | 75° | 0,73 | 0,76 |
| fällt 70° nach Westen | Muschelkalk dünnbankig | 6.2.2 | 6.3.2 | 5 | -10° | 0,75 | 0,77 |
| | | | | 3 | 0° | 0,70 | 0,73 |
| | | | | 1 | 10° | 0,70 | 0,73 |
| | Muschelkalk dickbankig | | | 10 | -10° | 0,71 | 0,74 |
| | | | | 8 | 0° | 0,67 | 0,69 |
| | | | | 6 | 10° | 0,67 | 0,69 |
| fällt 70° nach Norden | Muschelkalk dünnbankig | 6.2.3 | 6.3.3 | 3 | -55° | 0,70 | 0,67 |
| | | | | 5 | -65° | 0,70 | 0,67 |
| | | | | 7 | -75° | 0,70 | 0,67 |
| | Muschelkalk dickbankig | | | 12 | -55° | 0,73 | 0,69 |
| | | | | 14 | -65° | 0,73 | 0,69 |
| | | | | 16 | -75° | 0,73 | 0,69 |
| fällt 70° in allen Orientierungen | Wettersteinkalk | 6.2.2 | 6.3.2 | 11 | 55° | 0,69 | 0,71 |
| | | | | 13 | 65° | 0,95 | 0,98 |
| | | | | 15 | 75° | 0,73 | 0,76 |

5 Hangstabilität im Umfeld der Bichler Alm

Am 14. November 2018 fand eine Begehung des Areals oberhalb des Steinbruchs Überfilzen bis zu den Felstürmen oberhalb der Bichler Alm durch Prof. Dr. Kurosch Thuro statt. Dabei wurde auf Anzeichen von großräumigen Hangbewegungen oder anderen Hanginstabilitäten geachtet, die eine negative Auswirkung auf die generelle Stabilität des Hanges haben könnte. Bei der Begehung, die bei gutem spätherbstlichen Wetter- und damit hervorragenden Sichtbedingungen stattfand, konnten keine Gefährdungspotentiale festgestellt werden, welche den Bereich oberhalb des Steinbruchs, die Bichler Alm oder die darüber befindlichen Felstürme negativ beeinflussen könnten.

Dabei ist festzustellen, dass in diesem alpinen Umfeld Steinschlag, Lawinen und andere Massenbewegungen stattfinden können, die unabhängig und unbeeinflusst vom Steinbruchbetrieb ablaufen. Eine Beeinflussung dieses Bereichs durch Sprengerschütterungen ist damit nicht nur aus analytischer Sicht sondern auch nach In-Augenscheinnahme äußerst unwahrscheinlich.

6 Empfehlungen

Wir empfehlen eine enge geologisch-geotechnische Begleitung des Abbaubetriebes, um frühzeitig auf Gegebenheiten reagieren zu können, die die Böschungstabilität negativ beeinflussen können. Bei sich gegenseitig negativ beeinflussenden Trennflächen und Wasserzutritten kann es auch bei den im Regelfall stabilen Böschungen zu Instabilitäten kommen. Eine Anpassung der Böschungsgeometrie zur Stabilisierung ist dann im Einzelfall zu überprüfen.

Sollten bei den Abbauarbeiten Partnachsichten angetroffen werden, sind diese möglichst komplett auszuräumen, da mit einem stark negativen Einfluss auf die Standsicherheit gerechnet werden muss. Ist dies aufgrund eines großflächigen Auftretens nicht möglich, muss dieser Fall eingehend untersucht und neue Berechnungen mit der auftretenden Geometrie und den Gebirgseigenschaften angestellt werden. In diesem Fall ist der geotechnische Sachverständige einzuschalten.

Da die durchgeführten schweren Rammsondierungen mit 15,5 m Tiefe nicht die Basis des Hang- und Verwitterungsschutts / Felsoberkante erreicht haben, werden zwei Erkundungsbohrungen in diesem Bereich empfohlen. Diese sollten in jedem Fall den Hang- und Verwitterungsschutt durchteufen und einige Meter in den darunter liegenden Fels reichen. Im Hang- und Verwitterungsschutt sollten SPT-Tests in regelmäßigen Abständen (z. B. alle 3-5 m) zur Charakterisierung der Lagerungsdichte durchgeführt werden.



Abb. 31: Potentiell gefährlicher Block an der Sichtschutzwand.

Im Bereich südlich der Sichtschutzwand befindet sich im oberen Teil der Böschung eine ca. 1,5 m mächtige Bank aus Alpinem Muschelkalk. Die Neigung der Schichtfläche befindet sich mit etwa 60-65° in einem kritischen Bereich (vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.3.1). Falls die Möglichkeit besteht, diesen Block erschütterungsarm und schonend zu entfernen (z. B. durch hydraulisches Keilen), sollte dies in Betracht gezogen werden. Oben auf der Sichtschutzwand weist die Neigung der Schichtflächen Werte um die 35° auf, wodurch ein umfangreiches Nachbrechen weiterer Gesteinsblöcke als unwahrscheinlich angesehen werden kann.

7 Schlussbemerkung

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis der detaillierten ingenieurgeologischen Dokumentation des Steinbruchs Überfilzen und der standsicherheitstechnischen Betrachtungen der geplanten Steinbruchböschungen während des Abbaubetriebs und im Endzustand. Die angetroffenen geotechnischen Verhältnisse werden ausführlich erläutert und sind im beigelegten Lageplan und den geotechnischen Schnitten im Detail dokumentiert. Die geotechnischen Parameter der Gesteine und Trennflächen wurden über die rückwärtige Modellierung einer bereits langjährig bestehenden Böschung berechnet. Damit wurden für verschiedene Böschungsorientierungen Standsicherheitsberechnungen durchgeführt. Die stark variierende Trennflächenneigung wurde bei den Berechnungen in umfangreichen Variantenstudien berücksichtigt.



(Klaus Keilig)
Ing.-Geol., M. Sc.
Baugeologisches Büro Bauer GmbH



(Prof. Dr. Kurosch Thuro)
Ordinarius
Lehrstuhl für Ingenieurgeologie TUM



(Dr. Judith Festl)
Ing.-Geol., M. Sc.
Baugeologisches Büro Bauer GmbH




(Dr. Peter Neumann)
Dipl.-Geo., TUM
Baugeologisches Büro Bauer GmbH

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlagenverzeichnis

| | |
|--------------|--|
| Anlage 1 | Geographischer Übersichtslageplan, M = 1 : 50.000 |
| Anlage 2 | Ingenieurgeologische Detailkartierung, M = 1 : 1.000 |
| Anlage 3 | Ingenieurgeologische Profilschnitte |
| Anlage 3.1 | Maßgebende Profilschnitte |
| Anlage 3.2 | Varianten der Profilschnitte |
| Anlage 4 | Dokumentation der Aufschlüsse |
| Anlage 4.1 | Kleinrammbohrung (KRB) |
| Anlage 4.2 | Schwere Rammsondierungen (DPH) |
| Anlage 5 | Laboruntersuchungen |
| Anlage 5.1 | Bodenmechanische Versuche |
| Anlage 6 | Standsicherheitsbetrachtungen |
| Anlage 6.1 | Rückwärtige Modellierung der Gesteins-, Trennflächen- und Gebirgsparameter |
| Anlage 6.2 | Standsicherheitsbetrachtung der geplanten abbaubetrieblichen Böschungen |
| Anlage 6.2.1 | Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.2.2 | Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.2.3 | Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.2.4 | Betrachtung der Böschungen im Hang- & Verwitterungsschutt im Abbaubetrieb |
| Anlage 6.3 | Standsicherheitsbetrachtung der Böschungen im Endzustand |
| Anlage 6.3.1 | Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen im Endzustand |
| Anlage 6.3.2 | Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen im Endzustand |
| Anlage 6.3.3 | Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen im Endzustand |

Steinbruch Überfilzen

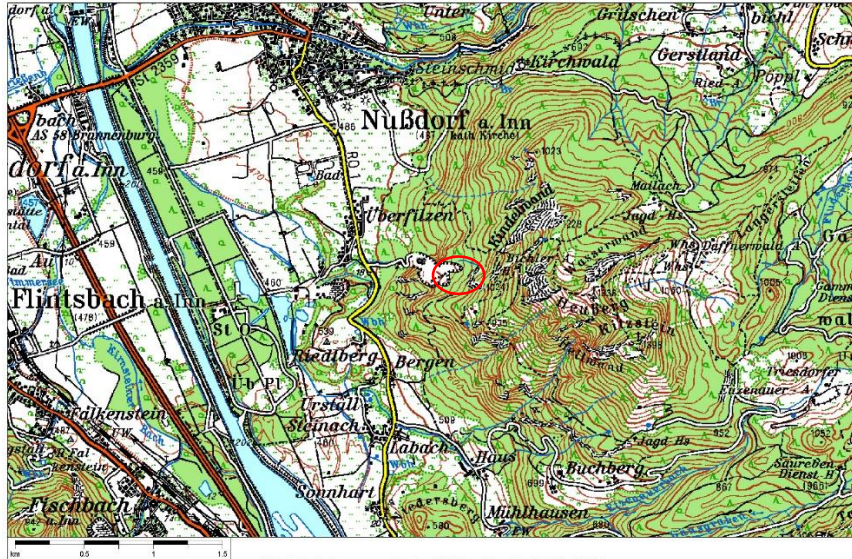
Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 1 Geographischer Übersichtslageplan,
M = 1 : 50.000

Geographischer Übersichtslageplan

Kartengrundlage: Topo 50 Bayern Süd, Herausgegeben vom bayerischen Landesvermessungsamt,

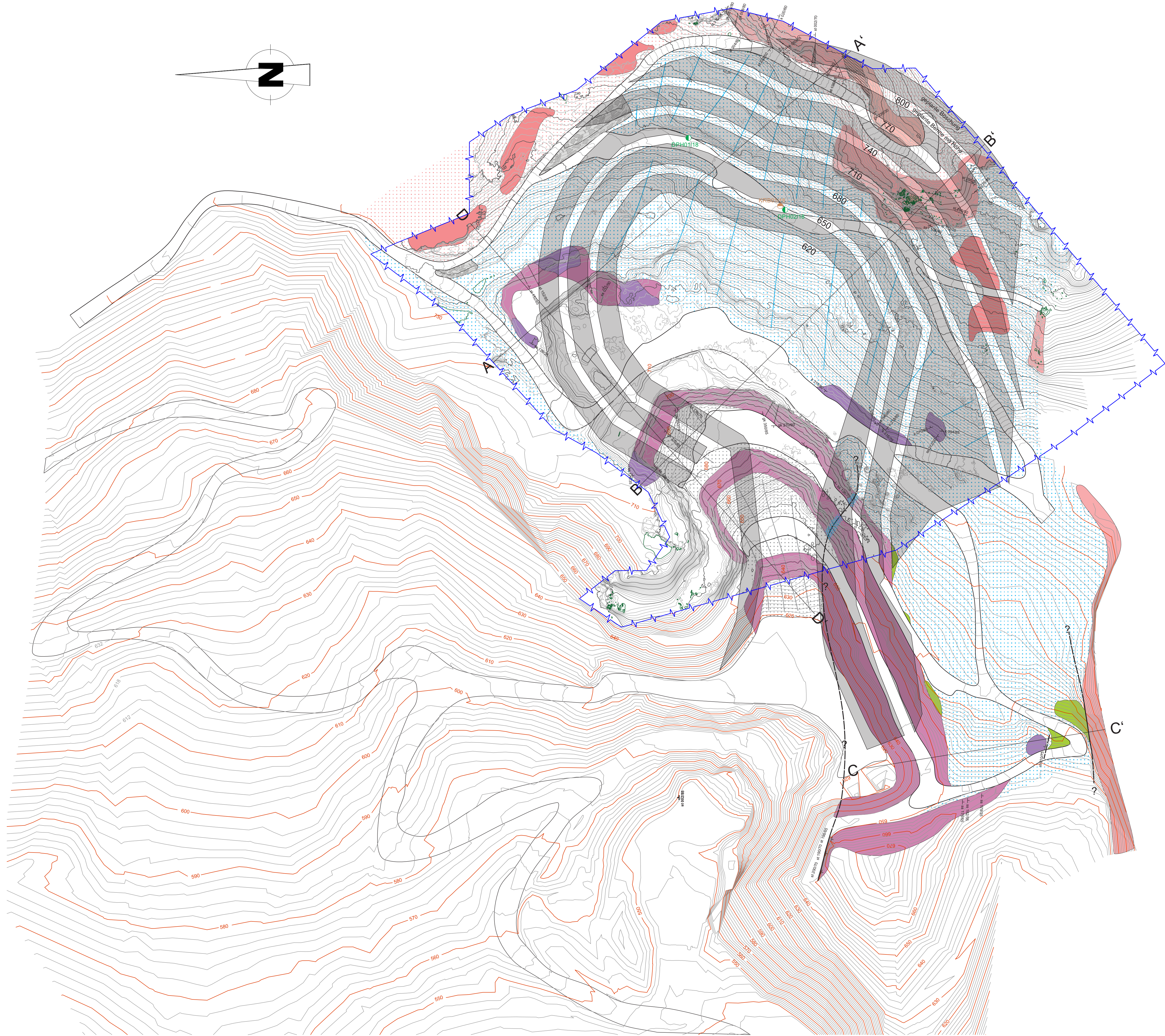
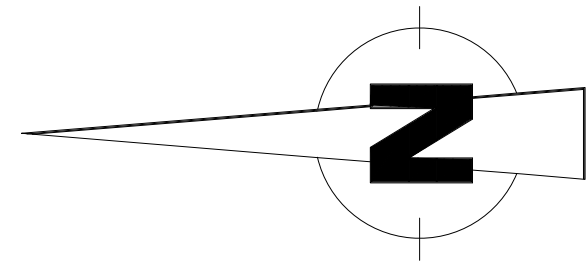
Maßstab: ca. 1 : 50.000



Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 2 Ingenieurgeologische Detailkartierung,
M = 1 : 1.000



Legende

- DPH - Schwere Rammsondierung
- KRB - Kleinrammbohrung
- Hangschutt, undifferenziert
- Hangschutt aus Wettersteinkalk
- Anthropogener Schutt
- Wettersteinkalk, gebankt
- Wettersteinkalk, massig
- Partnachschichten
- Muschelkalk, dünnbankig
- Muschelkalk, dickbankig - massig
- a) Störungslineament
b) vermutet
- Störungszone / Störungsbrechie
- Störungszone / Störungsbrechie vermasset
- ss: Schichtung
st: Störung
gk: Großkluft
k: Klüft

| | | | |
|---|--------------|------------|---------------|
| Baugewissenschaftliches Institut München Baugewissenschaftliches Institut München Dornagkstr. 1a, 80807 München, Tel.: +49(0)89-36040465 | | | |
| Projekt: Steinbruch Überfilzen | | | |
| Inhalt: Ingenieurgeologische Datilkartierung | | | |
| Blattgröße: DIN A1 | Bearbeiter: | K. Keilig | 15.11.18 |
| | geändert: | K. Keilig | 17.12.18 |
| Maßstab: 1 : 1.000 | geprüft: | T. Sattler | 20.12.18 |
| | Projekt-Nr.: | 05513 | Anlage 2 |
| | | | Blatt 1 von 1 |

Steinbruch Überfilzen

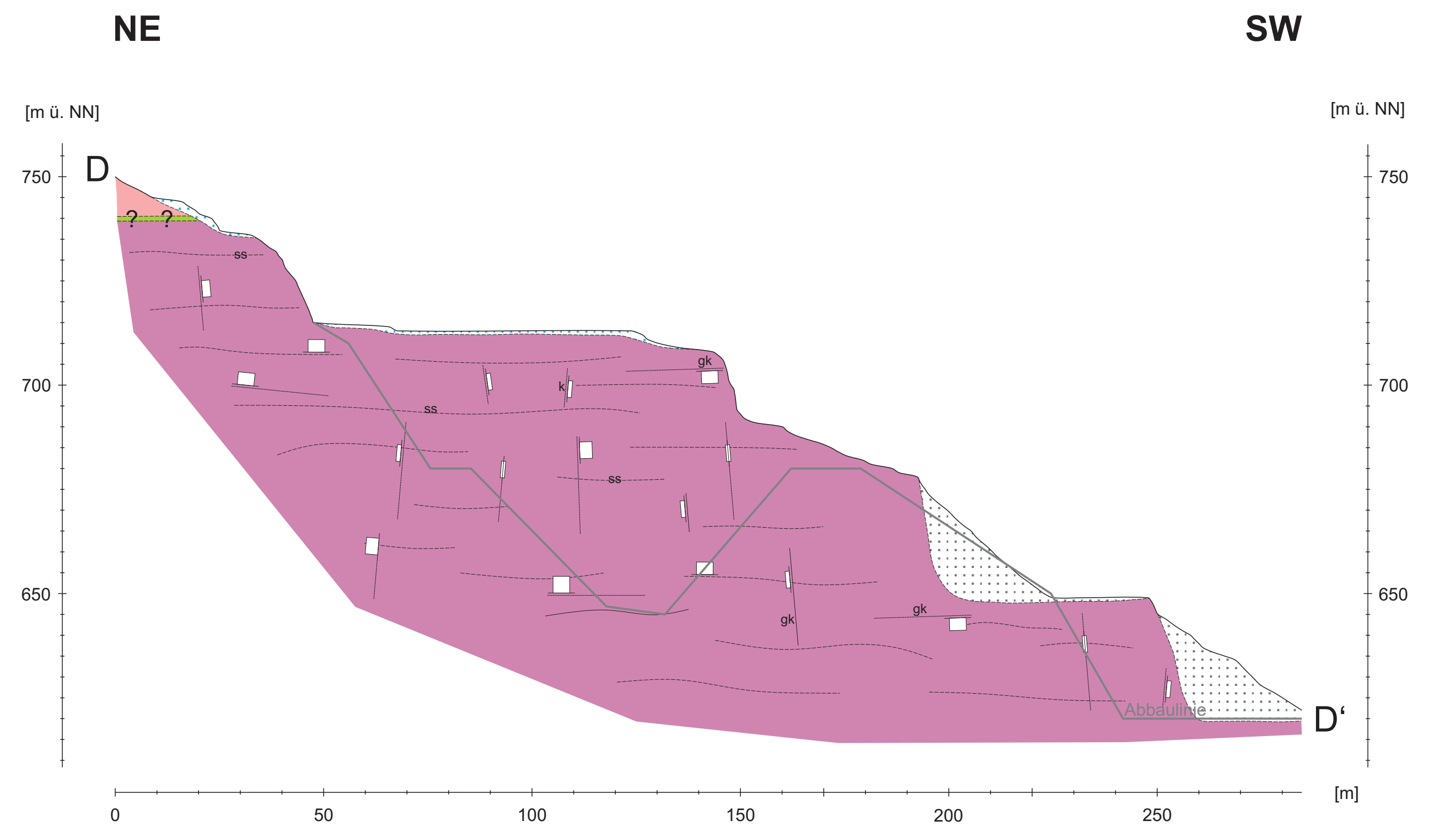
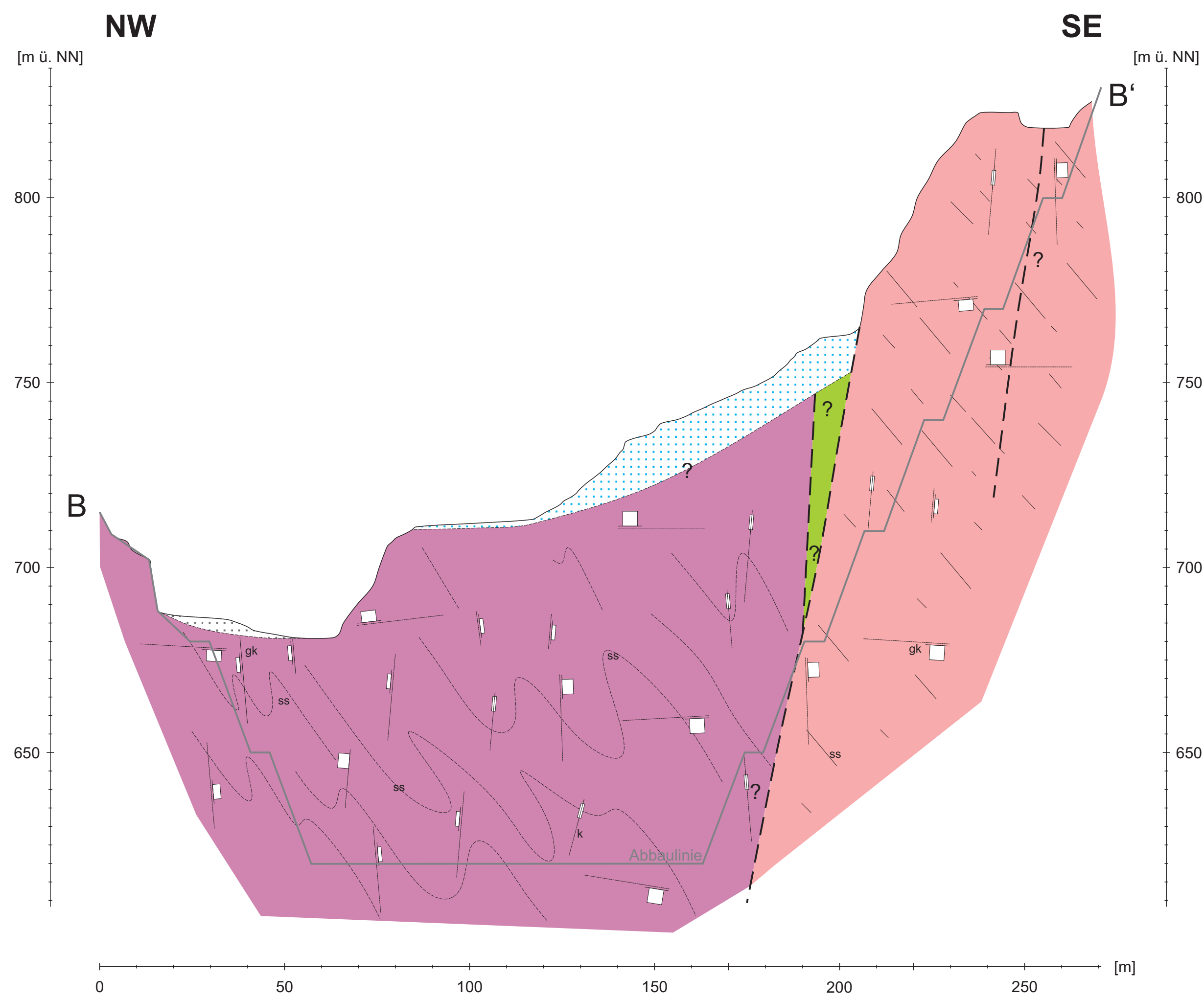
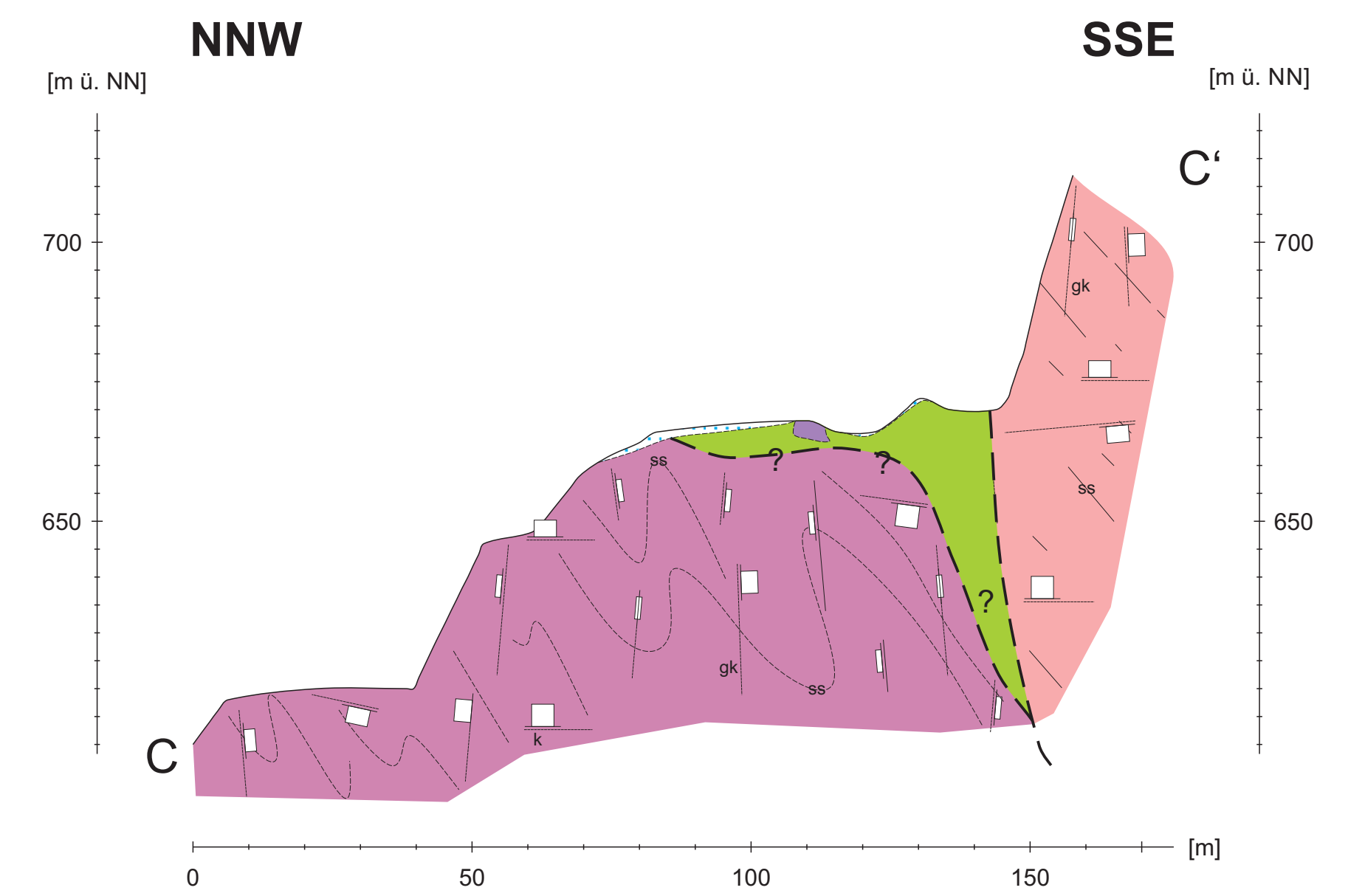
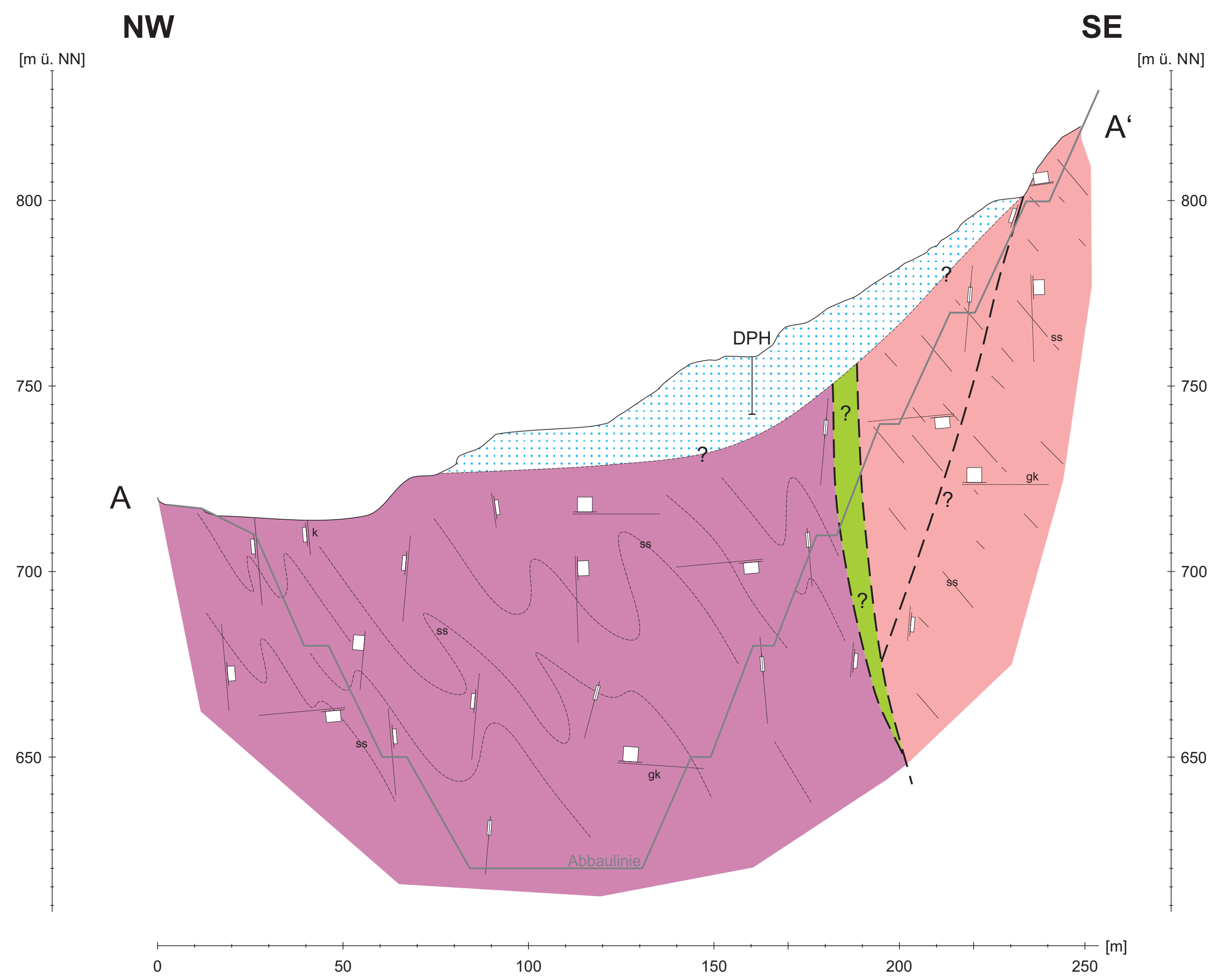
Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 3 Ingenieurgeologische Profilschnitte

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 3.1 Maßgebende Profilschnitte



Legende

- Hangschutt, undifferenziert
 - Anthropogener Schutt
 - Wettersteinkalk
 - Partnachschiefer
 - Alpinen Muschelkalk
- Müllerfähnchen**
- 90°
 - 90-60°
 - 60-30°
 - 30-0°
 - 0°

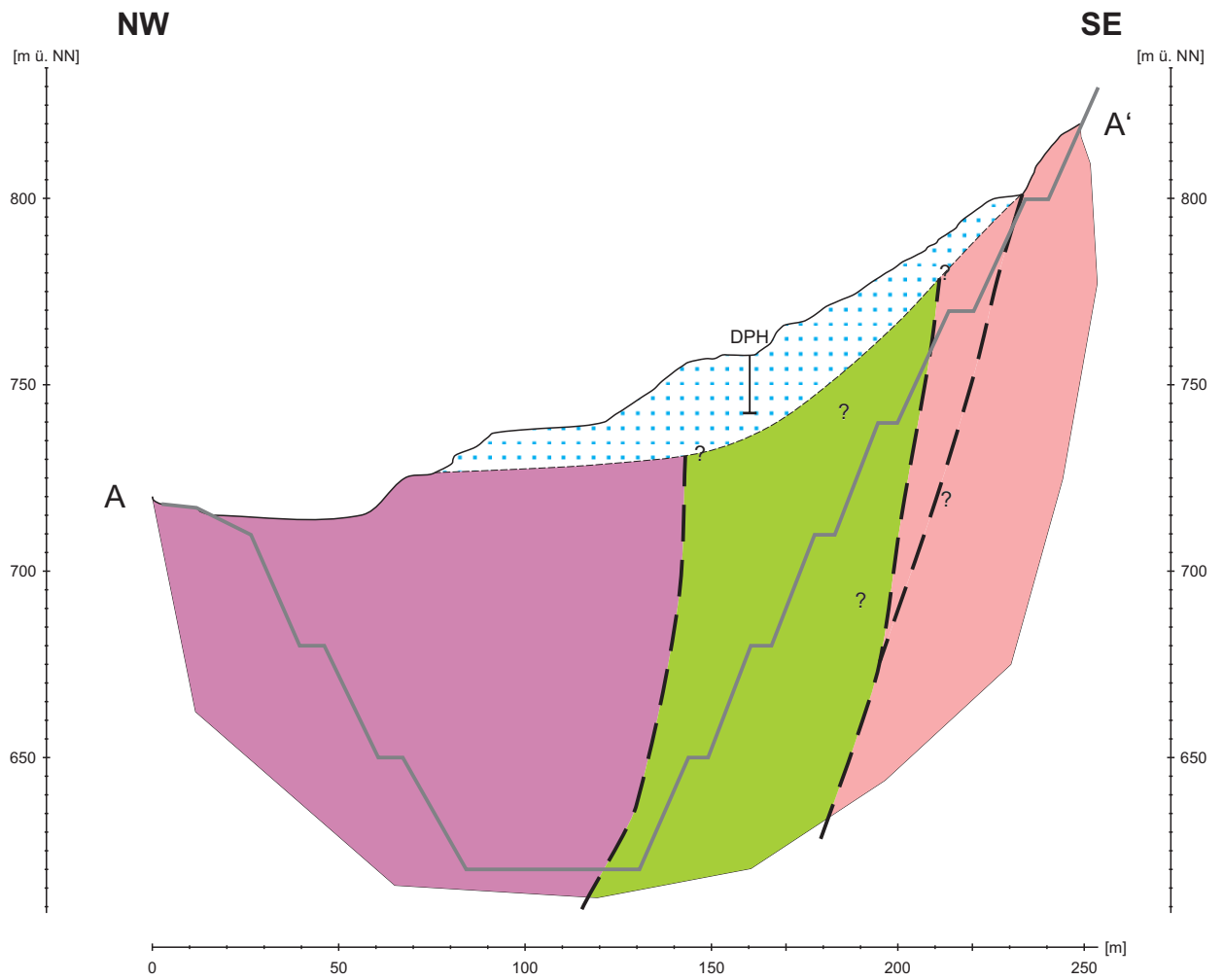
| | | | |
|---|-------------|------------|---------------|
| Baugewissenschaftliches Büro Bauer GmbH Domagkstr. 1a, 80807 München, Tel.: +49(0)89-36040465 | | | |
| Projekt: Steinbruch Überfilzen | | | |
| Inhalt: Maßgebende ingenieurgeologische Profile | | | |
| Blattgröße: | Bearbeiter: | K. Kellig | 30.11.18 |
| DIN A1 | geändert: | K. Kellig | 11.12.18 |
| Maßstab: | geprüft: | K. Kellig | 18.12.18 |
| 1 : 1.000 | | T. Sattler | 20.12.18 |
| | | | 05513 |
| | | | Anlage 3.1 |
| | | | Blatt 1 von 1 |

Steinbruch Überfilzen






Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 3.2 Varianten der Profilschnitt

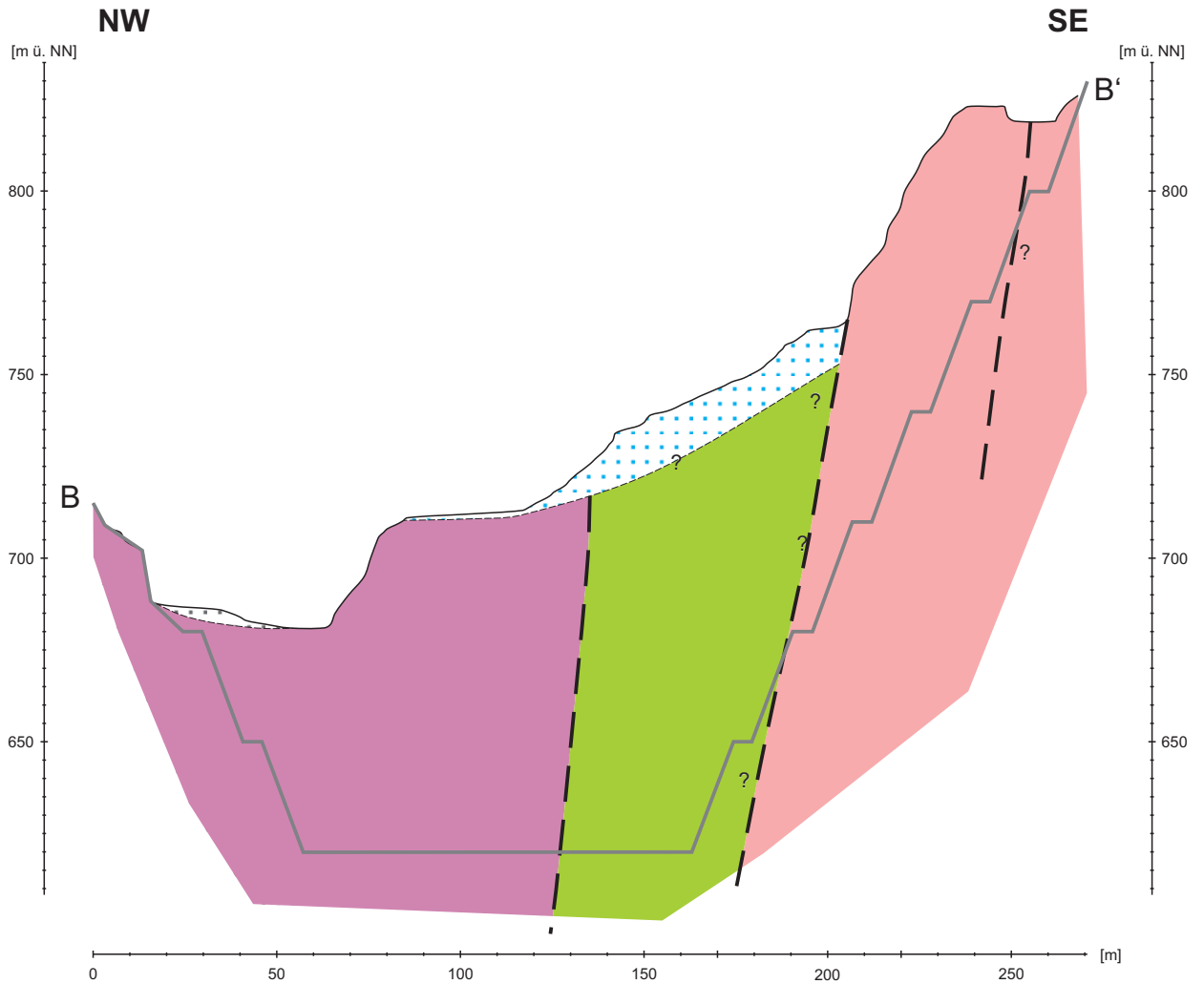
Alternativprofil A-A'








Legende

-  Hangschutt, undifferenziert
-  Anthropogener Schutt
-  Wettersteinkalk
-  Partnachsichten
-  Alpiner Muschelkalk

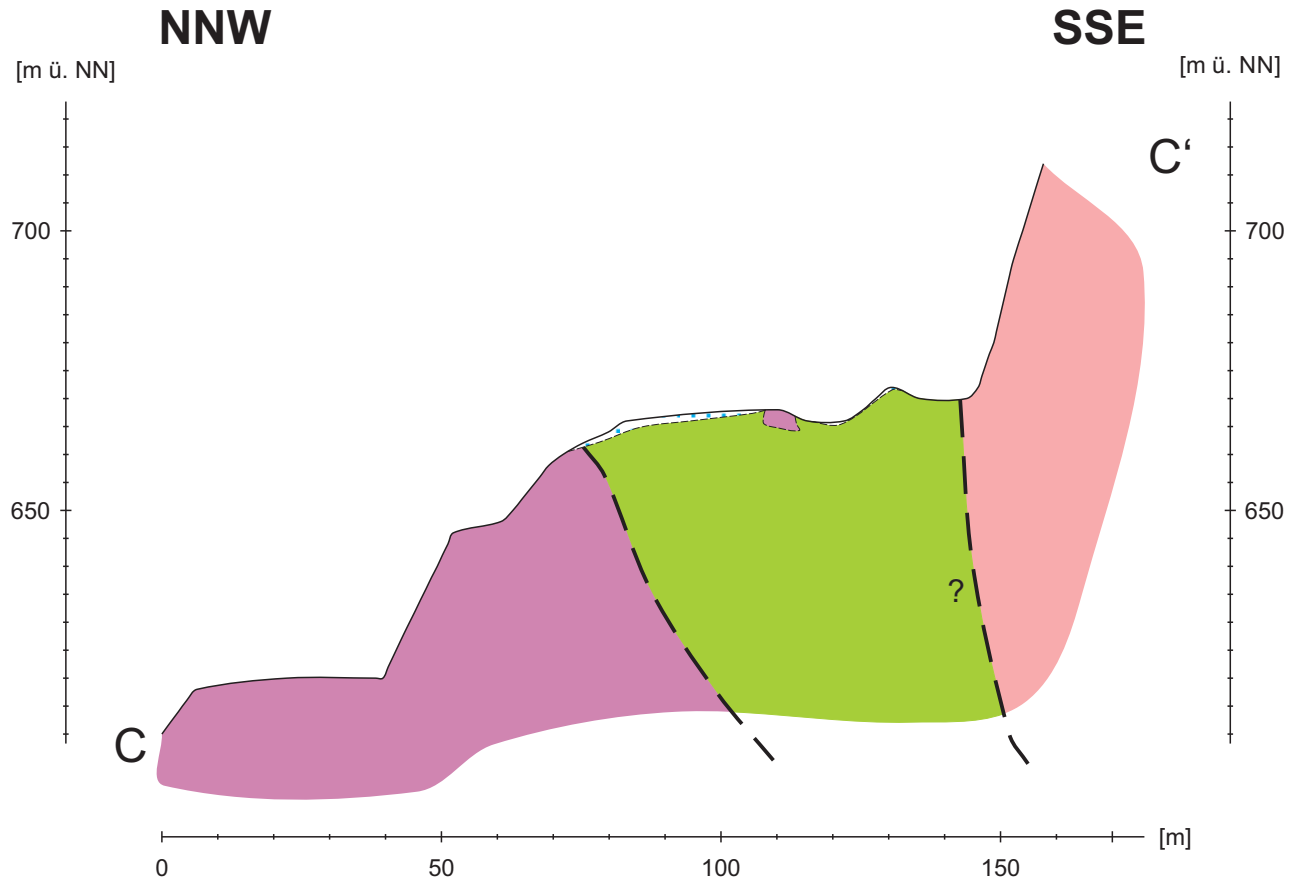
Alternativprofil B-B'








Legende

-  Hangschutt, undifferenziert
-  Anthropogener Schutt
-  Wettersteinkalk
-  Partnachsichten
-  Alpiner Muschelkalk

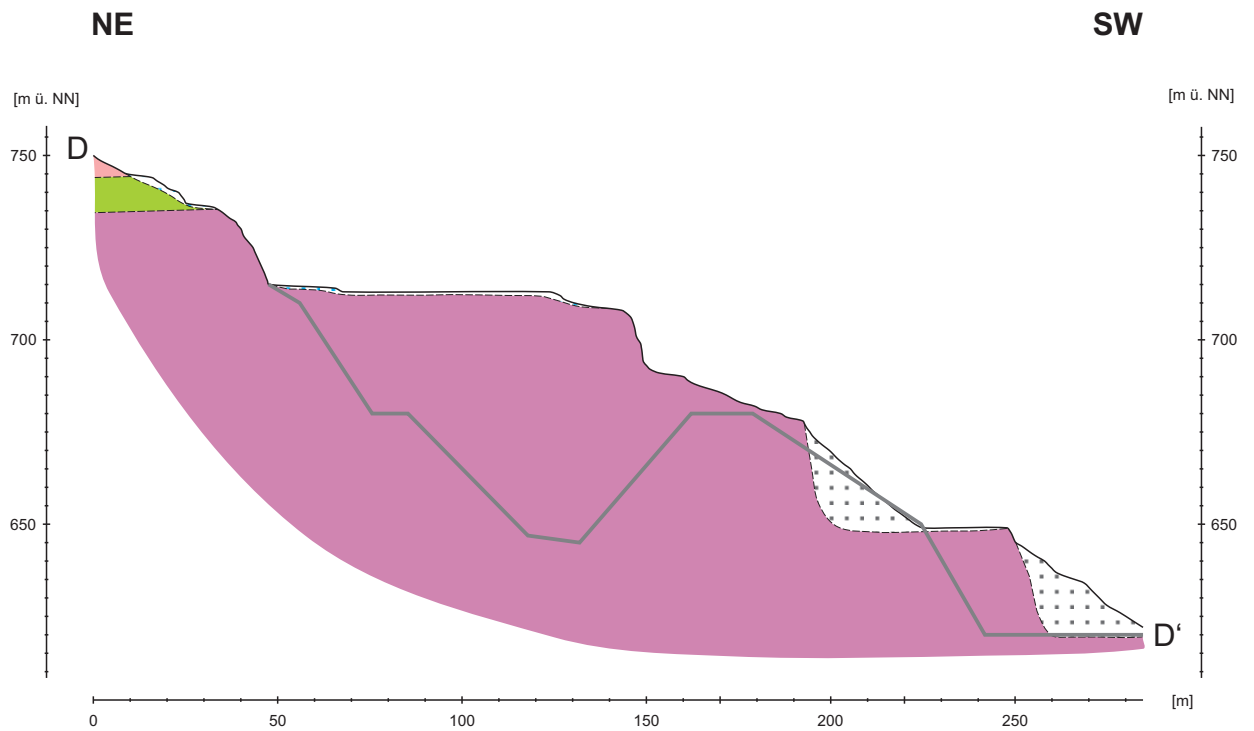
Alternativprofil C-C'








Legende

-  Hangschutt, undifferenziert
-  Anthropogener Schutt
-  Wettersteinkalk
-  Partnachsichten
-  Alpiner Muschelkalk

Alternativprofil D-D'



Legende

-  Hangschutt, undifferenziert
-  Anthropogener Schutt
-  Wettersteinkalk
-  Partnachsichten
-  Alpiner Muschelkalk

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 4 Dokumentation der Aufschlüsse

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

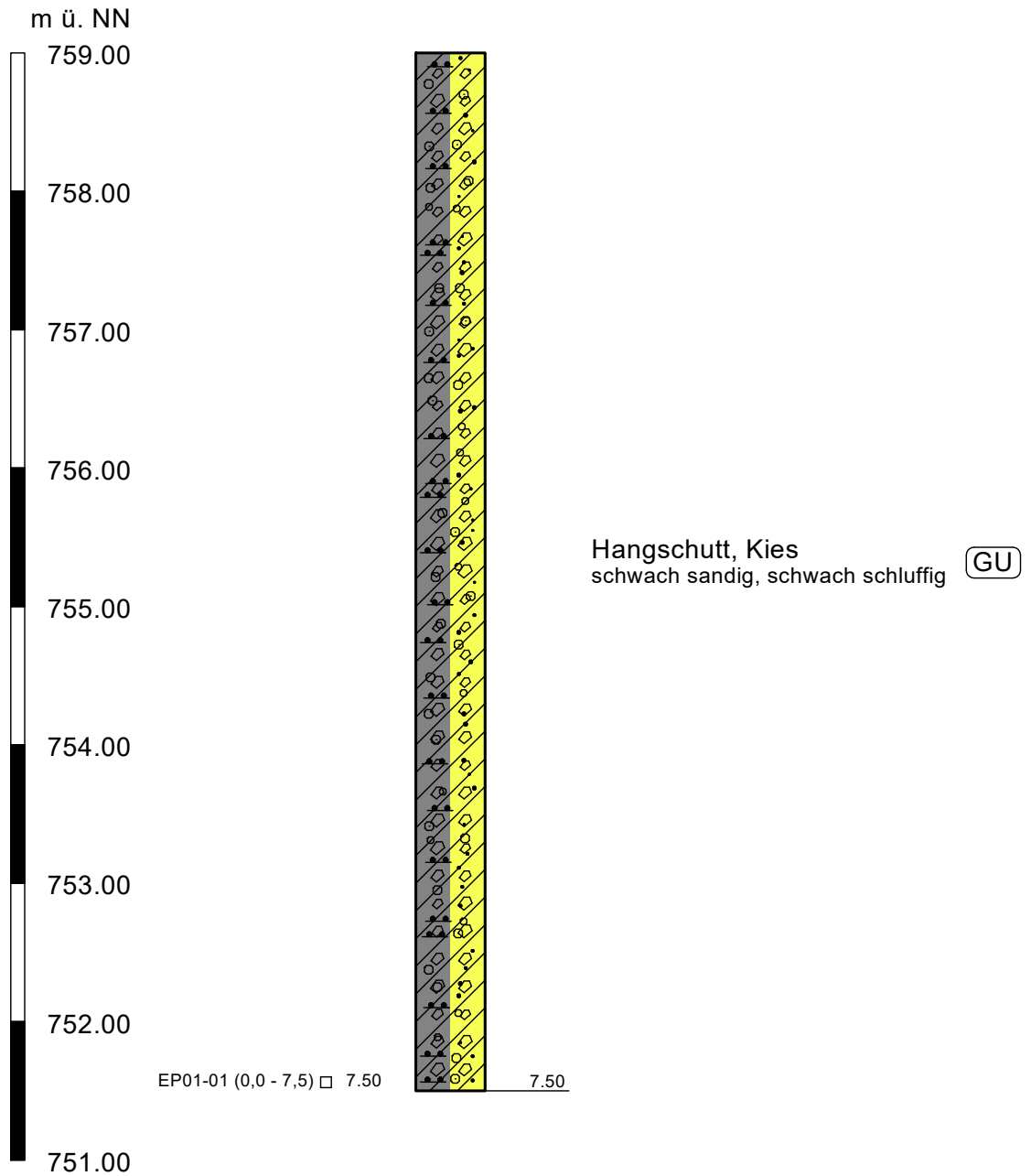
Anlage 4.1 Kleinrammbohrung (KRB)



M 1:50

KRB 01/18

759 m ü. NN



Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 4.2 Schwere Rammsondierungen (DPH)

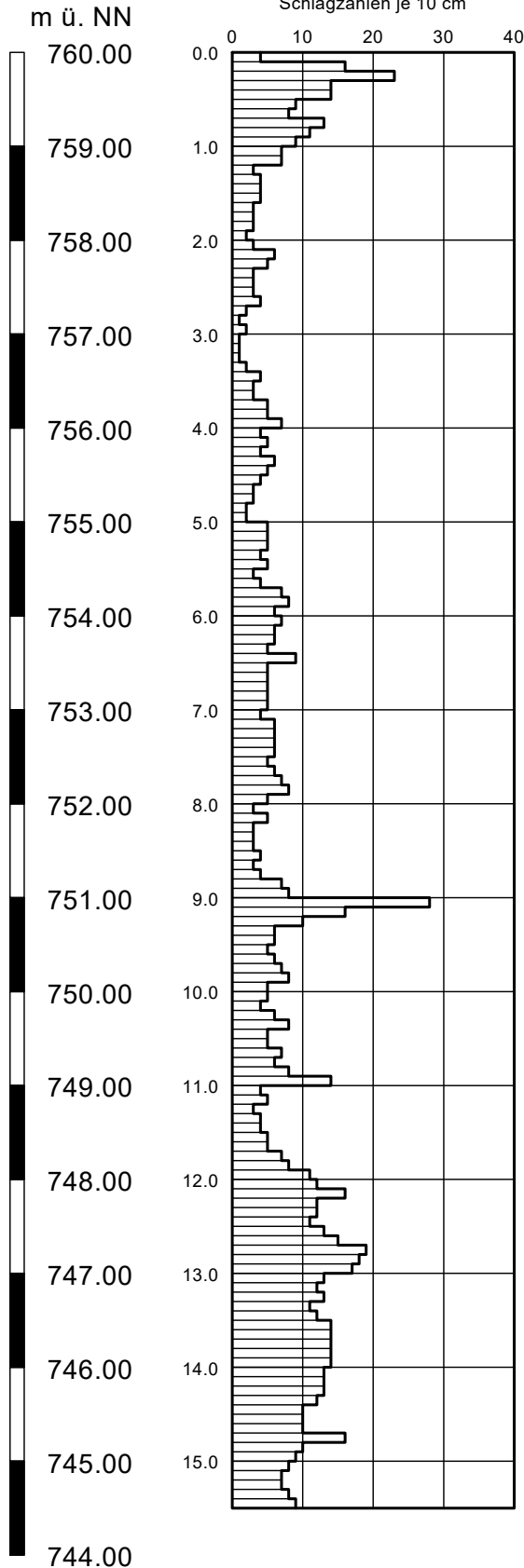


M 1:50

DPH01/18

760 m ü. NN

Schlagzahlen je 10 cm



| Tiefe [m] | N ₁₀ | Tiefe [m] | N ₁₀ | Tiefe [m] | N ₁₀ | Tiefe [m] | N ₁₀ |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| 0.10 | 4 | 5.10 | 5 | 10.10 | 5 | 15.10 | 8 |
| 0.20 | 16 | 5.20 | 5 | 10.20 | 4 | 15.20 | 7 |
| 0.30 | 23 | 5.30 | 5 | 10.30 | 6 | 15.30 | 7 |
| 0.40 | 14 | 5.40 | 4 | 10.40 | 8 | 15.40 | 8 |
| 0.50 | 14 | 5.50 | 5 | 10.50 | 5 | 15.50 | 9 |
| 0.60 | 9 | 5.60 | 3 | 10.60 | 5 | | |
| 0.70 | 8 | 5.70 | 4 | 10.70 | 7 | | |
| 0.80 | 13 | 5.80 | 7 | 10.80 | 6 | | |
| 0.90 | 11 | 5.90 | 8 | 10.90 | 8 | | |
| 1.00 | 9 | 6.00 | 6 | 11.00 | 14 | | |
| 1.10 | 7 | 6.10 | 7 | 11.10 | 4 | | |
| 1.20 | 7 | 6.20 | 6 | 11.20 | 5 | | |
| 1.30 | 3 | 6.30 | 6 | 11.30 | 3 | | |
| 1.40 | 4 | 6.40 | 5 | 11.40 | 4 | | |
| 1.50 | 4 | 6.50 | 9 | 11.50 | 4 | | |
| 1.60 | 4 | 6.60 | 5 | 11.60 | 5 | | |
| 1.70 | 3 | 6.70 | 5 | 11.70 | 5 | | |
| 1.80 | 3 | 6.80 | 5 | 11.80 | 7 | | |
| 1.90 | 3 | 6.90 | 5 | 11.90 | 8 | | |
| 2.00 | 2 | 7.00 | 5 | 12.00 | 11 | | |
| 2.10 | 3 | 7.10 | 4 | 12.10 | 12 | | |
| 2.20 | 6 | 7.20 | 6 | 12.20 | 16 | | |
| 2.30 | 5 | 7.30 | 6 | 12.30 | 12 | | |
| 2.40 | 3 | 7.40 | 6 | 12.40 | 12 | | |
| 2.50 | 3 | 7.50 | 6 | 12.50 | 11 | | |
| 2.60 | 3 | 7.60 | 5 | 12.60 | 13 | | |
| 2.70 | 4 | 7.70 | 6 | 12.70 | 15 | | |
| 2.80 | 2 | 7.80 | 7 | 12.80 | 19 | | |
| 2.90 | 1 | 7.90 | 8 | 12.90 | 18 | | |
| 3.00 | 2 | 8.00 | 5 | 13.00 | 17 | | |
| 3.10 | 1 | 8.10 | 3 | 13.10 | 13 | | |
| 3.20 | 1 | 8.20 | 5 | 13.20 | 12 | | |
| 3.30 | 1 | 8.30 | 3 | 13.30 | 13 | | |
| 3.40 | 2 | 8.40 | 3 | 13.40 | 11 | | |
| 3.50 | 4 | 8.50 | 3 | 13.50 | 12 | | |
| 3.60 | 3 | 8.60 | 4 | 13.60 | 14 | | |
| 3.70 | 3 | 8.70 | 3 | 13.70 | 14 | | |
| 3.80 | 5 | 8.80 | 4 | 13.80 | 14 | | |
| 3.90 | 5 | 8.90 | 7 | 13.90 | 14 | | |
| 4.00 | 7 | 9.00 | 8 | 14.00 | 14 | | |
| 4.10 | 4 | 9.10 | 28 | 14.10 | 13 | | |
| 4.20 | 5 | 9.20 | 16 | 14.20 | 13 | | |
| 4.30 | 4 | 9.30 | 10 | 14.30 | 13 | | |
| 4.40 | 6 | 9.40 | 6 | 14.40 | 12 | | |
| 4.50 | 5 | 9.50 | 6 | 14.50 | 10 | | |
| 4.60 | 4 | 9.60 | 5 | 14.60 | 10 | | |
| 4.70 | 3 | 9.70 | 6 | 14.70 | 10 | | |
| 4.80 | 3 | 9.80 | 7 | 14.80 | 16 | | |
| 4.90 | 2 | 9.90 | 8 | 14.90 | 10 | | |
| 5.00 | 2 | 10.00 | 5 | 15.00 | 9 | | |



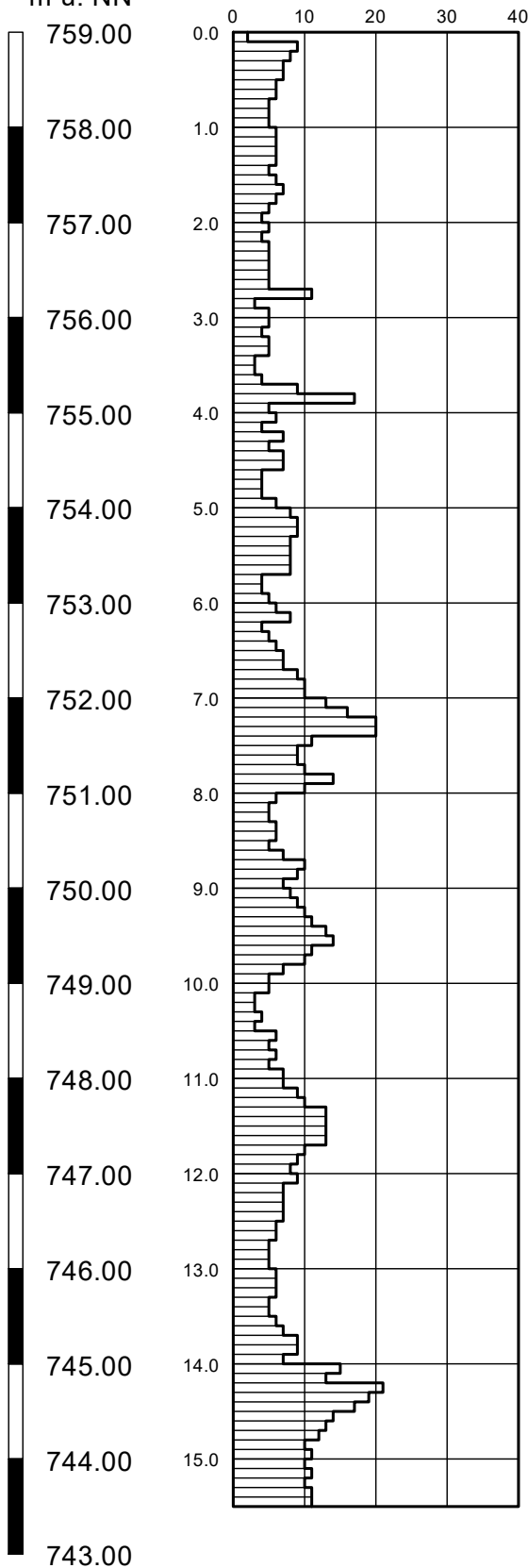
M 1:50

DPH02/18

759 m ü. NN

m ü. NN

Schlagzahlen je 10 cm



| Tiefe [m] | N ₁₀ | Tiefe [m] | N ₁₀ | Tiefe [m] | N ₁₀ | Tiefe [m] | N ₁₀ |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| 0.10 | 2 | 5.10 | 8 | 10.10 | 5 | 15.10 | 10 |
| 0.20 | 9 | 5.20 | 9 | 10.20 | 3 | 15.20 | 11 |
| 0.30 | 8 | 5.30 | 9 | 10.30 | 3 | 15.30 | 10 |
| 0.40 | 7 | 5.40 | 8 | 10.40 | 4 | 15.40 | 11 |
| 0.50 | 7 | 5.50 | 8 | 10.50 | 3 | 15.50 | 11 |
| 0.60 | 6 | 5.60 | 8 | 10.60 | 6 | | |
| 0.70 | 6 | 5.70 | 8 | 10.70 | 5 | | |
| 0.80 | 5 | 5.80 | 4 | 10.80 | 6 | | |
| 0.90 | 5 | 5.90 | 4 | 10.90 | 5 | | |
| 1.00 | 5 | 6.00 | 5 | 11.00 | 7 | | |
| 1.10 | 6 | 6.10 | 6 | 11.10 | 7 | | |
| 1.20 | 6 | 6.20 | 8 | 11.20 | 9 | | |
| 1.30 | 6 | 6.30 | 4 | 11.30 | 10 | | |
| 1.40 | 6 | 6.40 | 5 | 11.40 | 13 | | |
| 1.50 | 5 | 6.50 | 6 | 11.50 | 13 | | |
| 1.60 | 6 | 6.60 | 7 | 11.60 | 13 | | |
| 1.70 | 7 | 6.70 | 7 | 11.70 | 13 | | |
| 1.80 | 6 | 6.80 | 9 | 11.80 | 10 | | |
| 1.90 | 5 | 6.90 | 10 | 11.90 | 9 | | |
| 2.00 | 4 | 7.00 | 10 | 12.00 | 8 | | |
| 2.10 | 5 | 7.10 | 13 | 12.10 | 9 | | |
| 2.20 | 4 | 7.20 | 16 | 12.20 | 7 | | |
| 2.30 | 5 | 7.30 | 20 | 12.30 | 7 | | |
| 2.40 | 5 | 7.40 | 20 | 12.40 | 7 | | |
| 2.50 | 5 | 7.50 | 11 | 12.50 | 7 | | |
| 2.60 | 5 | 7.60 | 9 | 12.60 | 6 | | |
| 2.70 | 5 | 7.70 | 9 | 12.70 | 6 | | |
| 2.80 | 11 | 7.80 | 10 | 12.80 | 5 | | |
| 2.90 | 3 | 7.90 | 14 | 12.90 | 5 | | |
| 3.00 | 5 | 8.00 | 10 | 13.00 | 5 | | |
| 3.10 | 5 | 8.10 | 6 | 13.10 | 6 | | |
| 3.20 | 4 | 8.20 | 5 | 13.20 | 6 | | |
| 3.30 | 5 | 8.30 | 5 | 13.30 | 6 | | |
| 3.40 | 5 | 8.40 | 6 | 13.40 | 5 | | |
| 3.50 | 3 | 8.50 | 6 | 13.50 | 5 | | |
| 3.60 | 3 | 8.60 | 5 | 13.60 | 6 | | |
| 3.70 | 4 | 8.70 | 7 | 13.70 | 7 | | |
| 3.80 | 9 | 8.80 | 10 | 13.80 | 9 | | |
| 3.90 | 17 | 8.90 | 9 | 13.90 | 9 | | |
| 4.00 | 5 | 9.00 | 7 | 14.00 | 7 | | |
| 4.10 | 6 | 9.10 | 8 | 14.10 | 15 | | |
| 4.20 | 4 | 9.20 | 9 | 14.20 | 13 | | |
| 4.30 | 7 | 9.30 | 10 | 14.30 | 21 | | |
| 4.40 | 5 | 9.40 | 11 | 14.40 | 19 | | |
| 4.50 | 7 | 9.50 | 13 | 14.50 | 17 | | |
| 4.60 | 7 | 9.60 | 14 | 14.60 | 14 | | |
| 4.70 | 4 | 9.70 | 11 | 14.70 | 13 | | |
| 4.80 | 4 | 9.80 | 10 | 14.80 | 12 | | |
| 4.90 | 4 | 9.90 | 7 | 14.90 | 10 | | |
| 5.00 | 6 | 10.00 | 5 | 15.00 | 11 | | |

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 5 Laboruntersuchungen

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 5.1 Bodenmechanische Laborversuche

| Aufschlussart (BK, SCH, KRB, etc.) | Aufschlussnummer | Probenart | Rückstell = R Zusammengefasste = Z [R/Z] | Entnahmetiefe [m] | geologische Schicht | Bodenart nach Aufnahme DIN 4023 | Bodenart Labor nach Kornverteilung DIN EN ISO 17892-4 | Bodenart Labor nach Kornverteilung DIN EN 14688-1 | Boden- gruppe nach DIN 18196 | Korngrößen (DIN EN ISO 17892-4) | | | | | durchgeführte Versuchsart [S, Sch, K] | Wasser- gehalt (DIN EN ISO 17892-1) [%] |
|---------------------------------------|------------------|-------------|--|----------------------|---------------------|---------------------------------------|---|---|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|---|
| | | | | | | | | | | Ton < 0,002 mm [%] | Schluff < 0,063 mm [%] | Sand < 2,000 mm [%] | Kies < 63,00 mm [%] | Stein/Block > 63,00 mm [%] | | |
| KRB | 01/18 | EP-01-01 | | 0,0-7,5 | Hangschutt | G, s-s* | G, s', u' | sisaGr | GU | | 7,7 | 10,8 | 81,5 | | S | 1,96 |
| SCH | HS-01 | EP-HS-01 | | 0,0 | Hangschutt | G, s-s* | G, x*, u', s' | sasicoGr | GU | | 7,5 | 7,4 | 54,6 | 30,5 | S | 2,53 |
| SCH | HS-02 | EP-HS-02 | | 0,0 | Hangschutt | G, s-s* | G, s', u' | sisaGr | GU | | 8,4 | 11,8 | 79,8 | | S | 3,56 |
| Gesamtanzahl | | 3,00 | 0,00 | | | | | | | | 0 | 0 | 3 | | 3 | 3 |



Baugeologisches
Büro Bauer GmbH
Domagkstraße 1a
80807 München

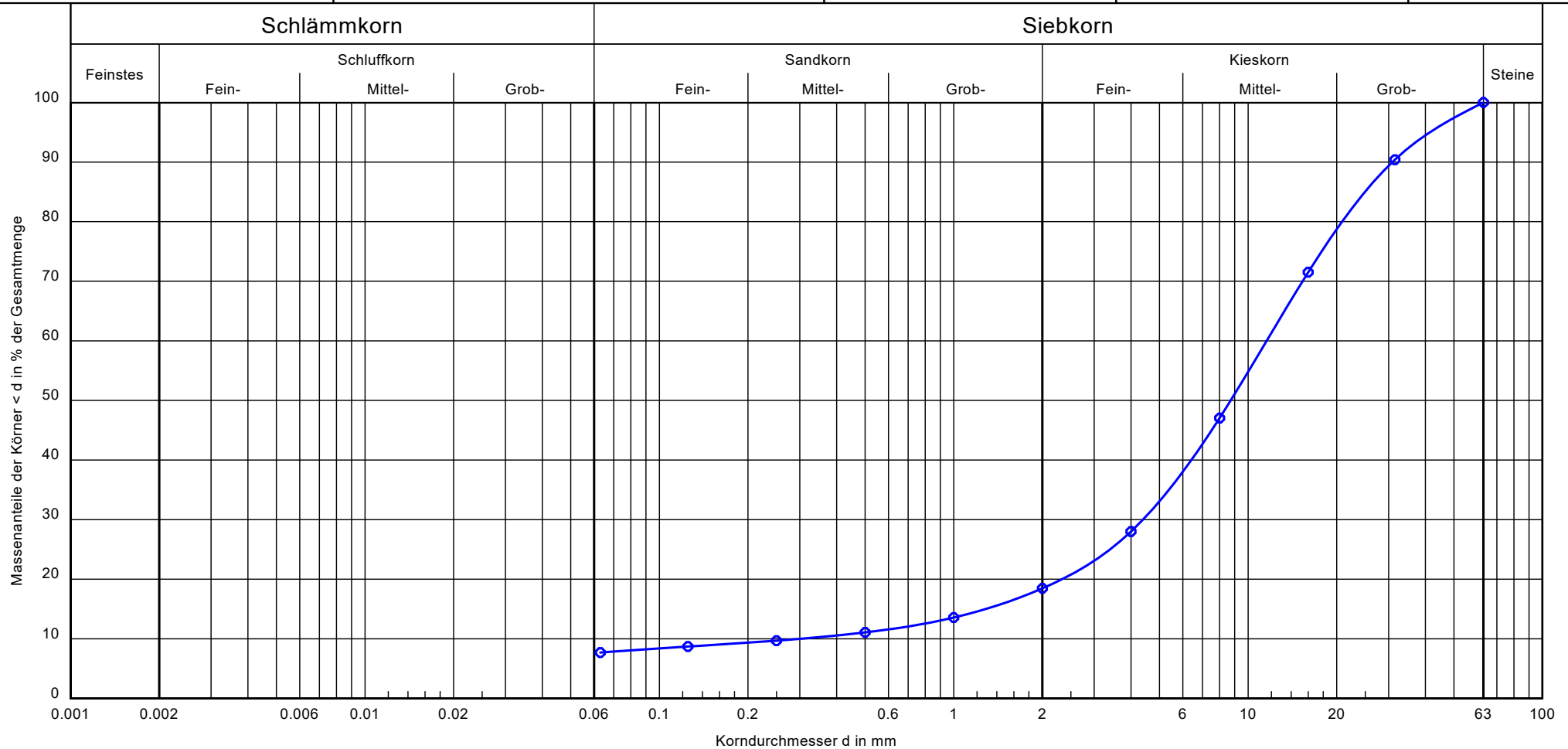
Kornverteilung

Sieb-Analyse

Probennr.: EP01-01
Entnahmedatum: 20.11.2018
Entnahmetiefe: 0,0 - 7,5
Entnahme durch: Wichert

Datum Versuch: 10.12.2018
Bearbeiter: Lachermaier

Projektnr.:
05513L



| | | |
|------------------------------|-----------------------|--------------|
| Probennr.: | EP01-01 | Bemerkungen: |
| Tiefe: | 0,0 - 7,5 m | |
| Bodenart DIN 4023: | G, s', u' | |
| Bodenart DIN EN ISO 14688-1: | sisGr | |
| Bodengruppe: | GU | |
| Kornfraktion T/U/S/G [%]: | - / 7.7 / 10.8 / 81.5 | |
| Kornfraktion X [%]: | | |
| Frostempfindlichkeitsklasse: | F2 | |
| Cu/Cc: | 38.5/5.6 | |



Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1

Probennr.: EP01-01

Entnahmedatum: 20.11.2018

Entnahmetiefe: 0,0 - 7,5 m

Entnahme durch: Wichert

Bodenart: G, s', u'

Bearbeiter: Lachermaier

Datum: 23.11.2018

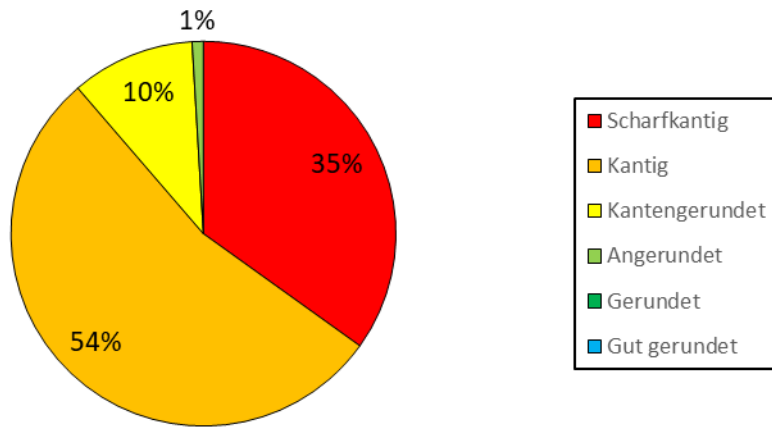
| | | | | |
|--------------------------------|---------|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | EP01-01 | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | 1325.00 | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | 1299.70 | | | |
| Behälter [g]: | 8.80 | | | |
| Porenwasser [g]: | 25.30 | | | |
| Trockene Probe [g]: | 1290.90 | | | |
| Wassergehalt [%] | 1.96 | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

Probe EP-01-01, Fraktion 16-31,5 mm





Baugeologisches
Büro Bauer GmbH
Domagkstraße 1a
80807 München

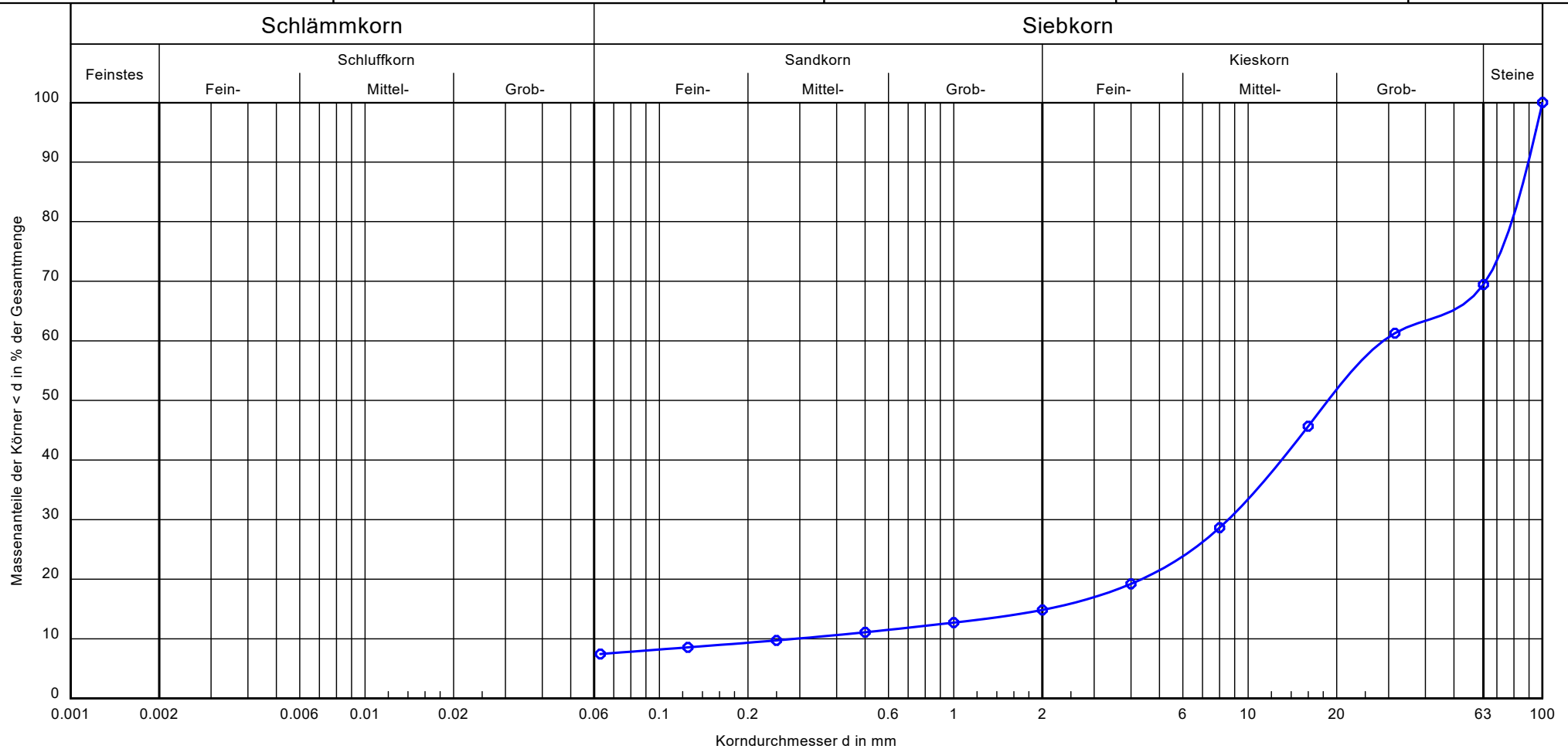
Kornverteilung

Sieb-Analyse

Probennr.: EP-HS-01
Entnahmedatum: 20.11.2018
Entnahmetiefe: -
Entnahme durch: Wichert

Datum Versuch: 10.12.2018
Bearbeiter: Lachermaier

Projektnr.:
05513L



| | | |
|------------------------------|-----------------|--------------|
| Probennr.: | EP-HS-01 | Bemerkungen: |
| Tiefe: | - | |
| Bodenart DIN 4023: | G, X, u', s' | |
| Bodenart DIN EN ISO 14688-1: | sasicoGr | |
| Bodengruppe: | GU | |
| Kornfraktion T/U/S/G [%]: | - /7.5/7.4/54.6 | |
| Kornfraktion X [%]: | | |
| Frostempfindlichkeitsklasse: | F2 | |
| Cu/Cc: | 99.6/8.8 | |



Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1

Probennr.: EP-HS-01
Entnahmedatum: 20.11.2018
Entnahmetiefe: -
Entnahme durch: Wichert
Bodenart: G, x*, s', u'

Bearbeiter: Lachermaier

Datum: 23.11.2018

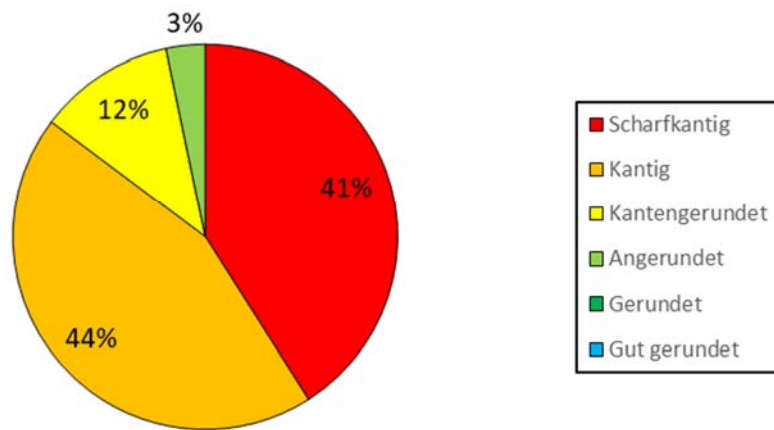
| | | | | |
|--------------------------------|----------|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | EP-HS-01 | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | 1327.10 | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | 1294.60 | | | |
| Behälter [g]: | 9.30 | | | |
| Porenwasser [g]: | 32.50 | | | |
| Trockene Probe [g]: | 1285.30 | | | |
| Wassergehalt [%] | 2.53 | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

Probe EP-HS-01, Fraktion 16-31,5 mm





Baugeologisches
Büro Bauer GmbH
Domagkstraße 1a
80807 München

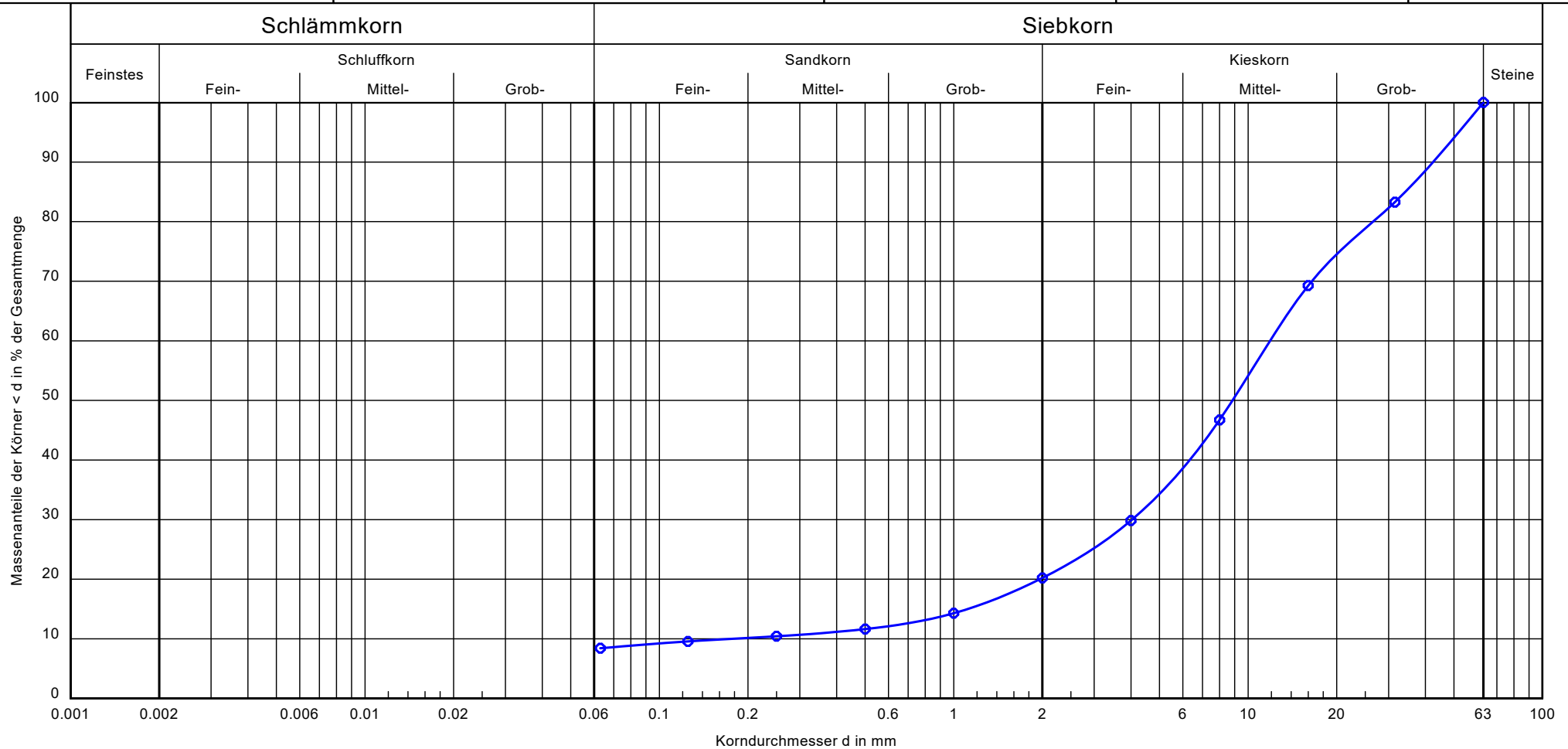
Kornverteilung

Sieb-Analyse

Probennr.: EP-HS-02
Entnahmedatum: 20.11.2018
Entnahmetiefe: -
Entnahme durch: Wichert

Datum Versuch: 10.12.2018
Bearbeiter: Lachermaier

Projektnr.:
05513L



| | | |
|------------------------------|-----------------|--------------|
| Probennr.: | EP-HS-02 | Bemerkungen: |
| Tiefe: | - | |
| Bodenart DIN 4023: | G, s', u' | |
| Bodenart DIN EN ISO 14688-1: | sisGr | |
| Bodengruppe: | GU | |
| Kornfraktion T/U/S/G [%]: | -/8.4/11.8/79.8 | |
| Kornfraktion X [%]: | | |
| Frostempfindlichkeitsklasse: | F2 | |
| Cu/Cc: | 67.6/7.8 | |



Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1

Probennr.: EP-HS-02
Entnahmedatum: 20.11.2018
Entnahmetiefe: -
Entnahme durch: Wichert
Bodenart: G, s', u'

Bearbeiter: Lachermaier

Datum: 23.11.2018

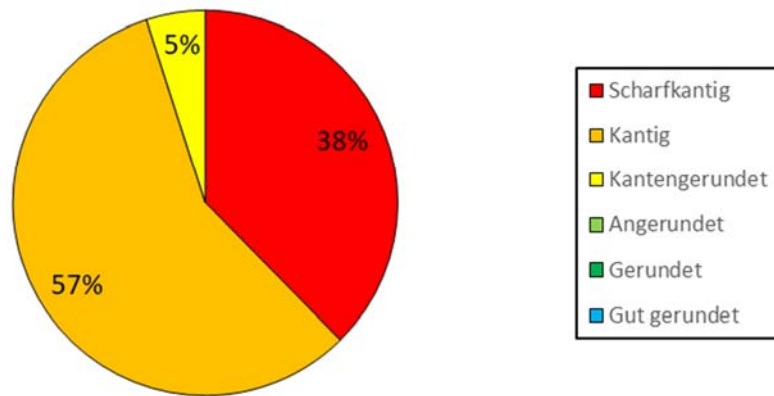
| | | | | |
|--------------------------------|----------|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | EP-HS-02 | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | 1261.30 | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | 1218.20 | | | |
| Behälter [g]: | 9.10 | | | |
| Porenwasser [g]: | 43.10 | | | |
| Trockene Probe [g]: | 1209.10 | | | |
| Wassergehalt [%] | 3.56 | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Probenbezeichnung: | | | | |
| Feuchte Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Trockene Probe + Behälter [g]: | | | | |
| Behälter [g]: | | | | |
| Porenwasser [g]: | | | | |
| Trockene Probe [g]: | | | | |
| Wassergehalt [%] | | | | |

Probe EP-HS-02, Fraktion 16-31,5 mm



Steinbruch Überfilzen

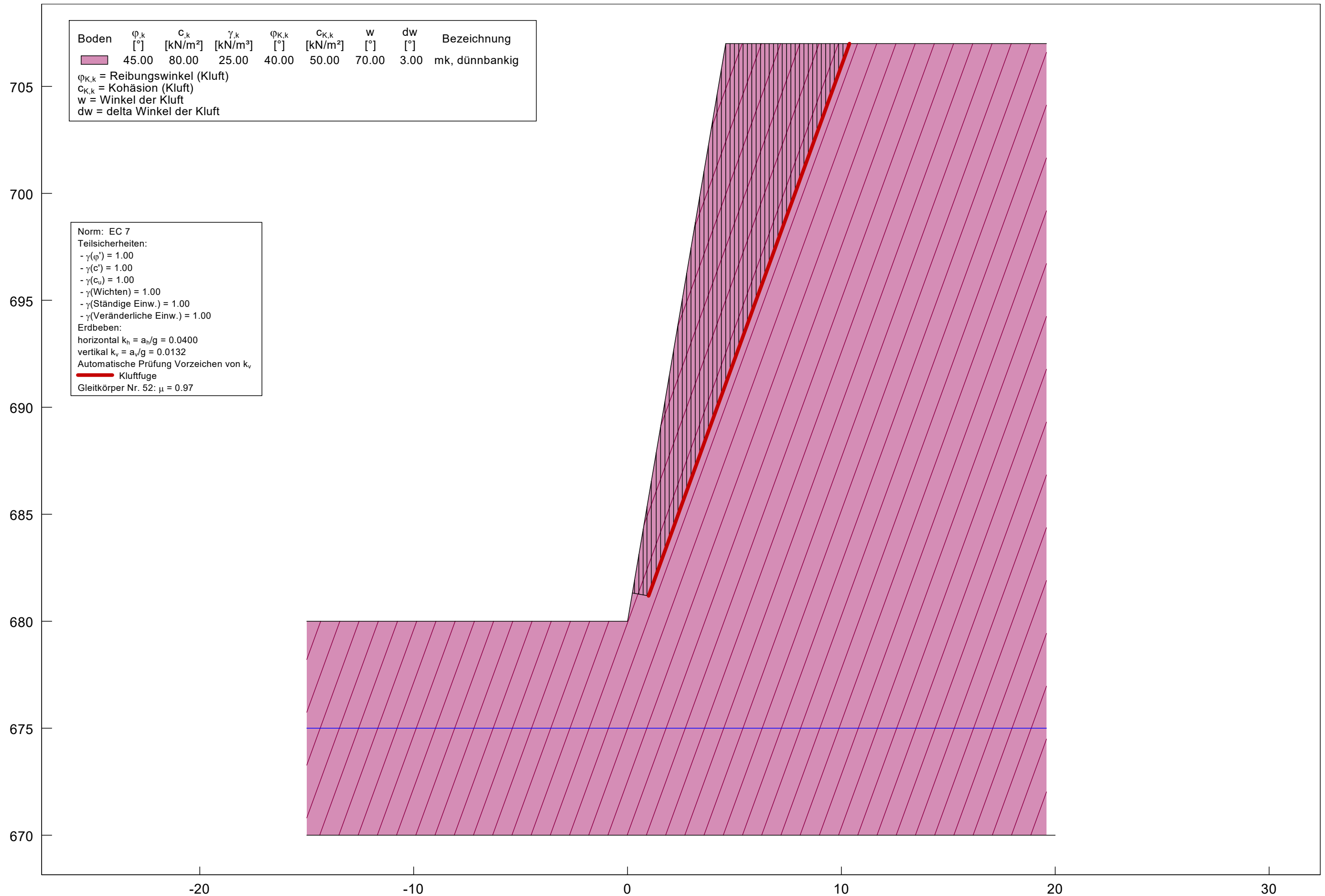
Geologisch – geotechnischer Bericht

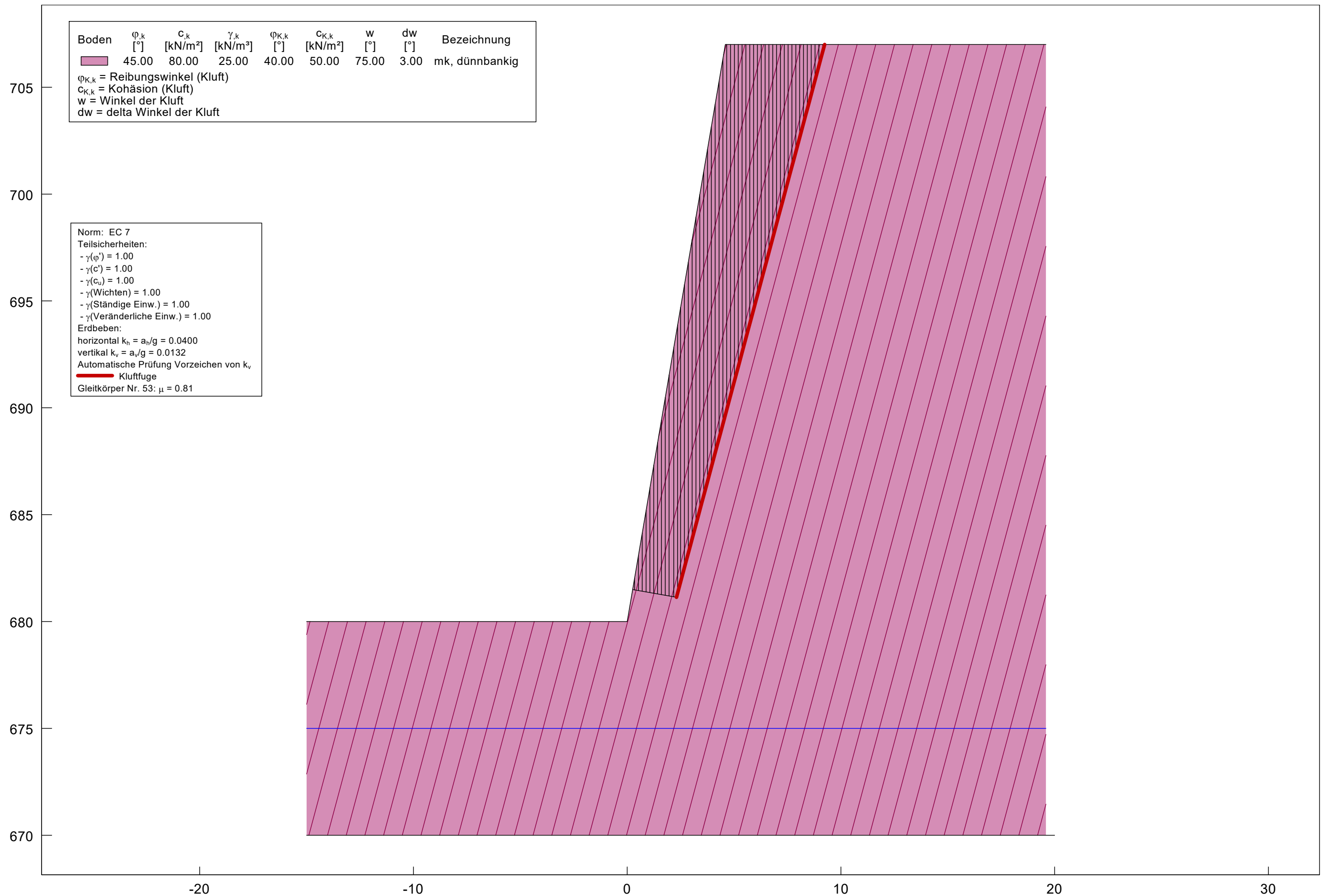
Anlage 6 Standsicherheitsbetrachtungen

Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 6.1 Rückwärtige Modellierung der Gesteins-, Trennflächen- und Gebirgsparameter





Steinbruch Überfilzen

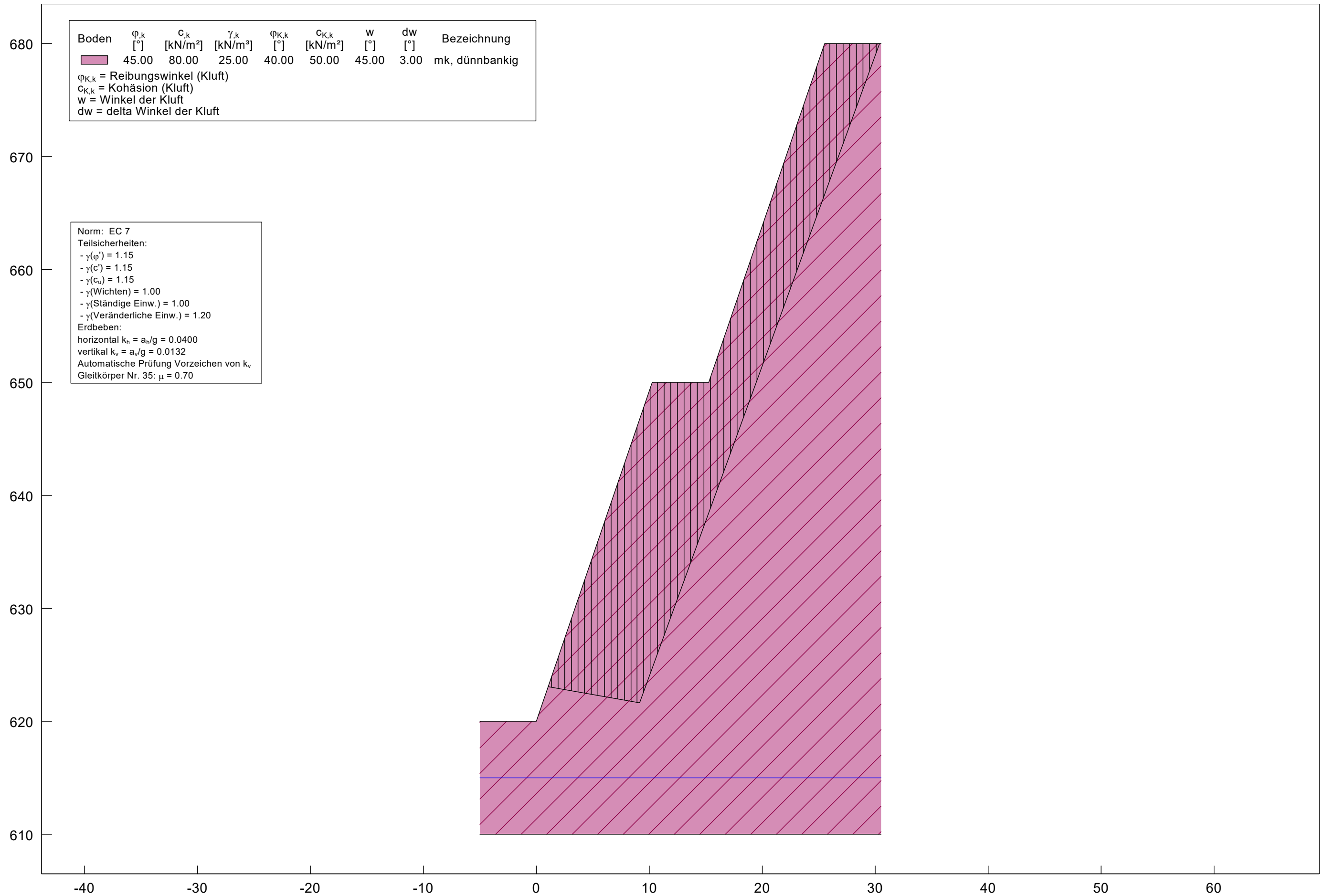
Geologisch – geotechnischer Bericht

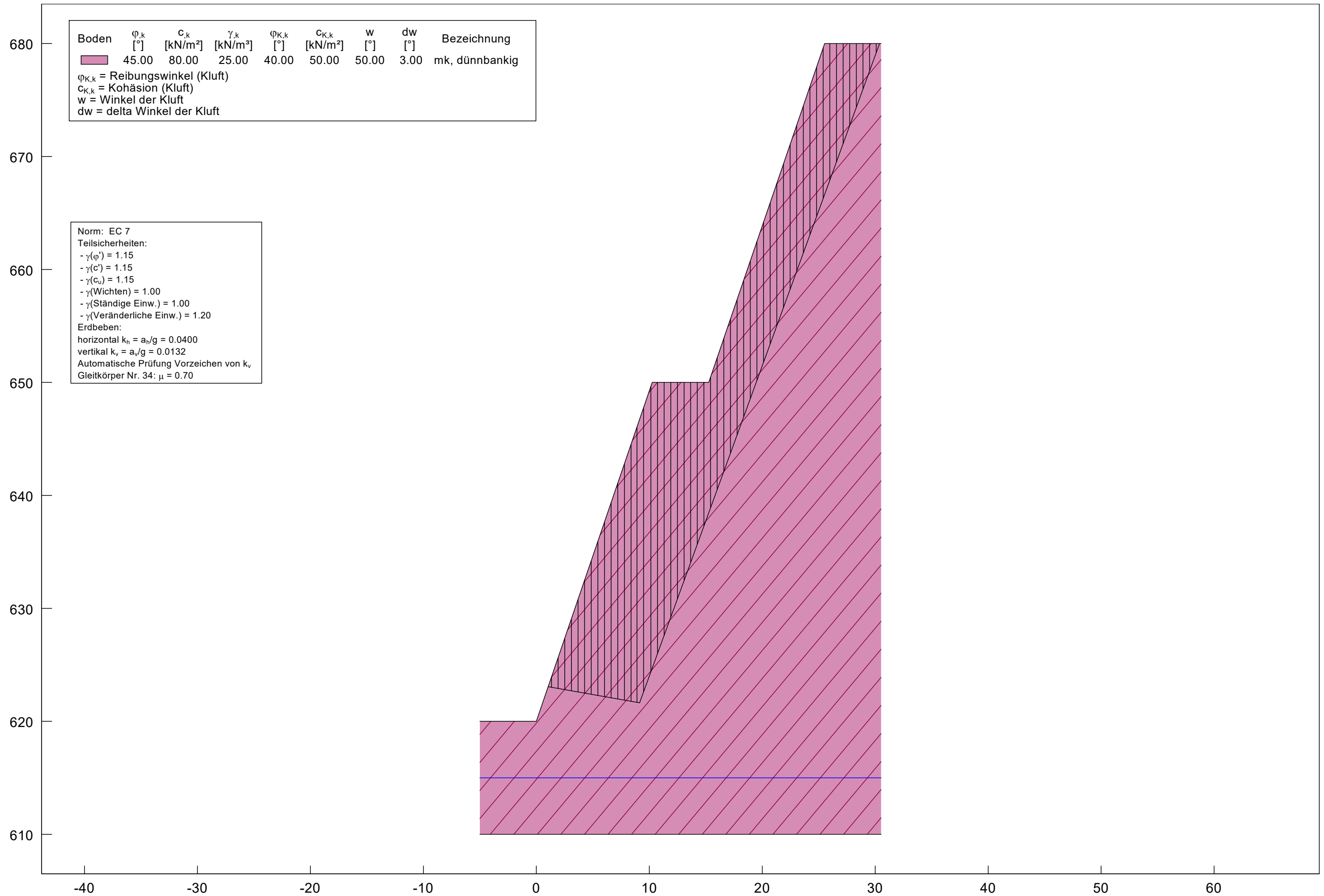
Anlage 6.2 Standsicherheitsbetrachtungen der geplanten abbaubetrieblichen Böschungen

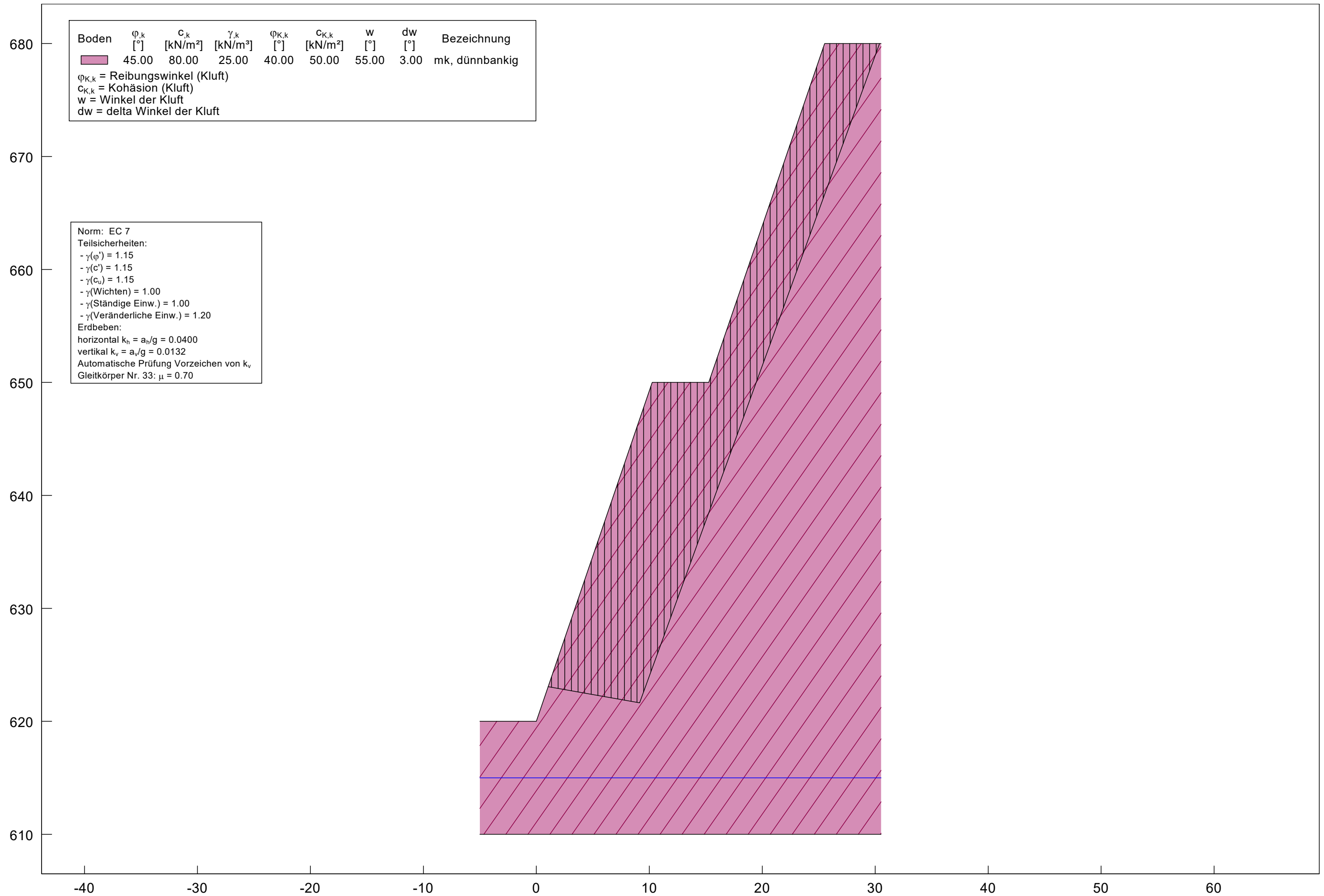
Steinbruch Überfilzen

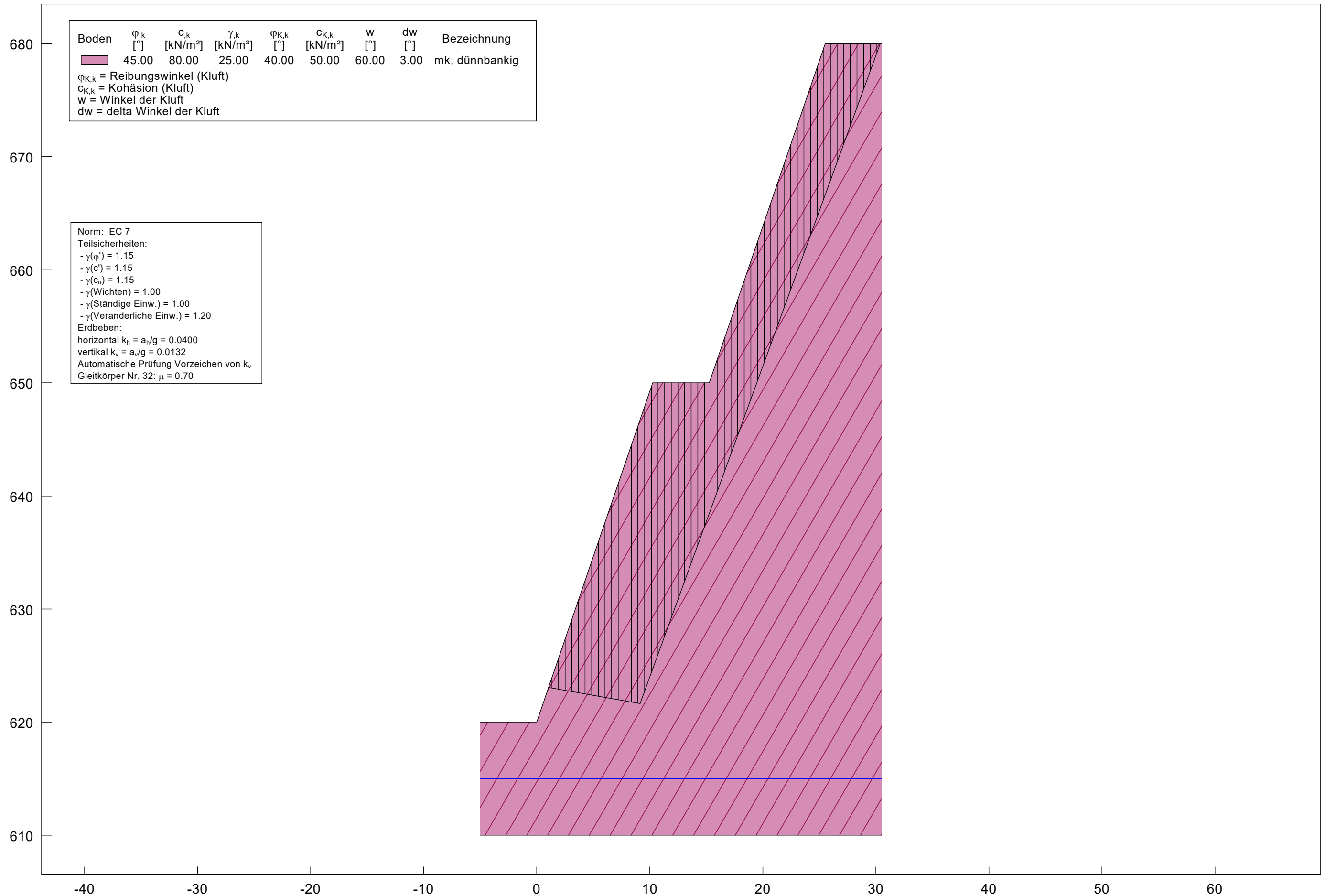
Geologisch – geotechnischer Bericht

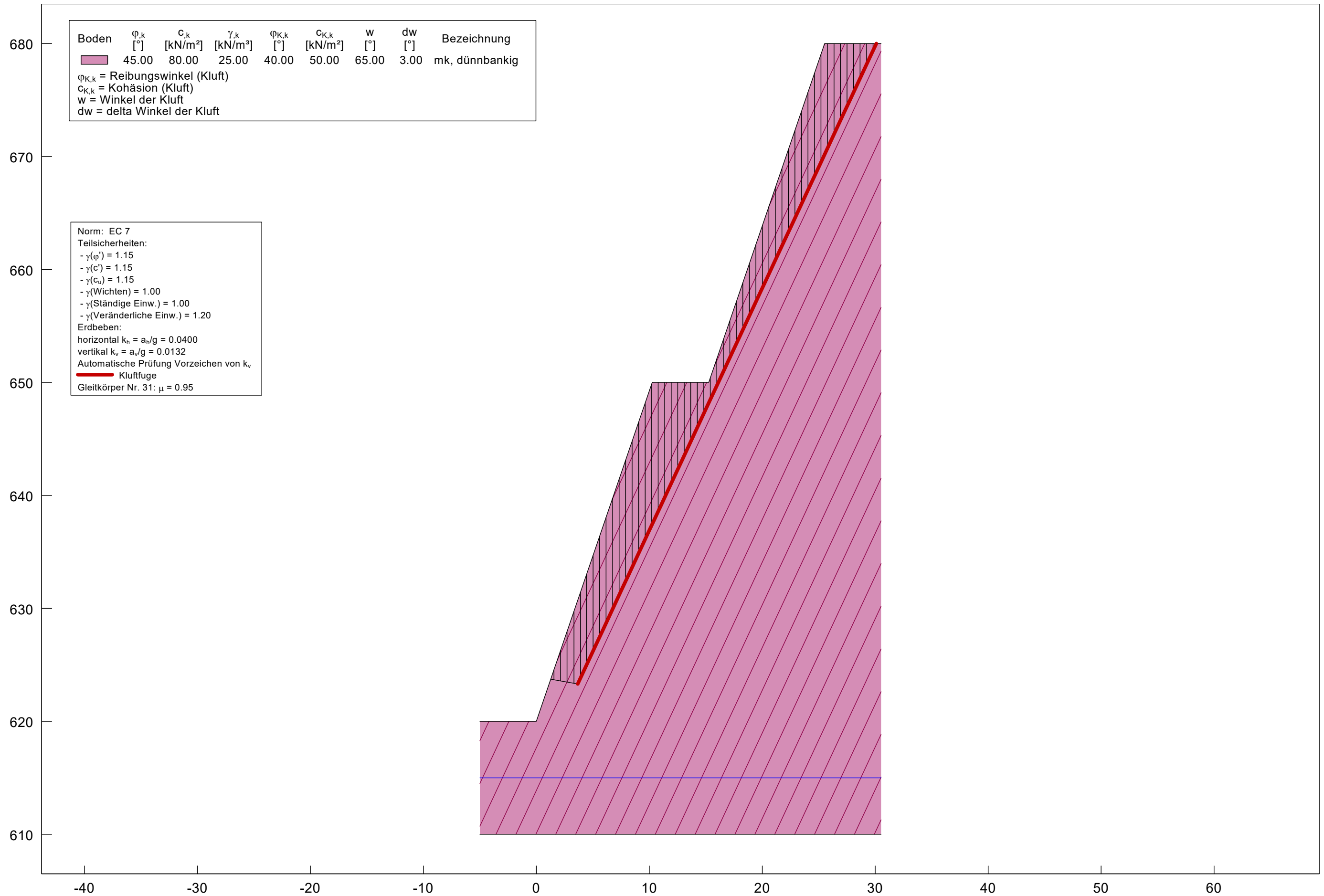
Anlage 6.2.1 Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen

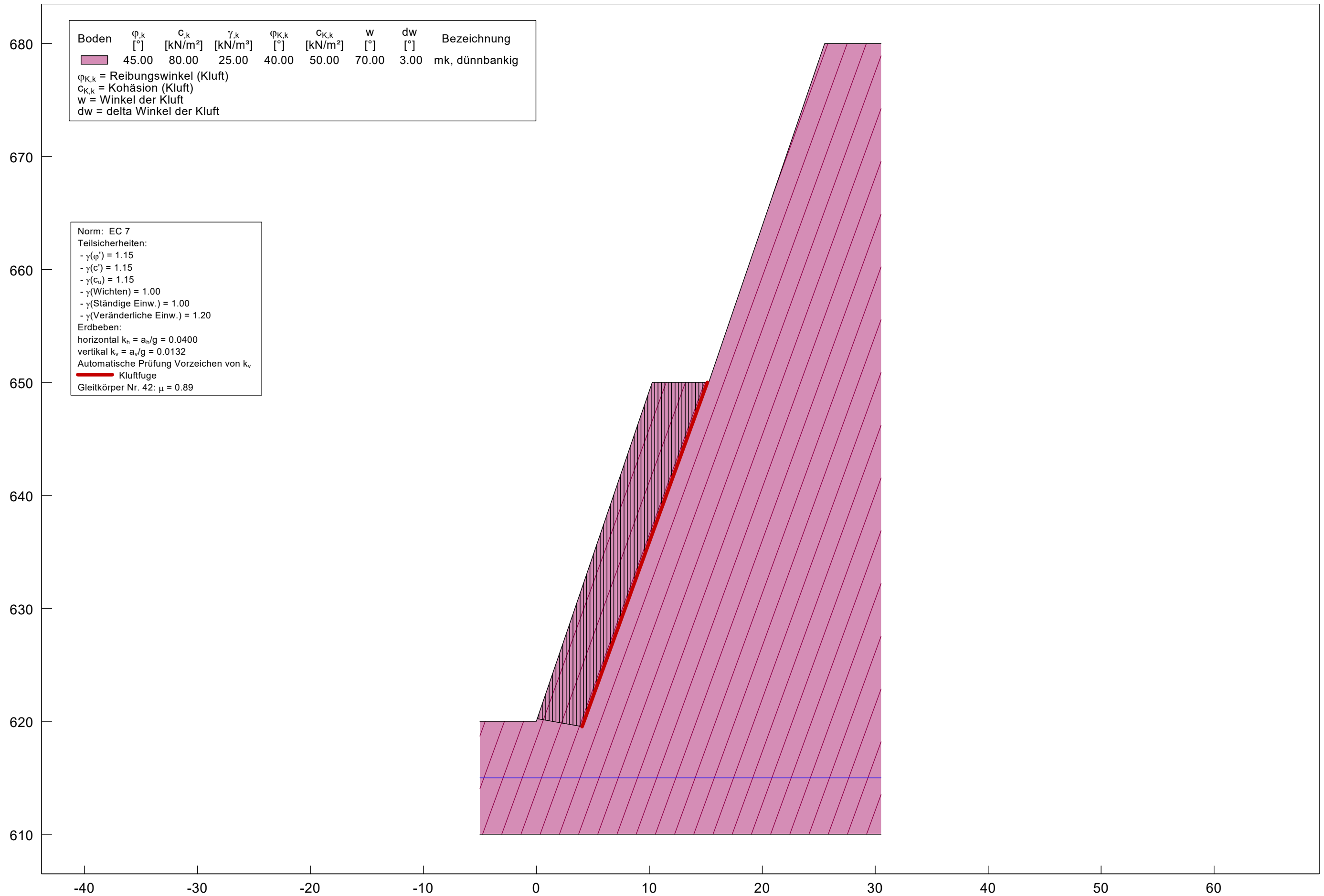


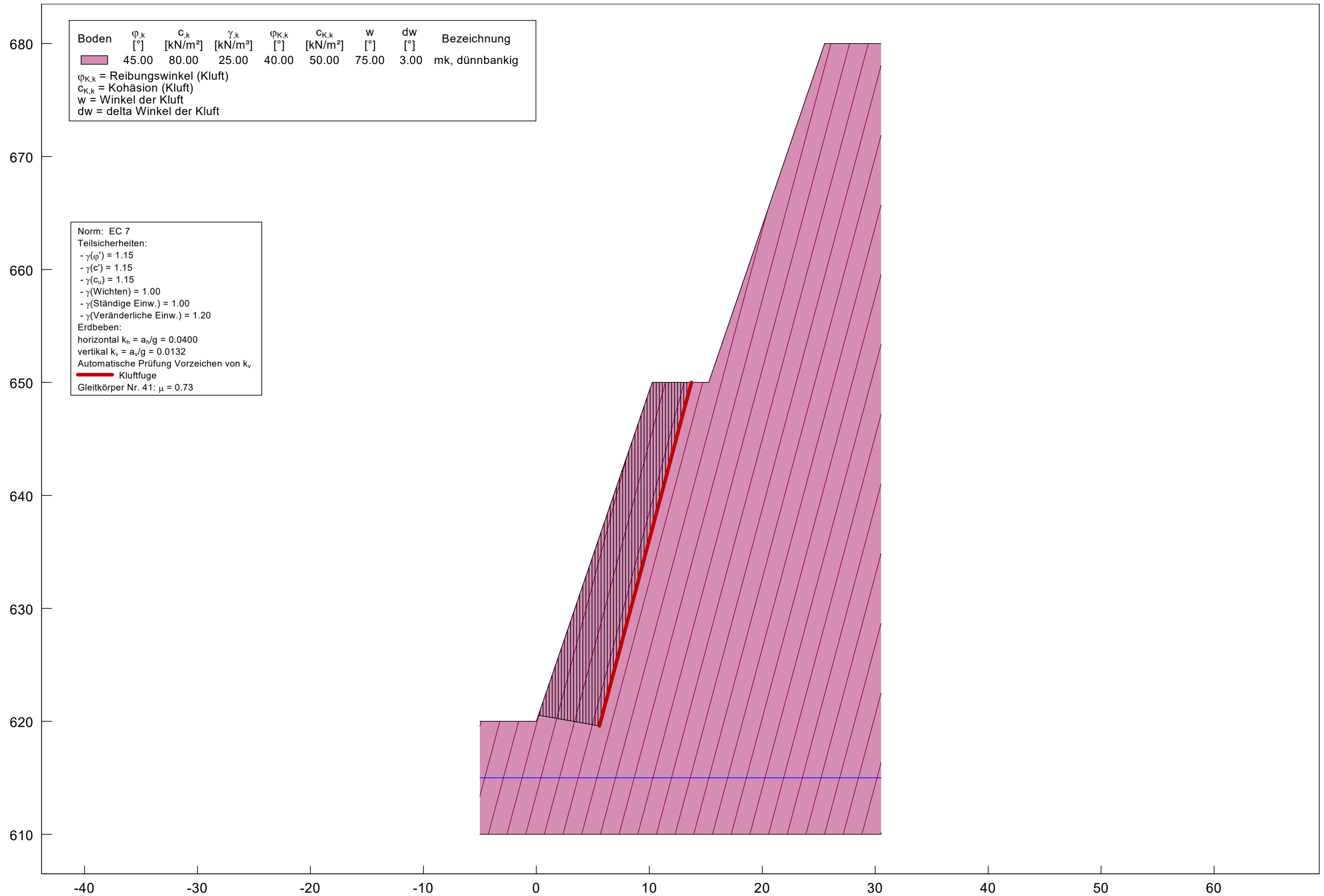


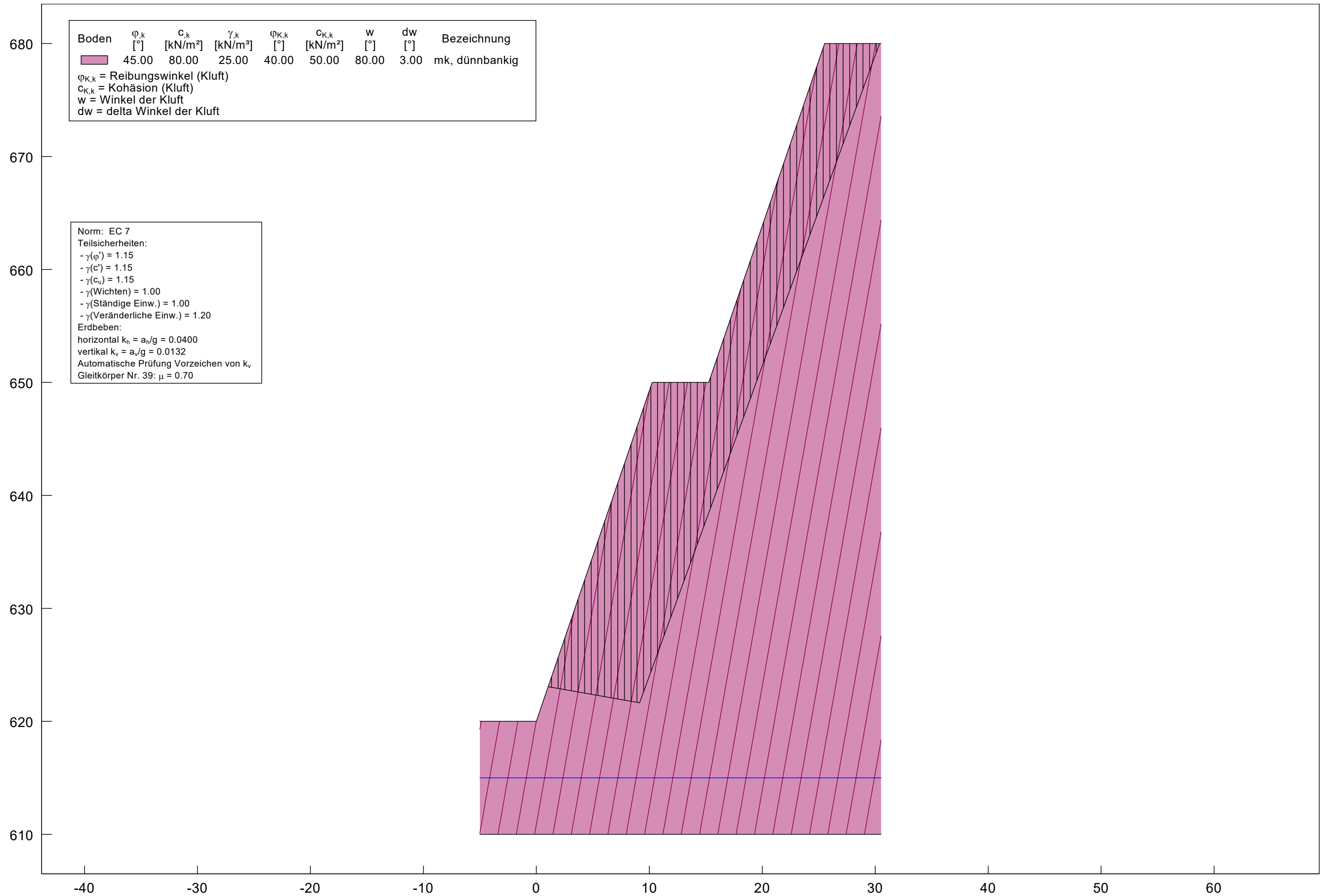


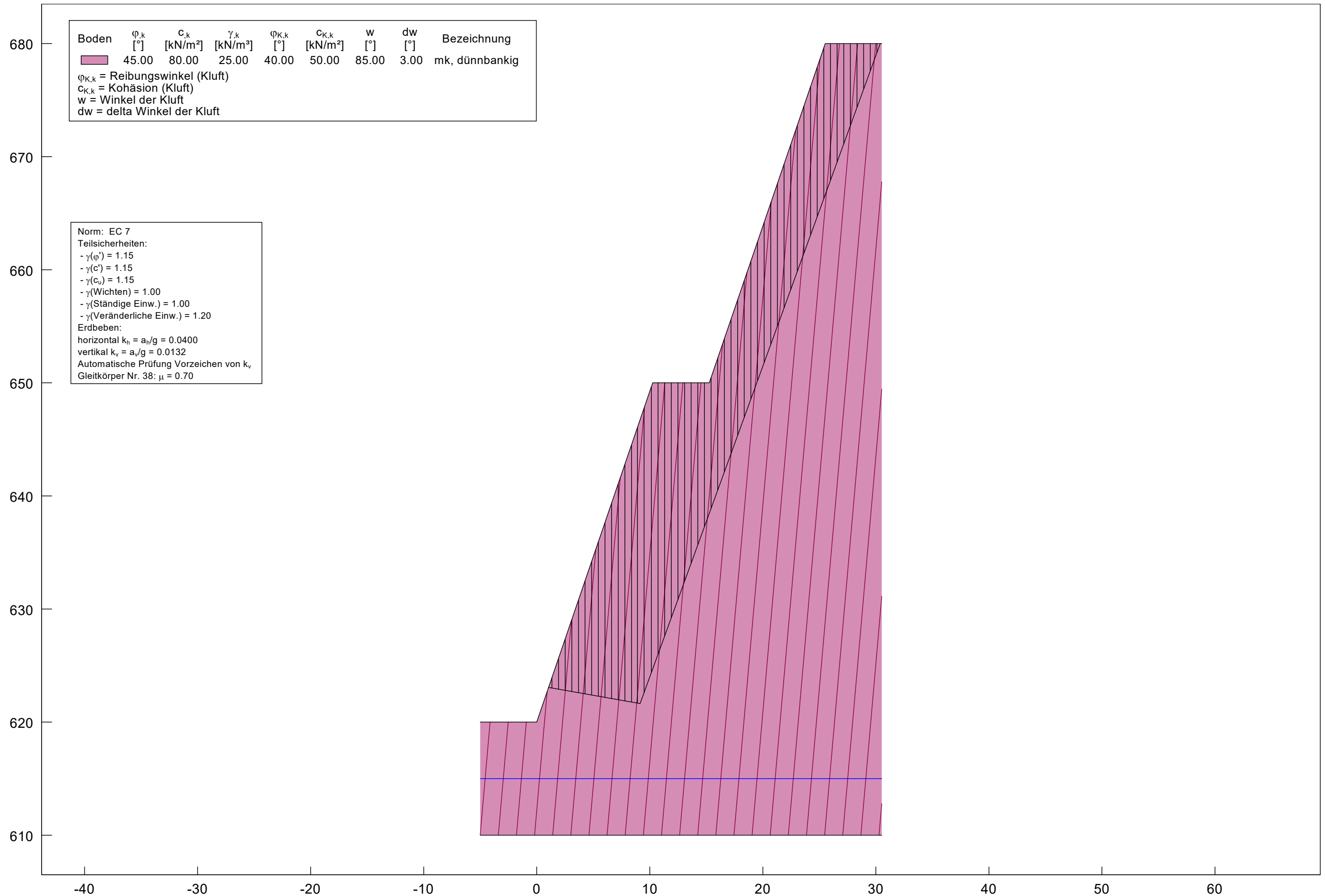


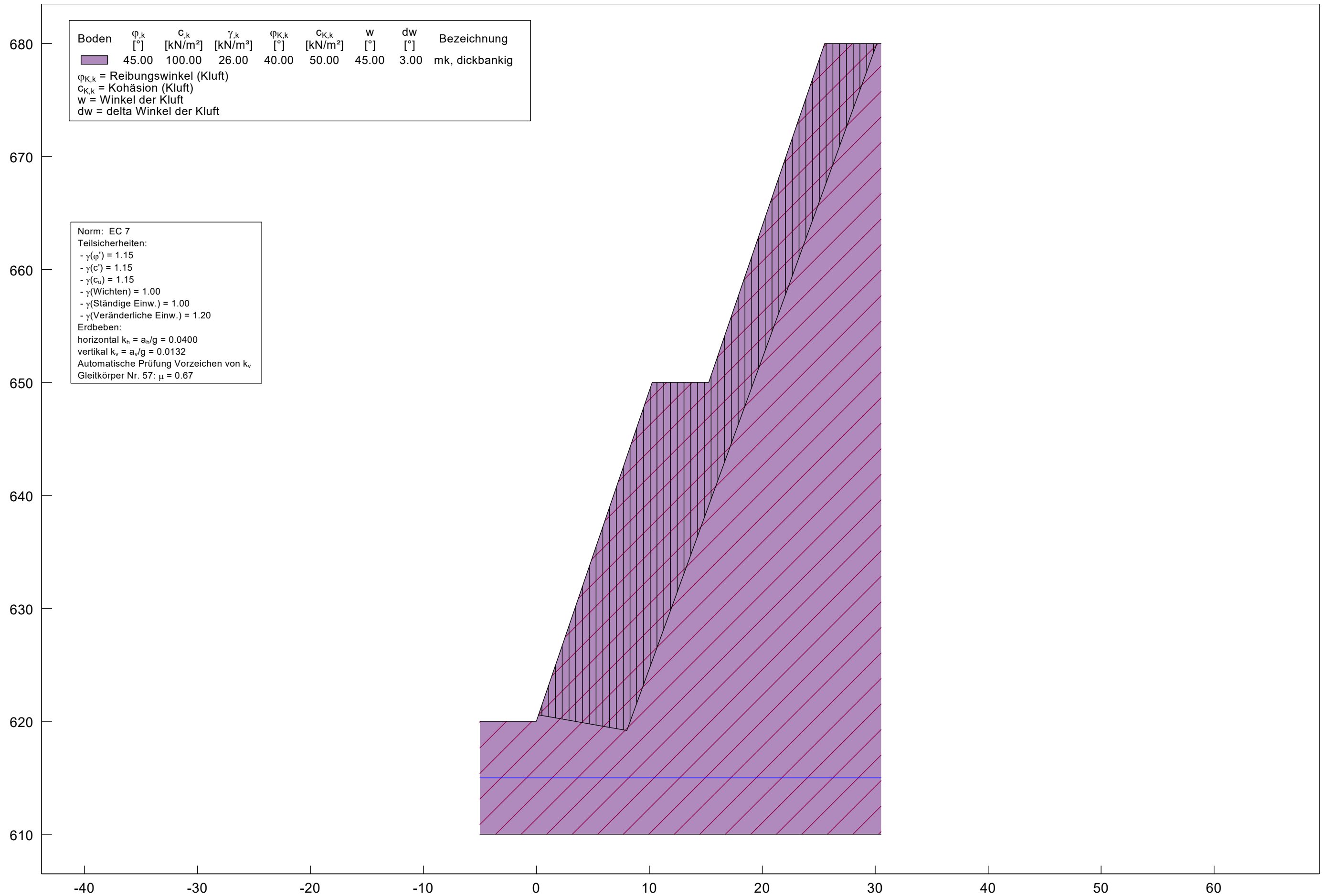


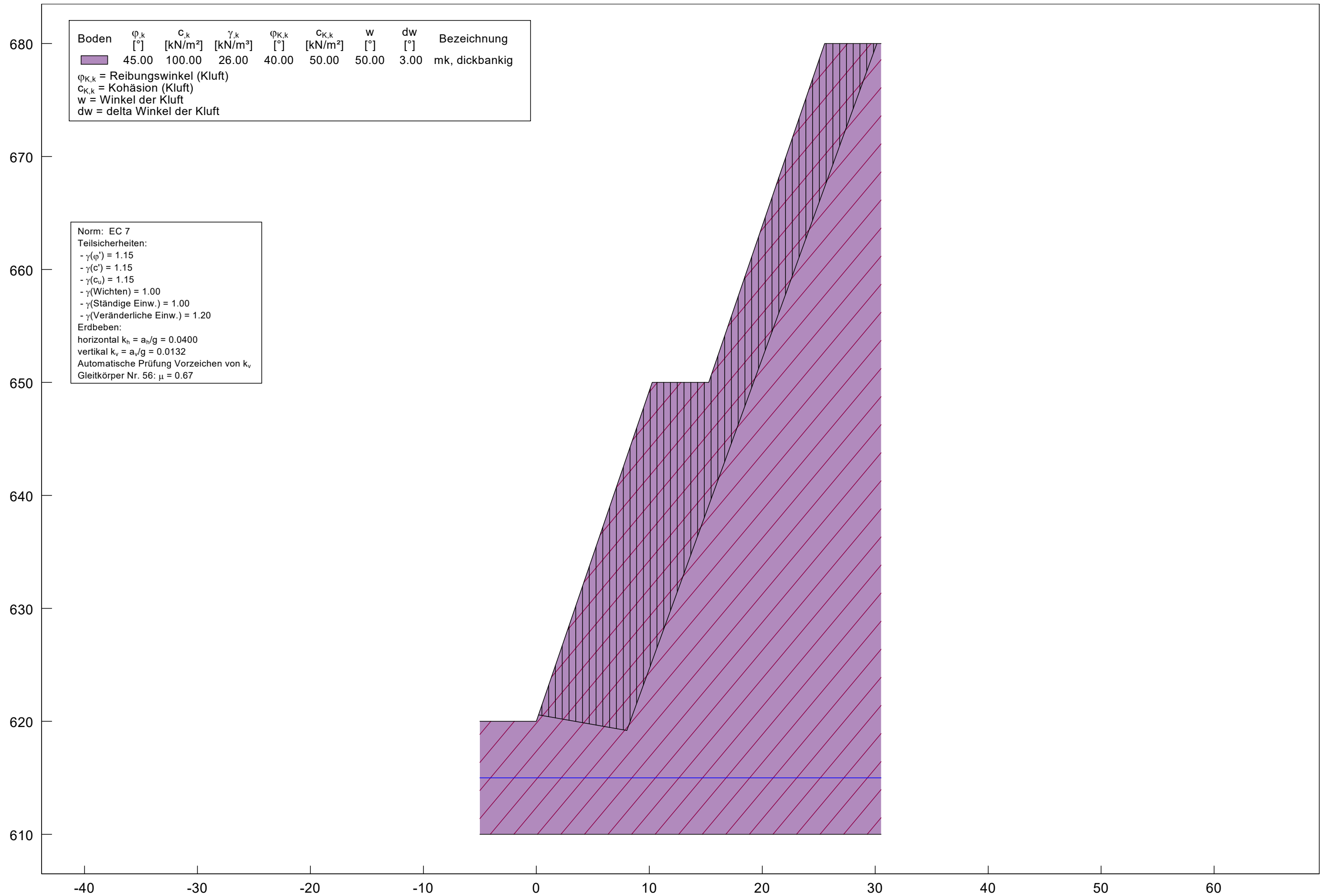


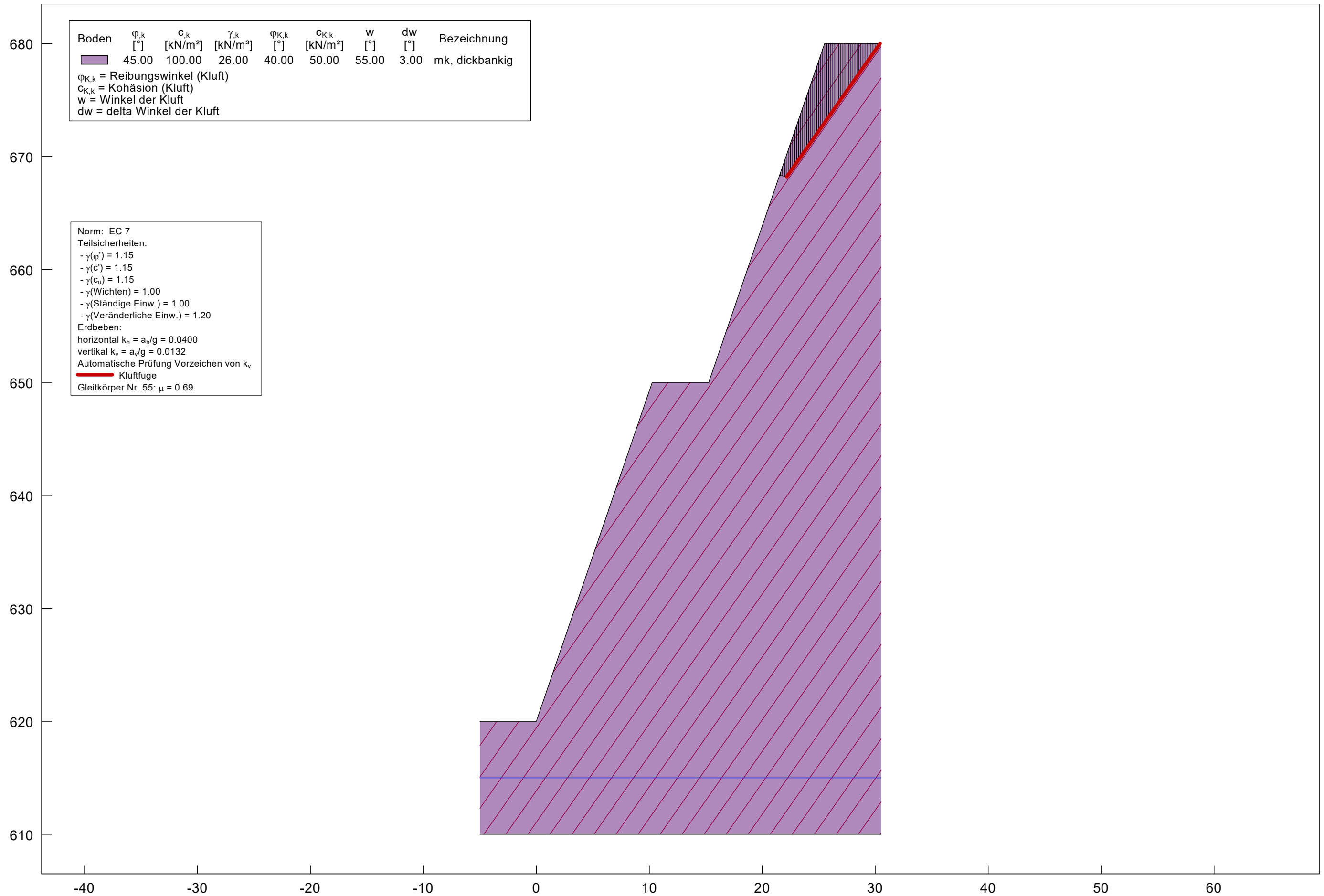


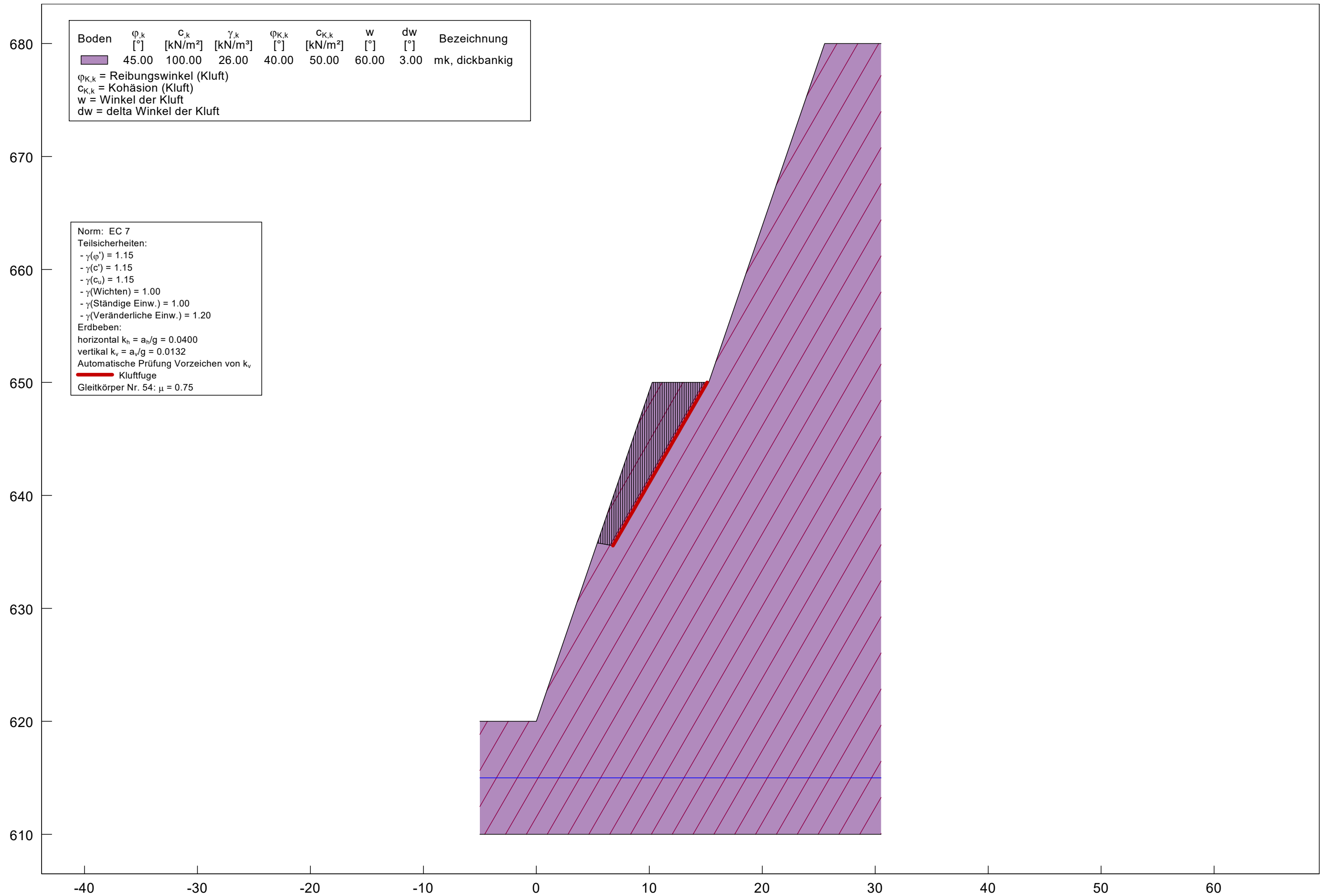


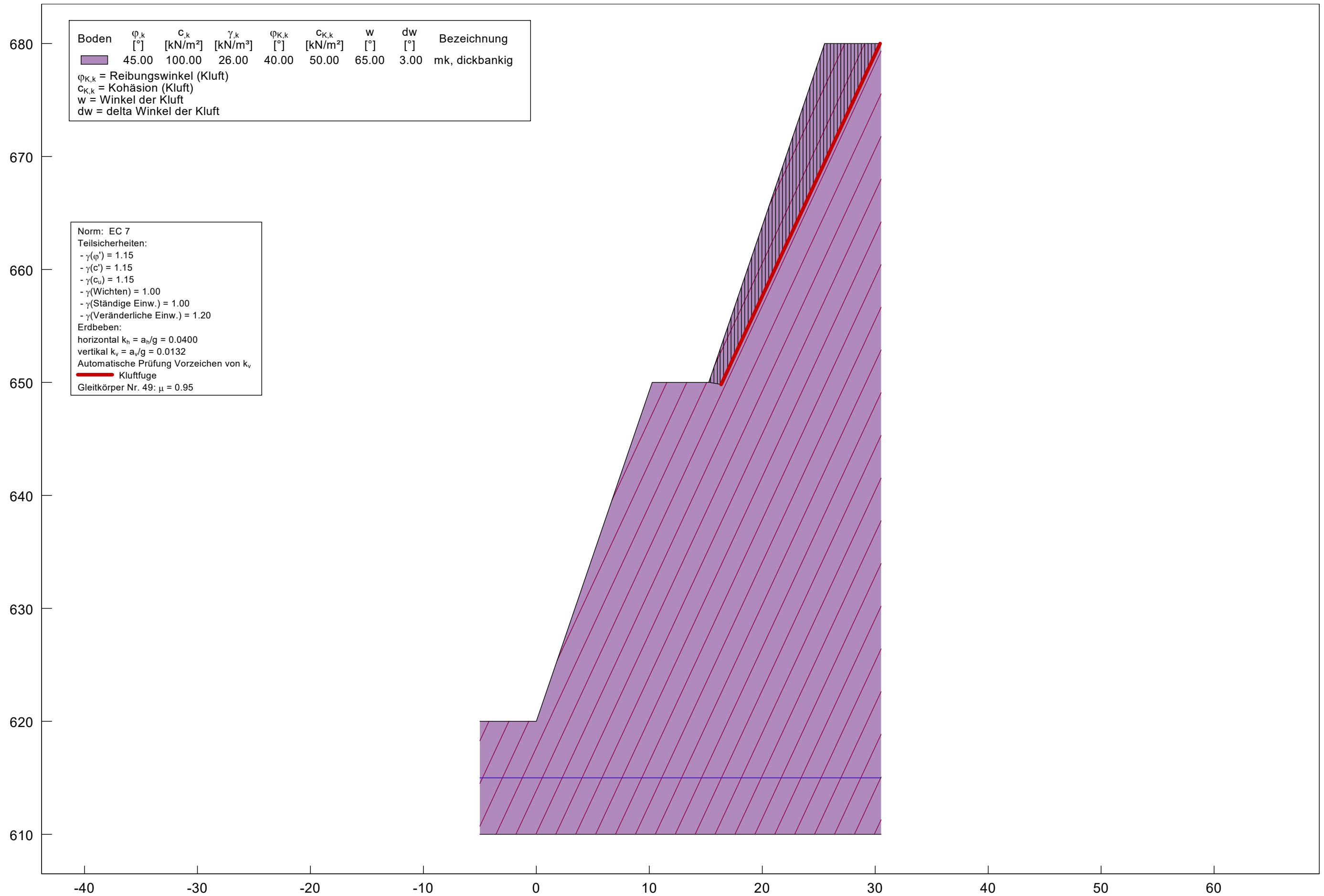


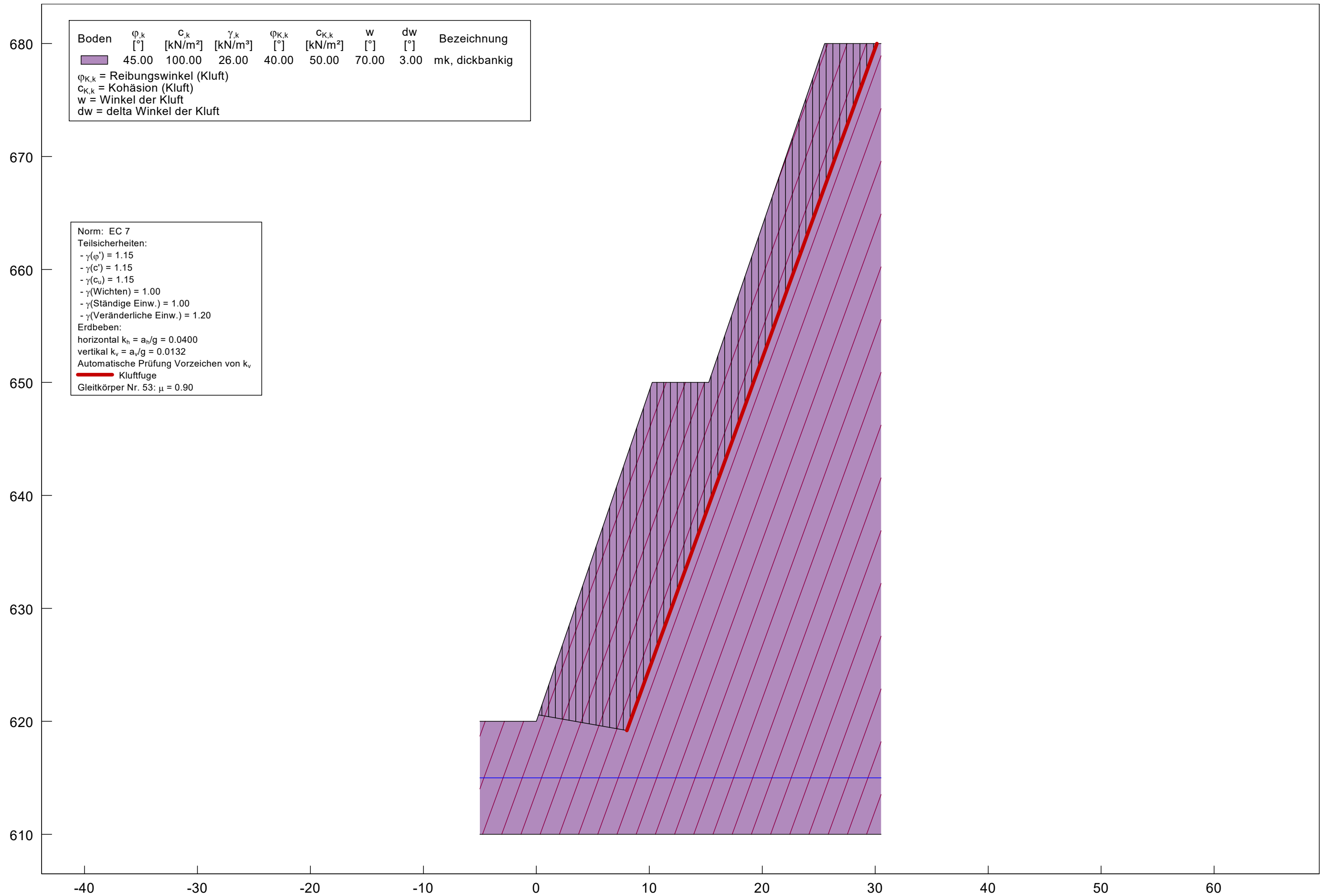


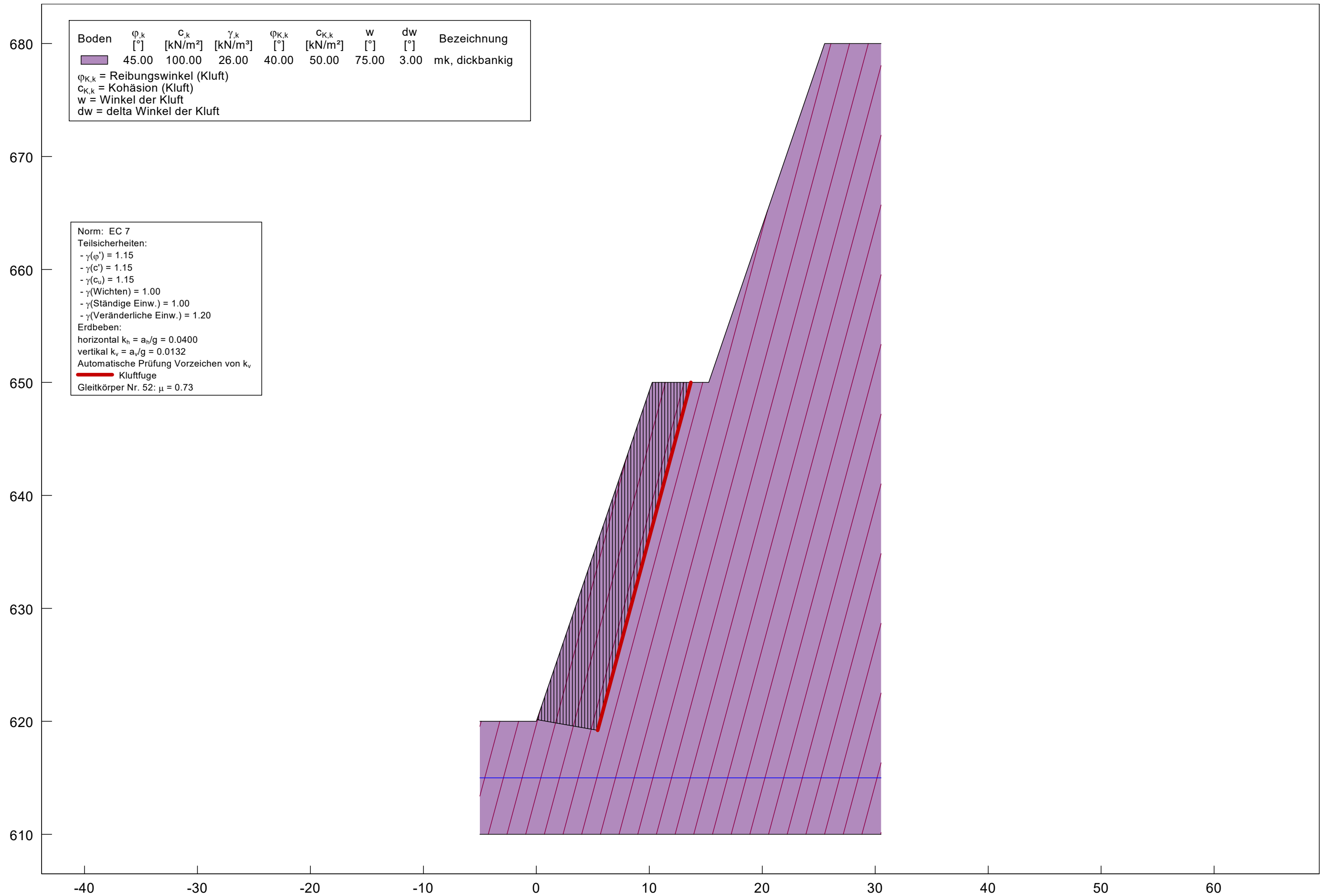


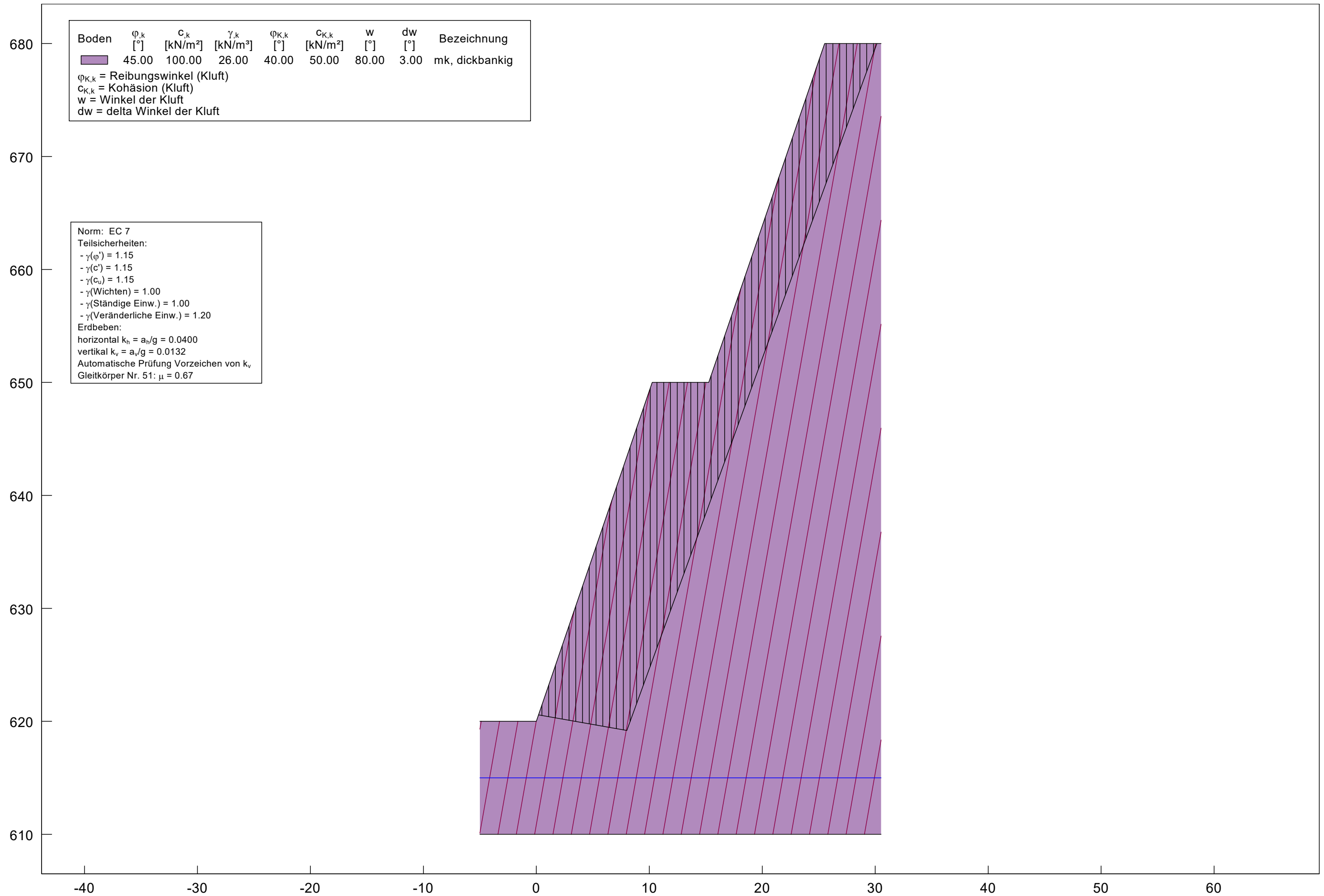


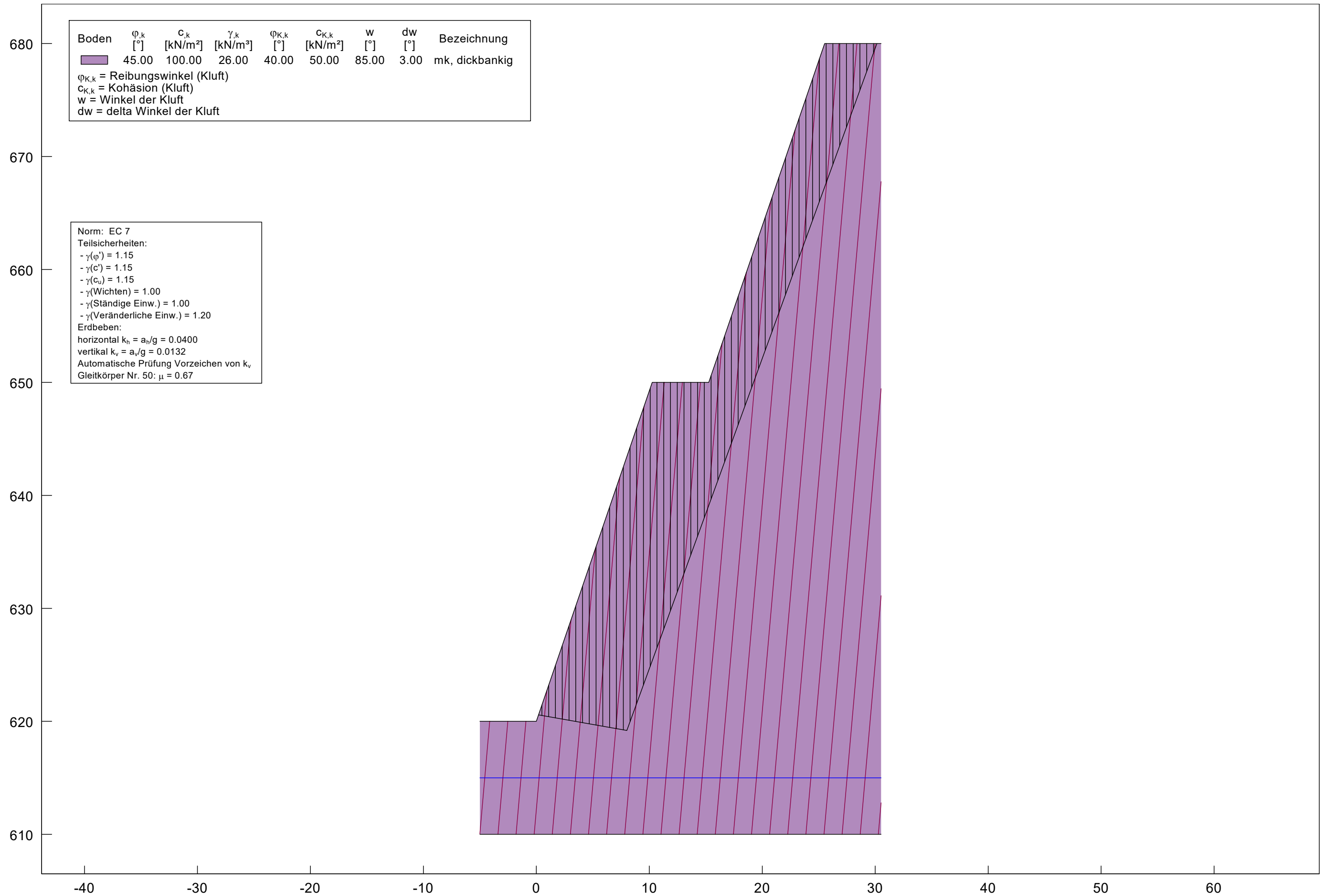








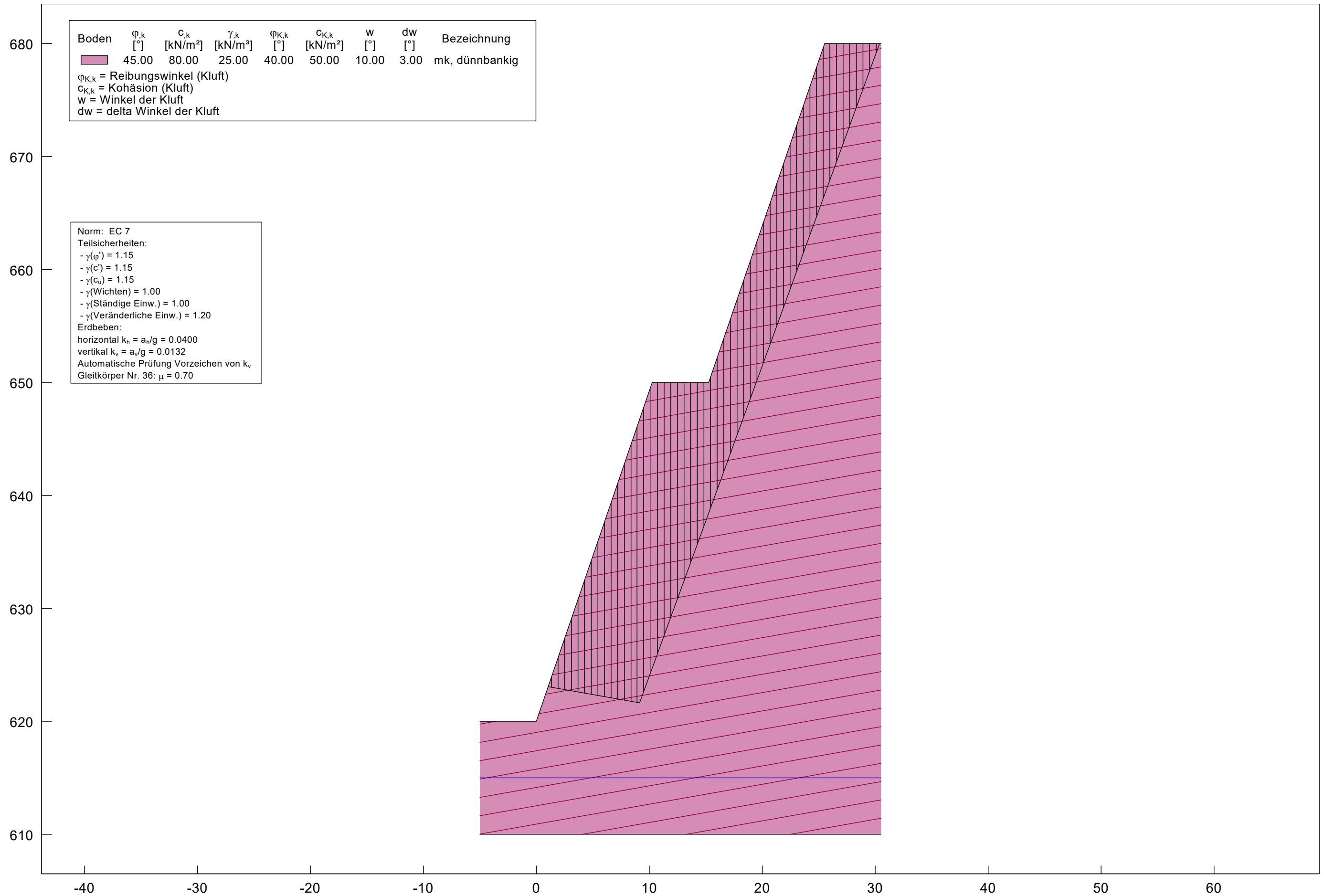


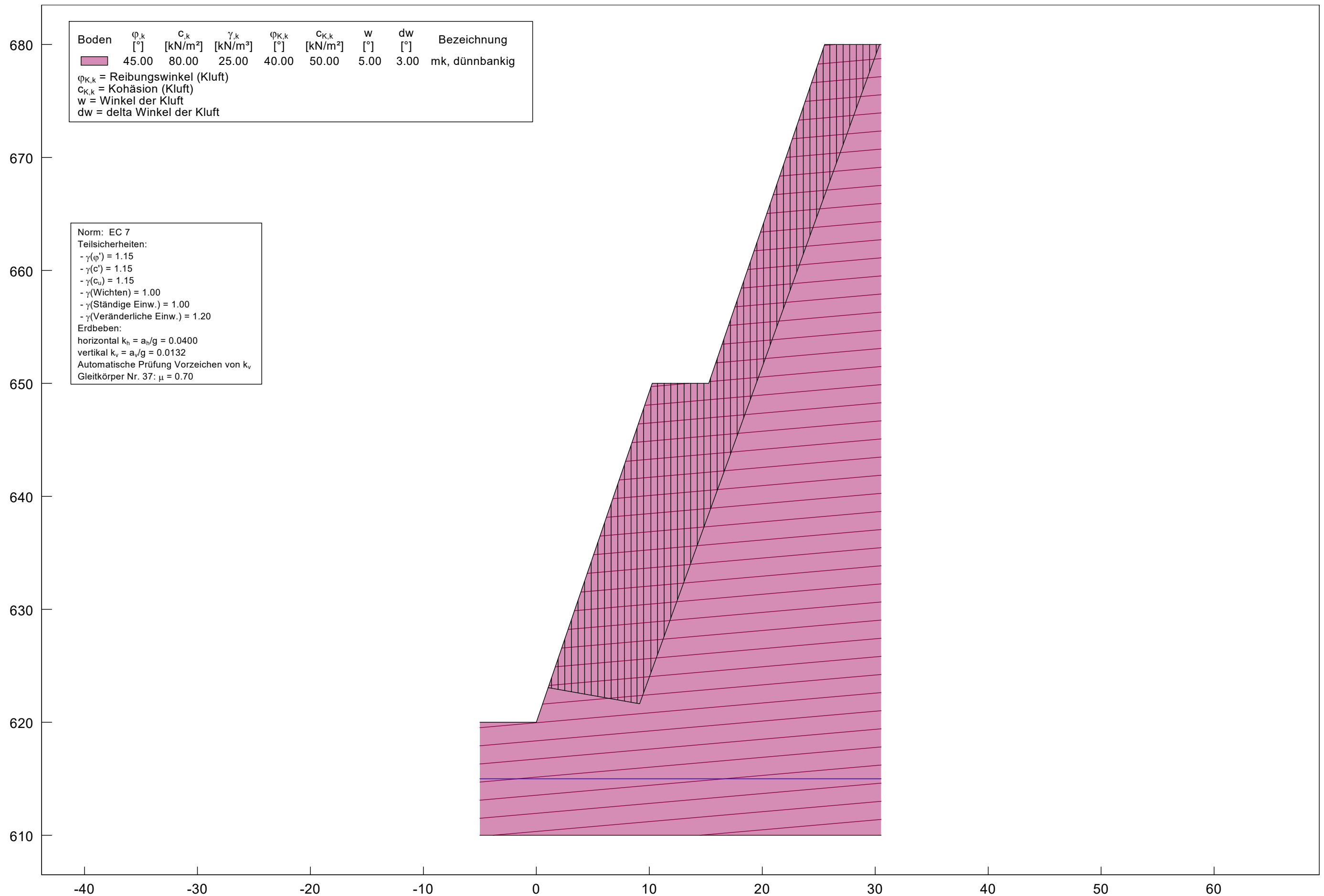


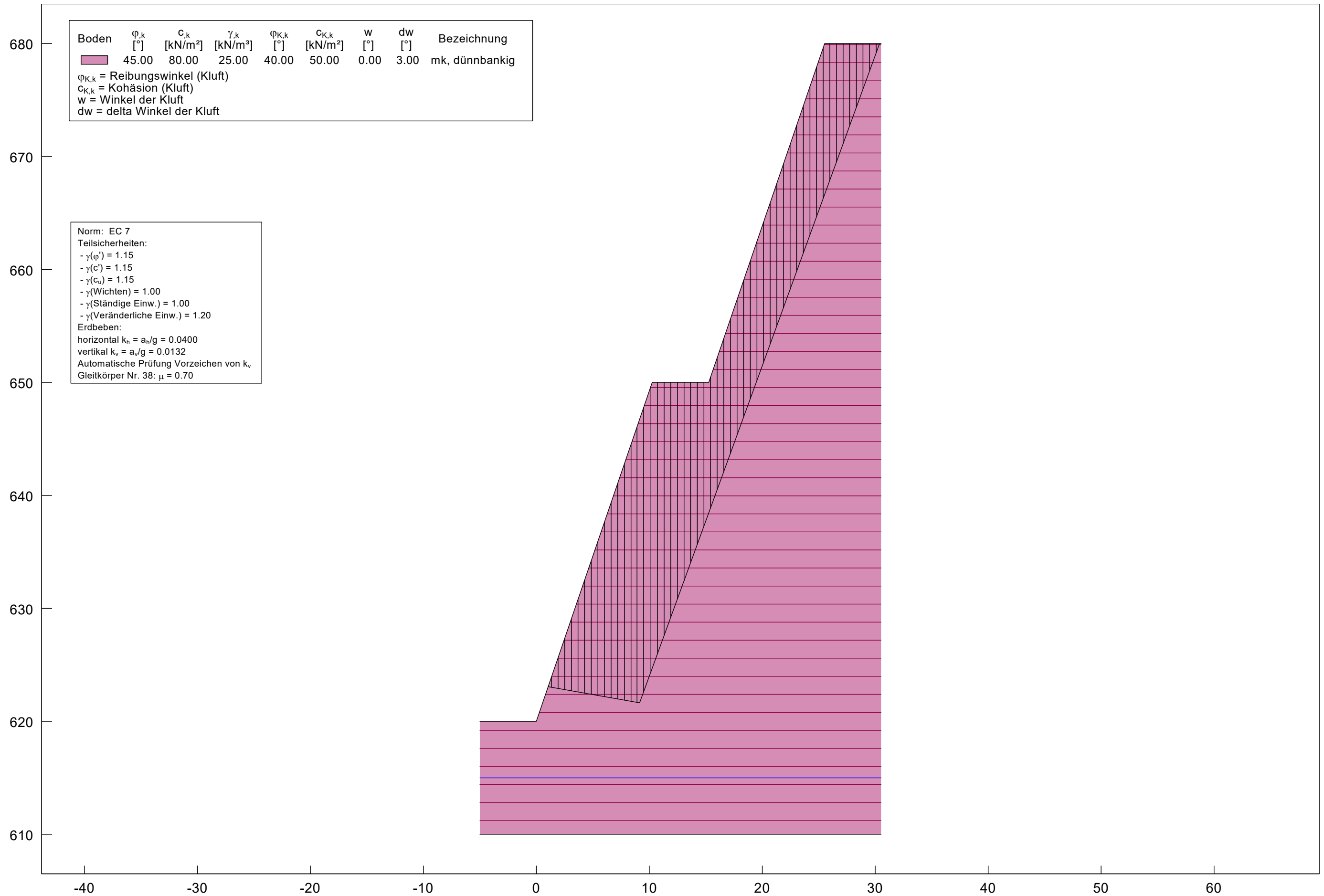
Steinbruch Überfilzen

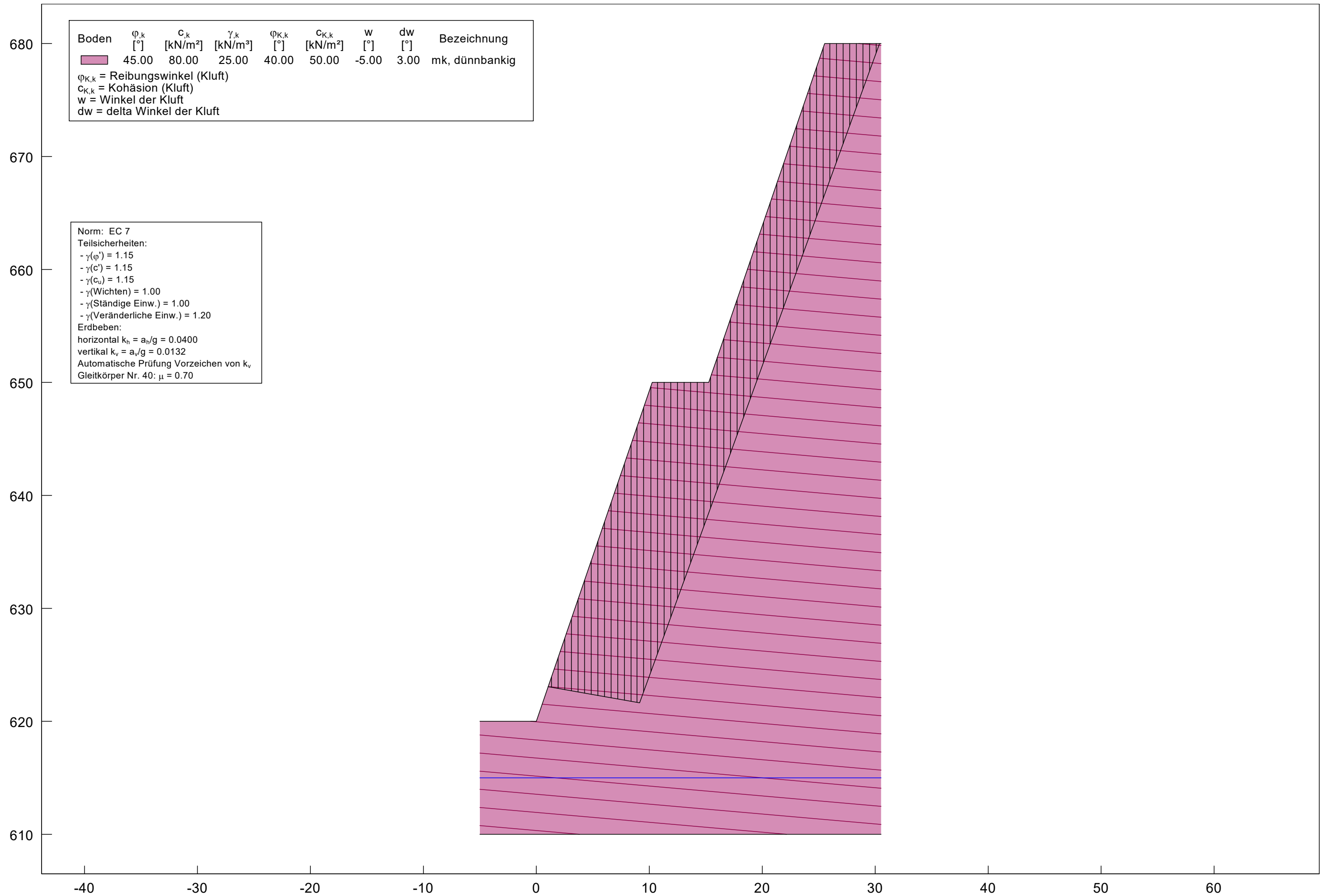
Geologisch – geotechnischer Bericht

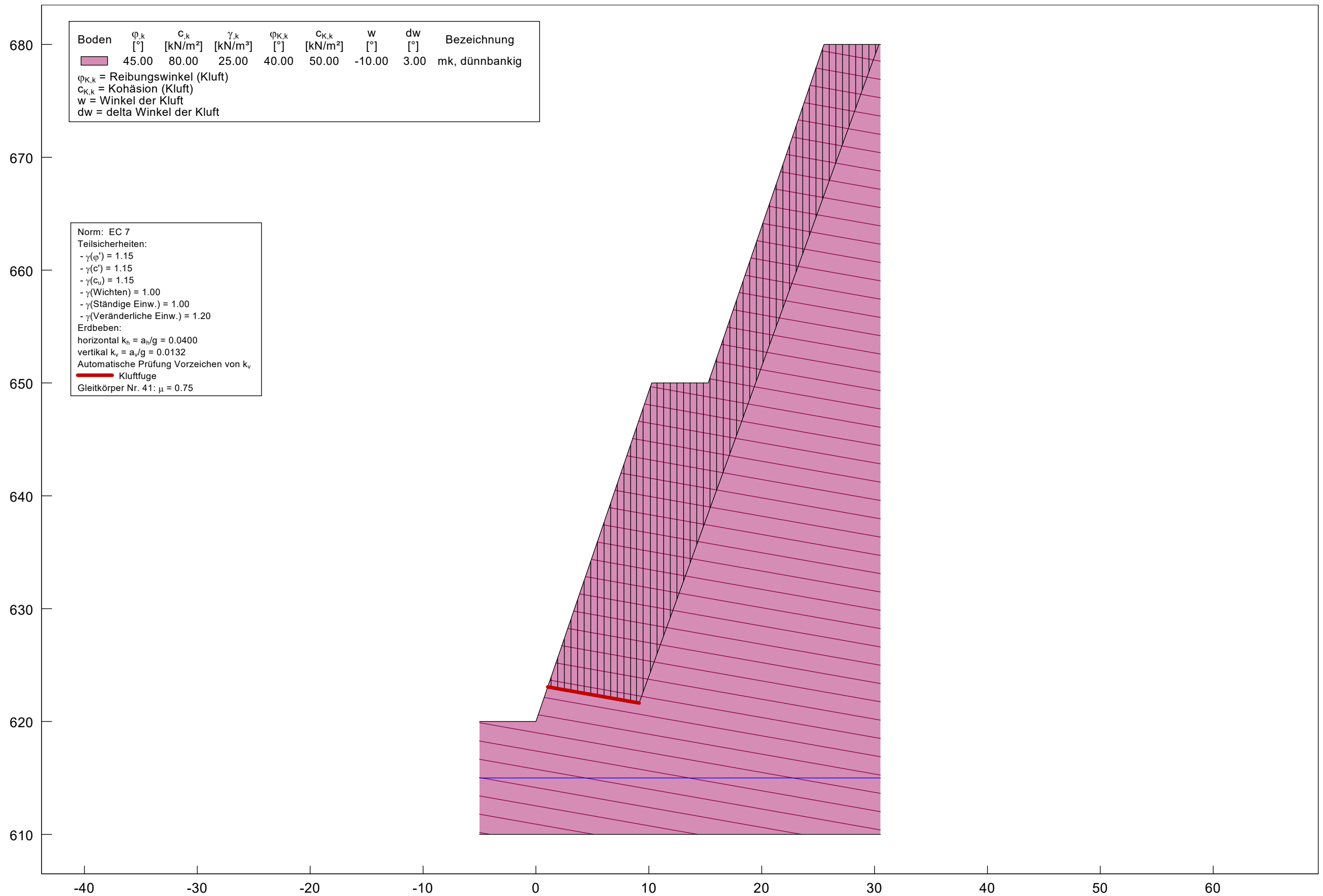
Anlage 6.2.2 Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen

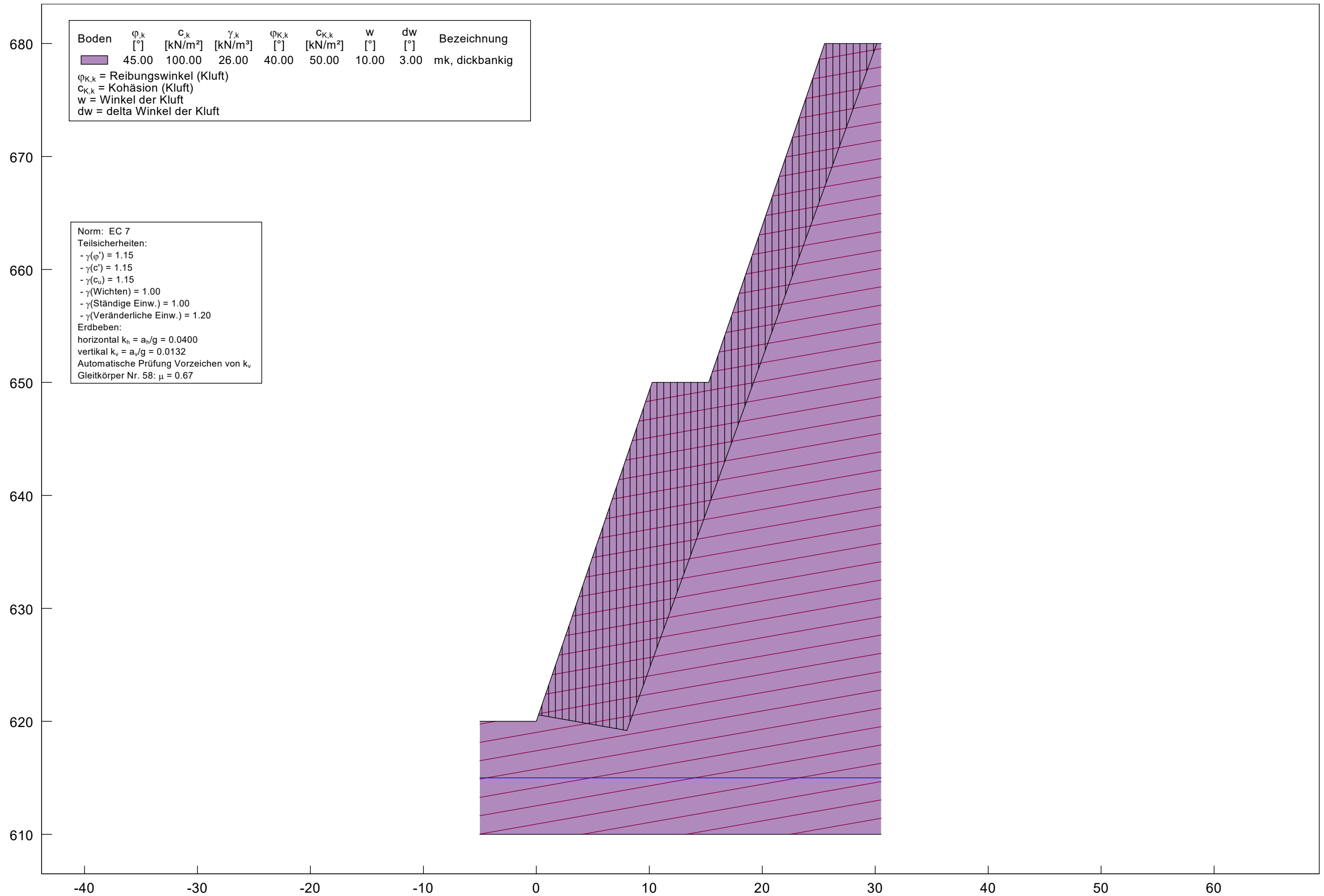


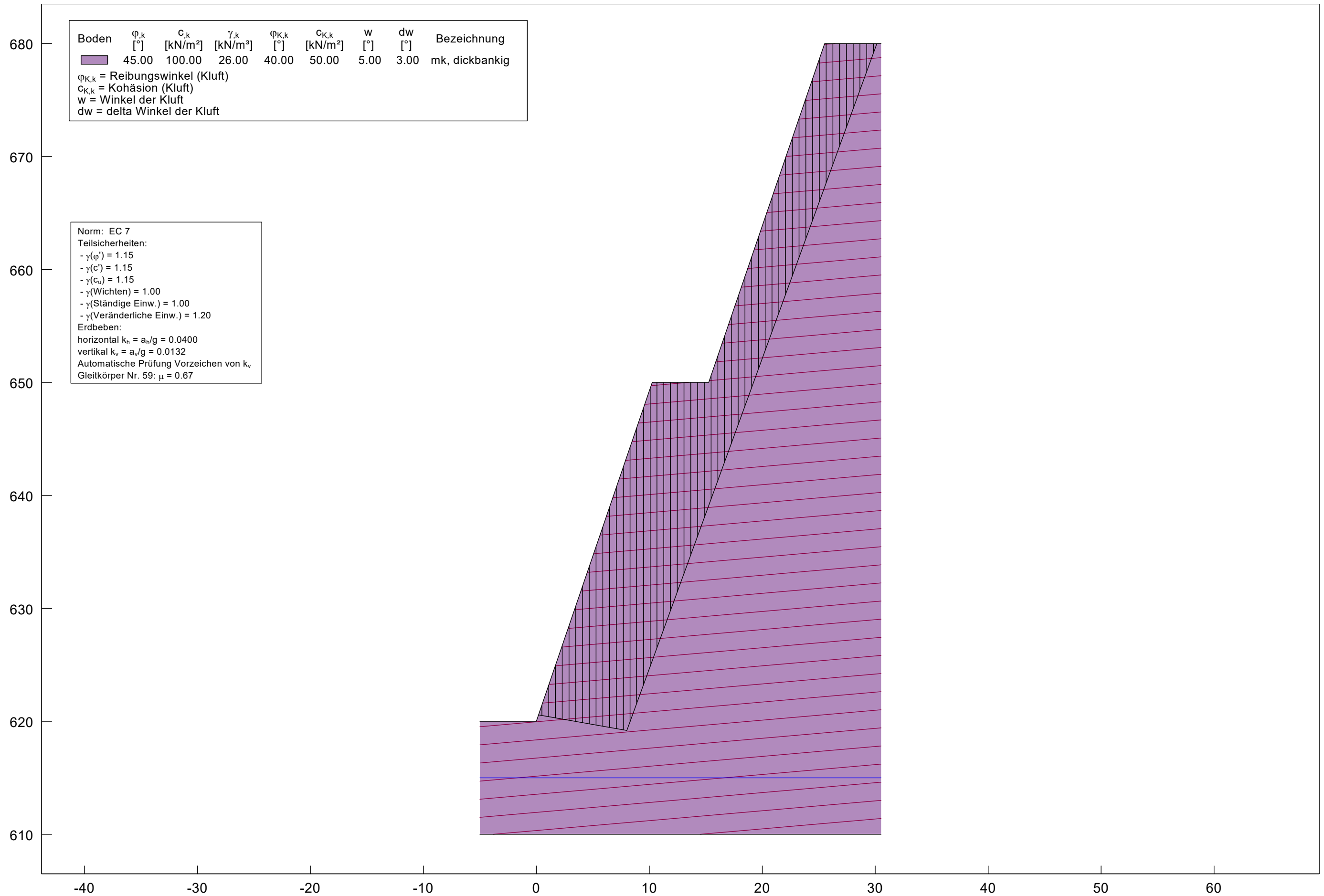


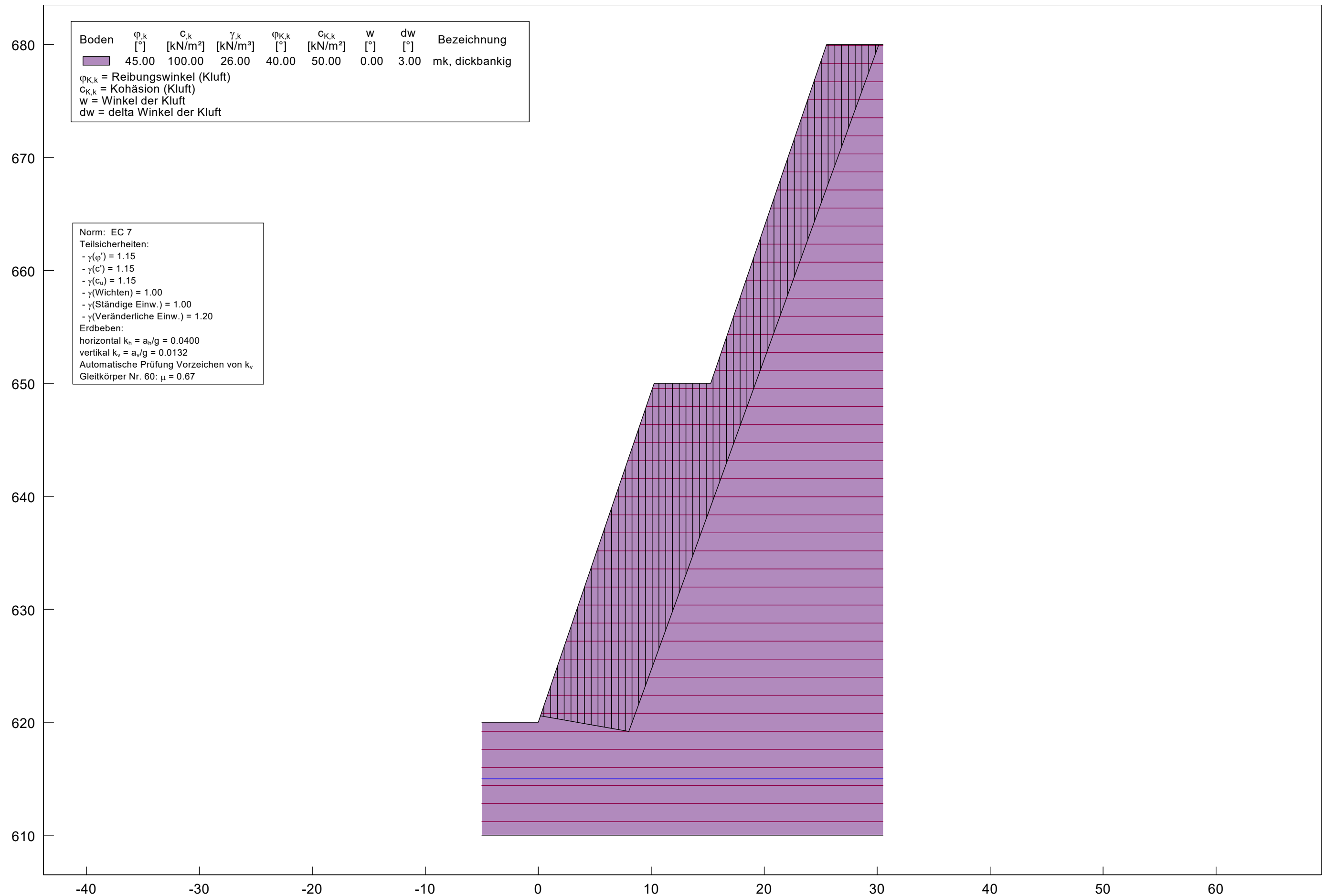


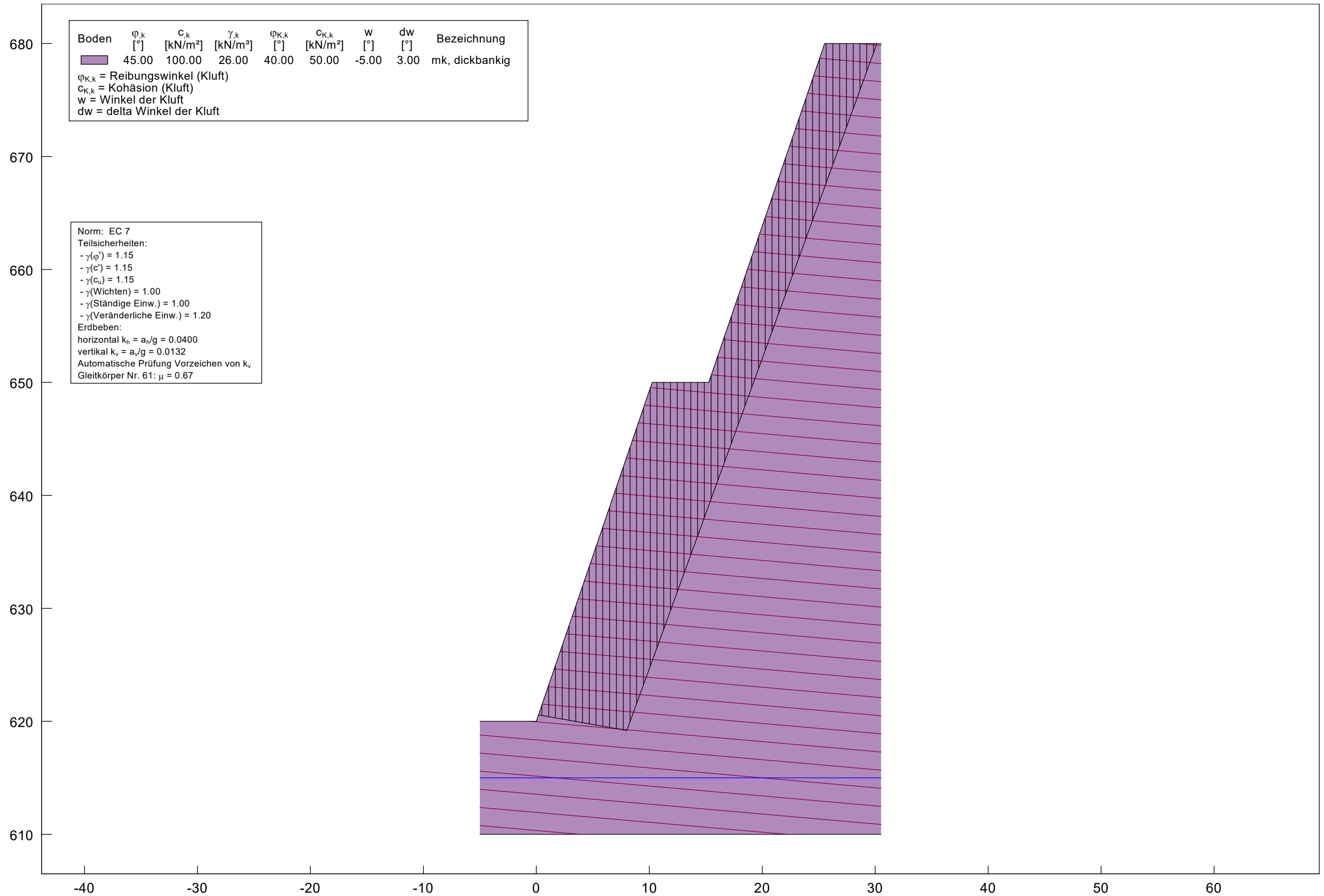


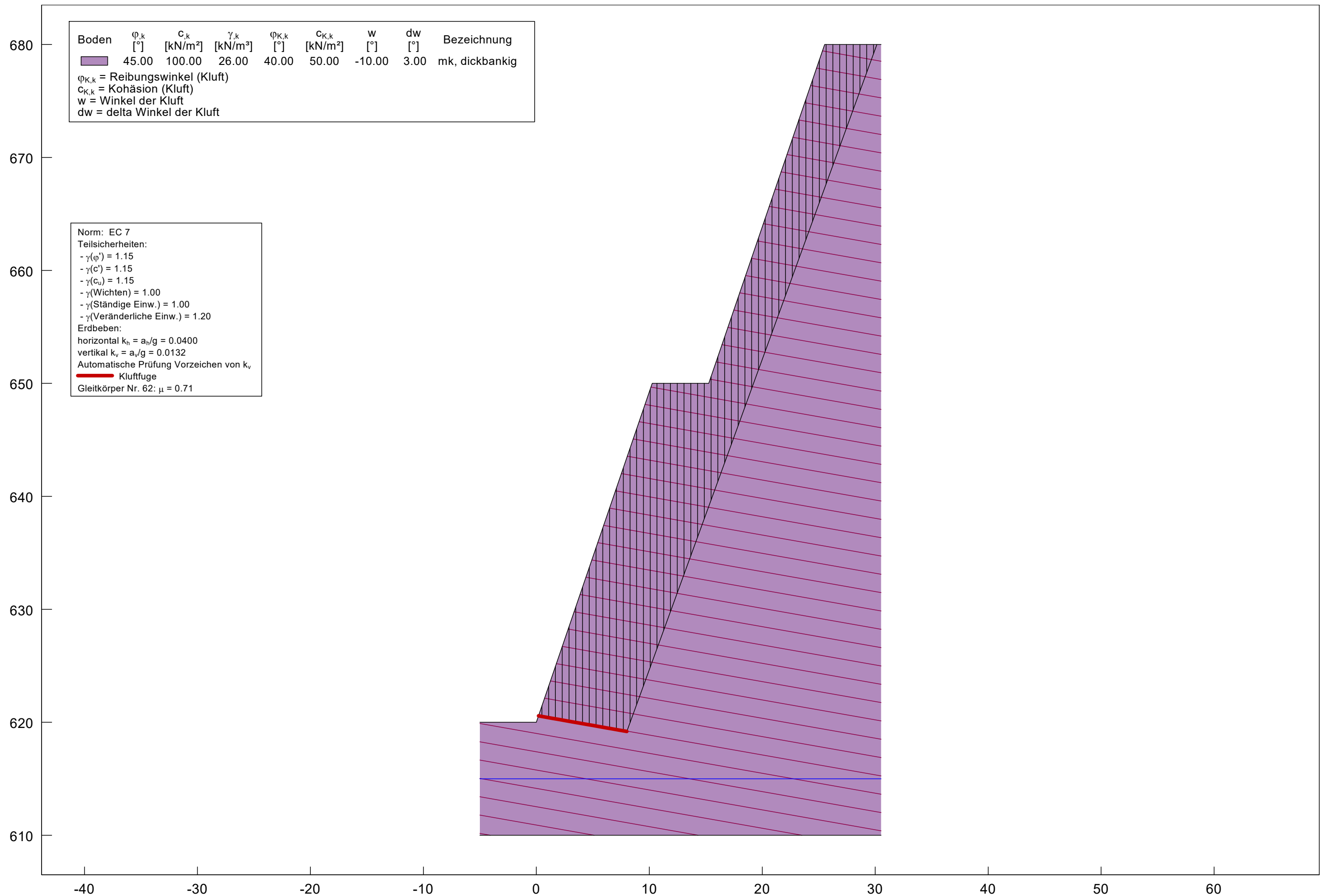


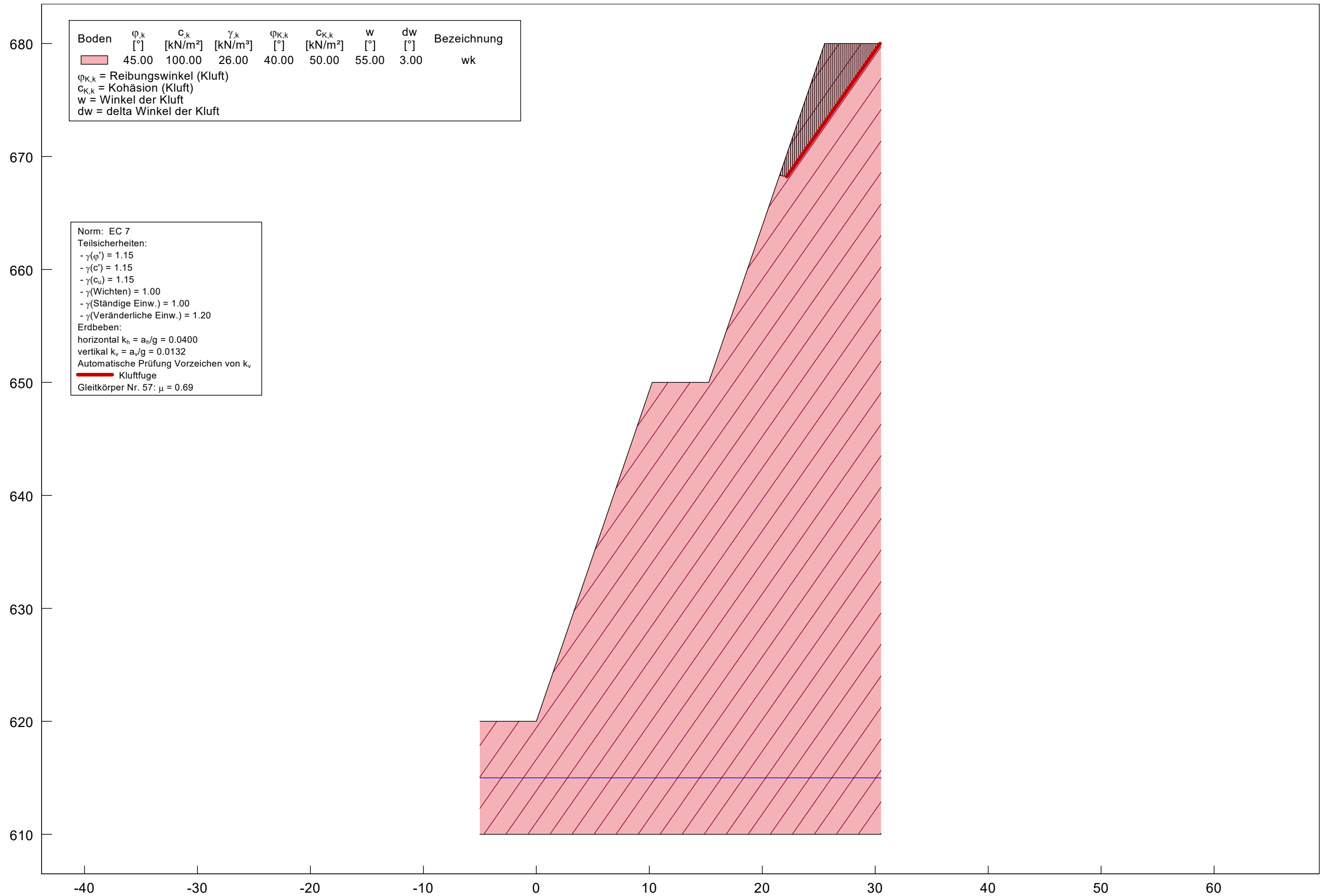


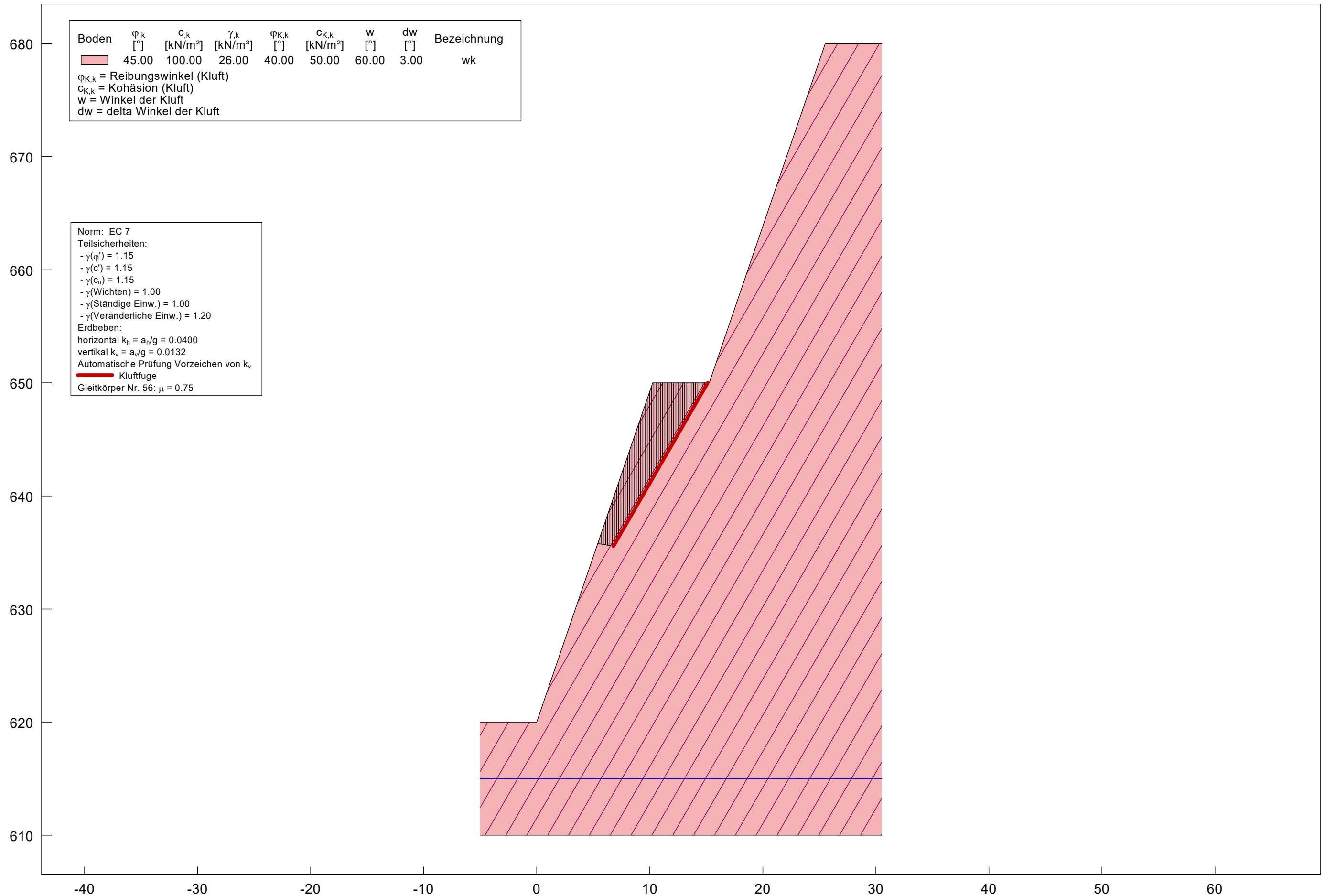


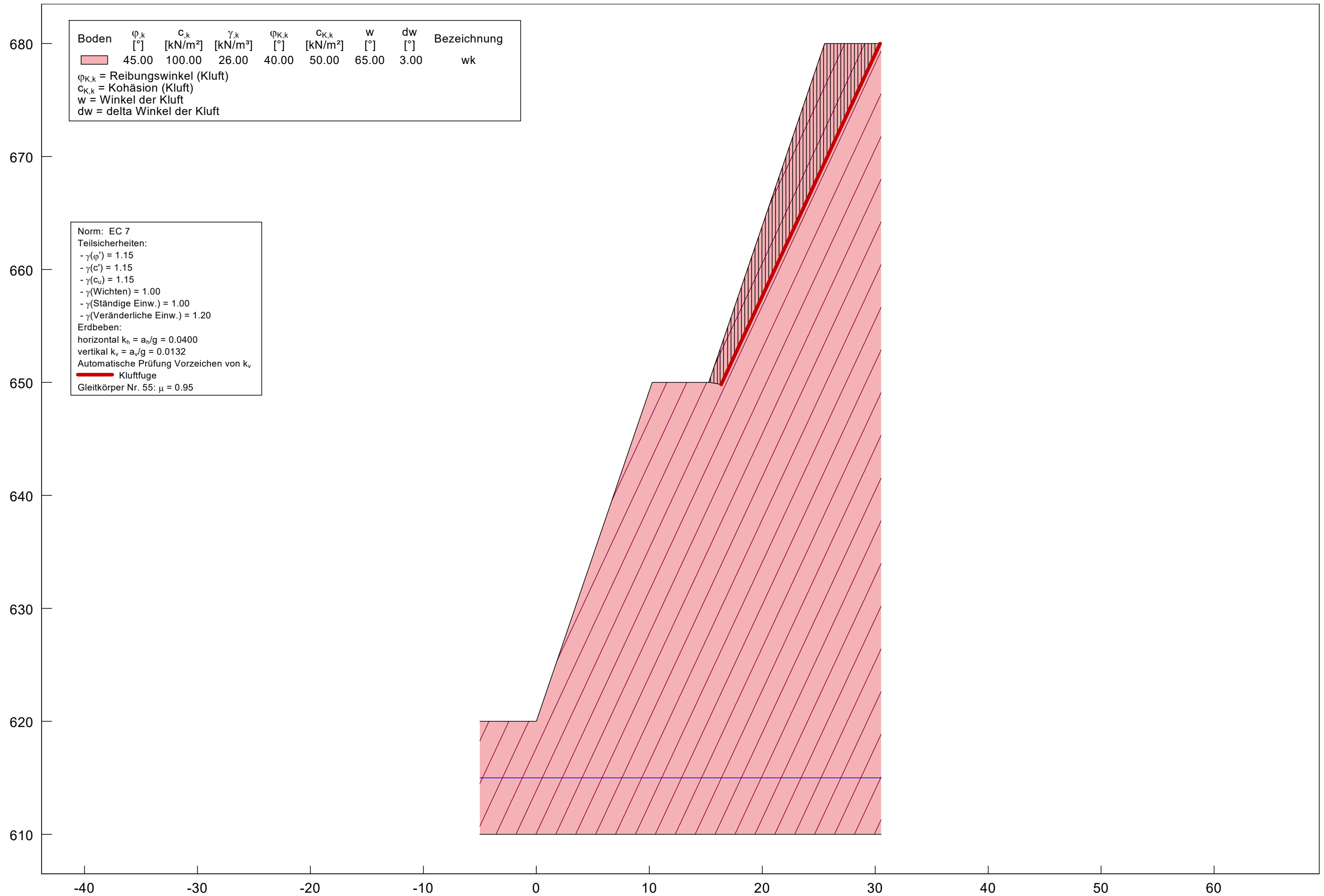


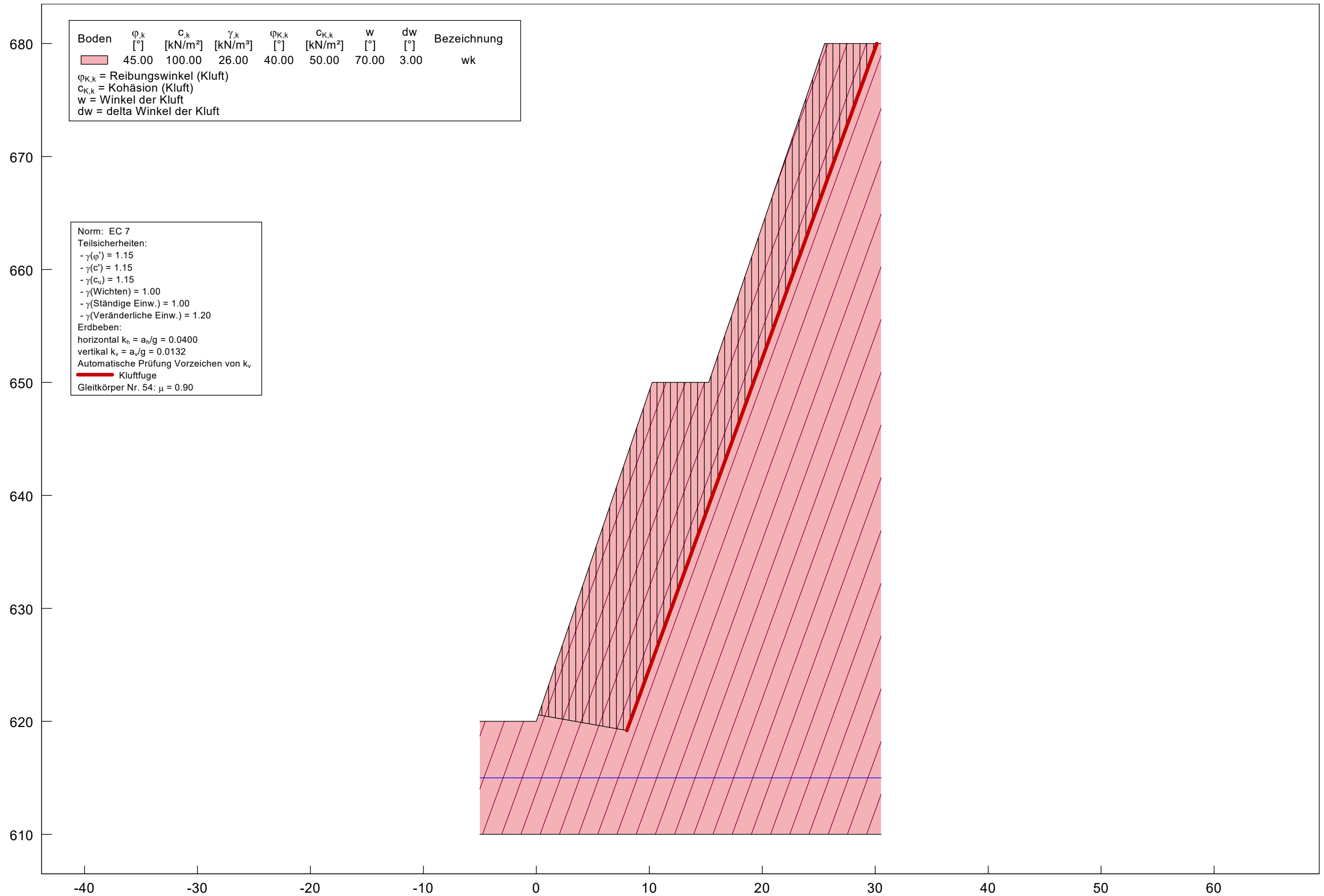


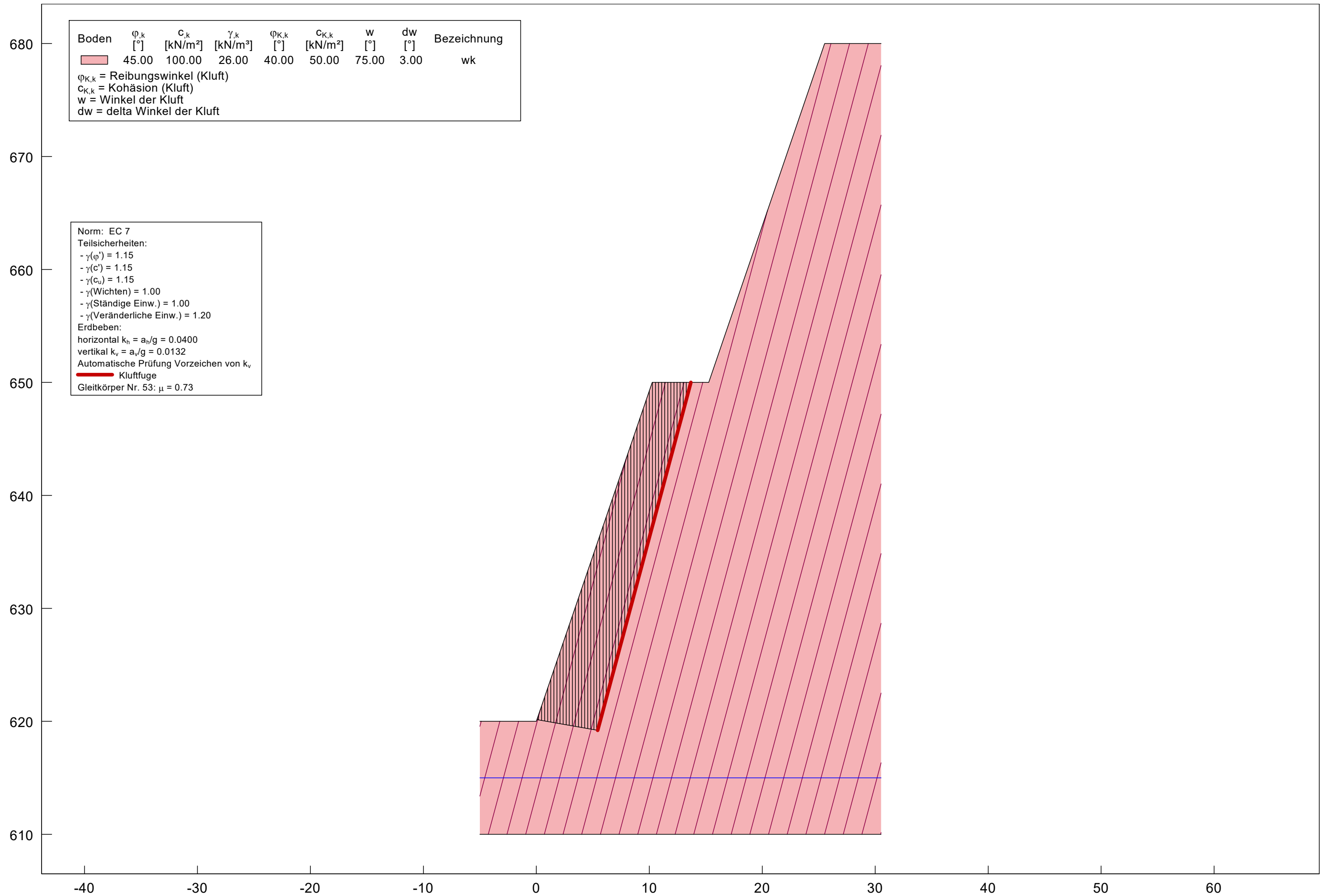


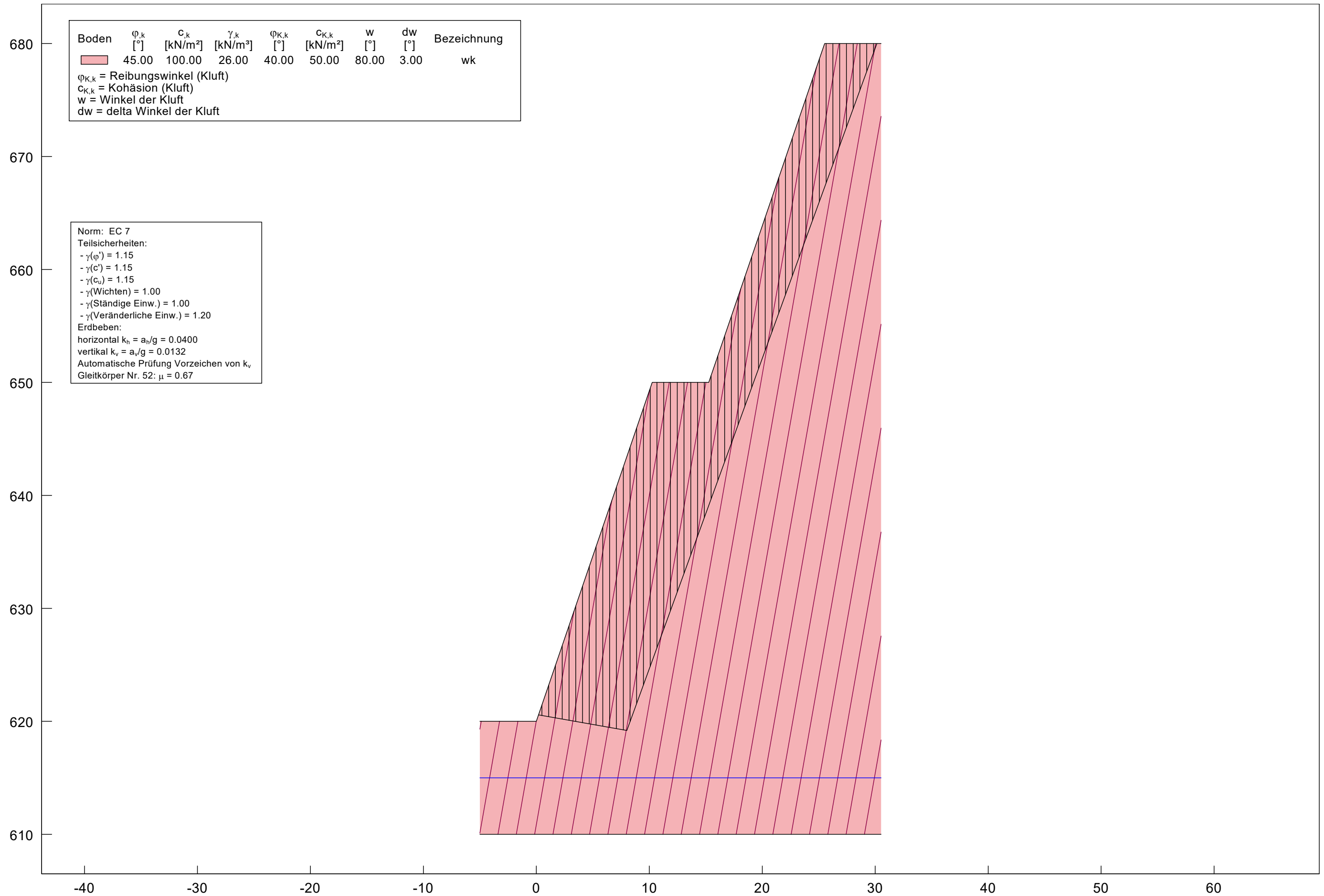


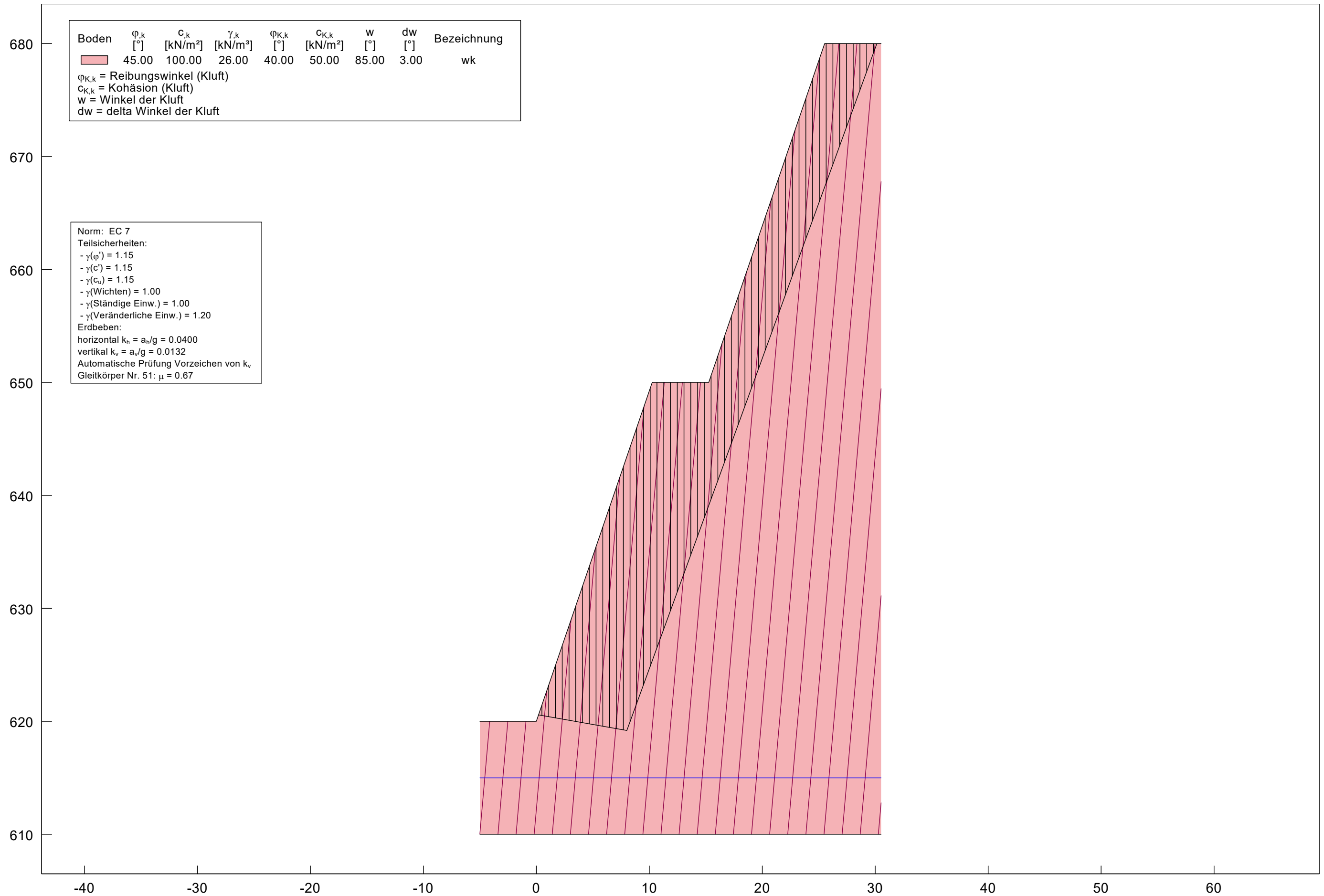


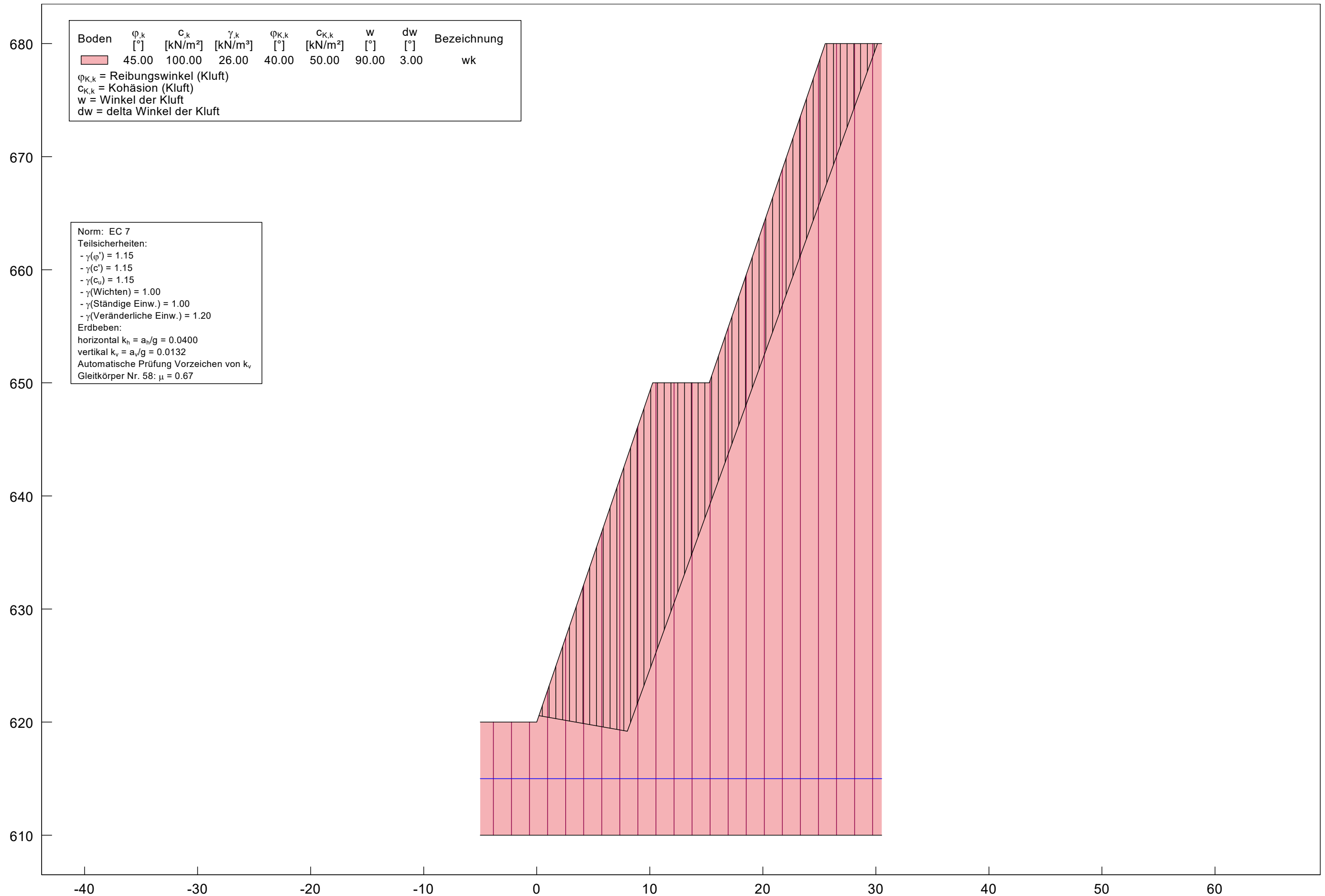


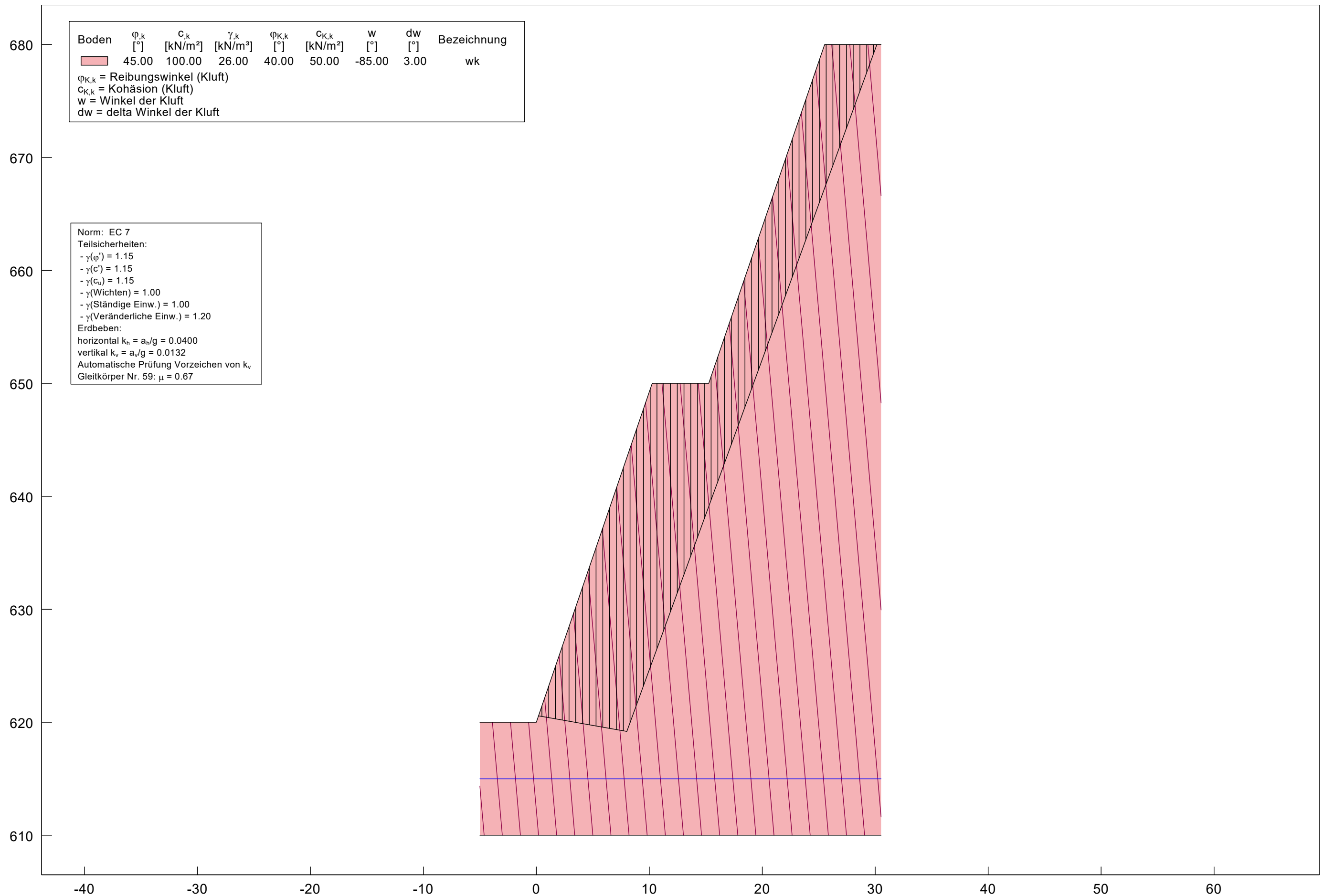


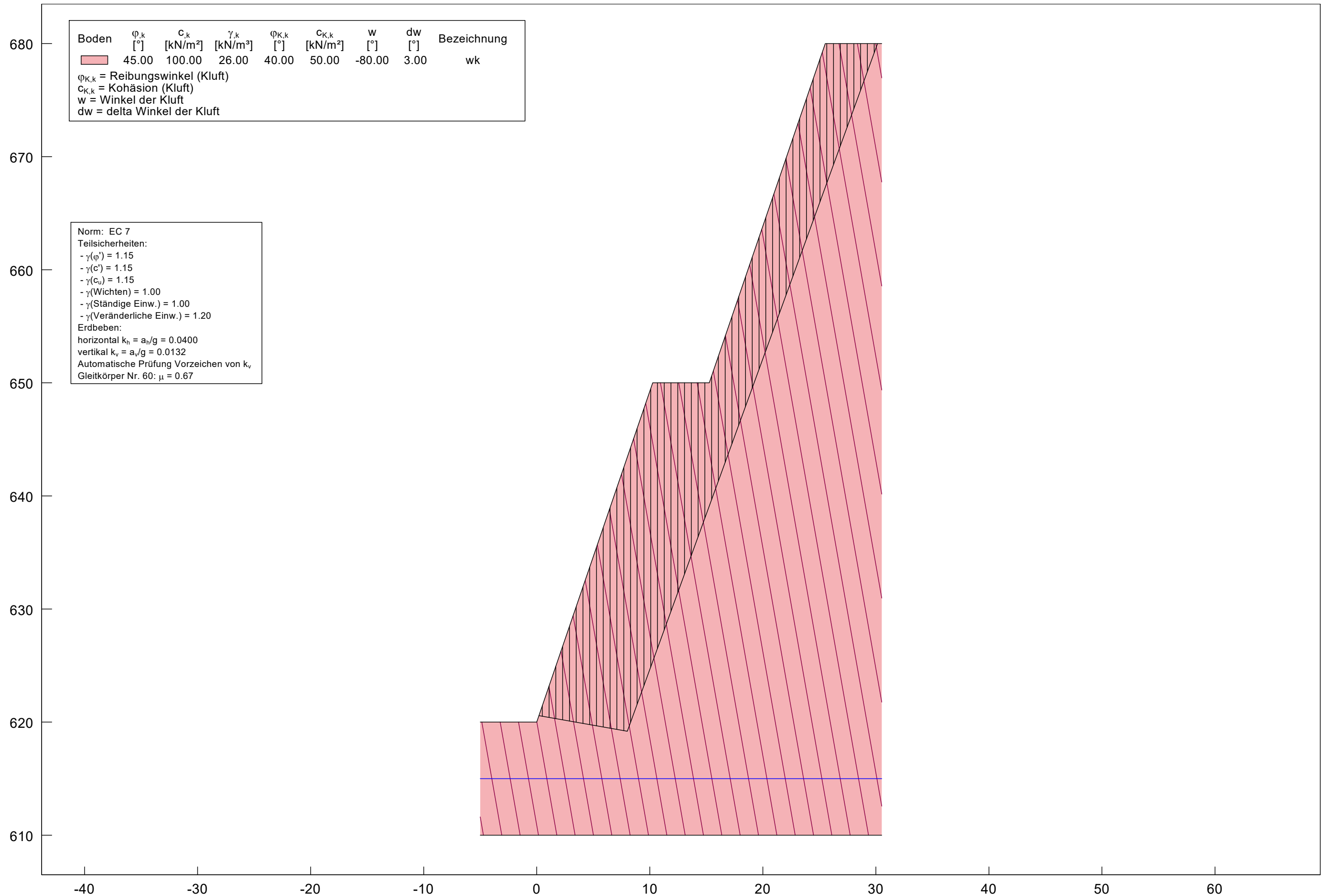


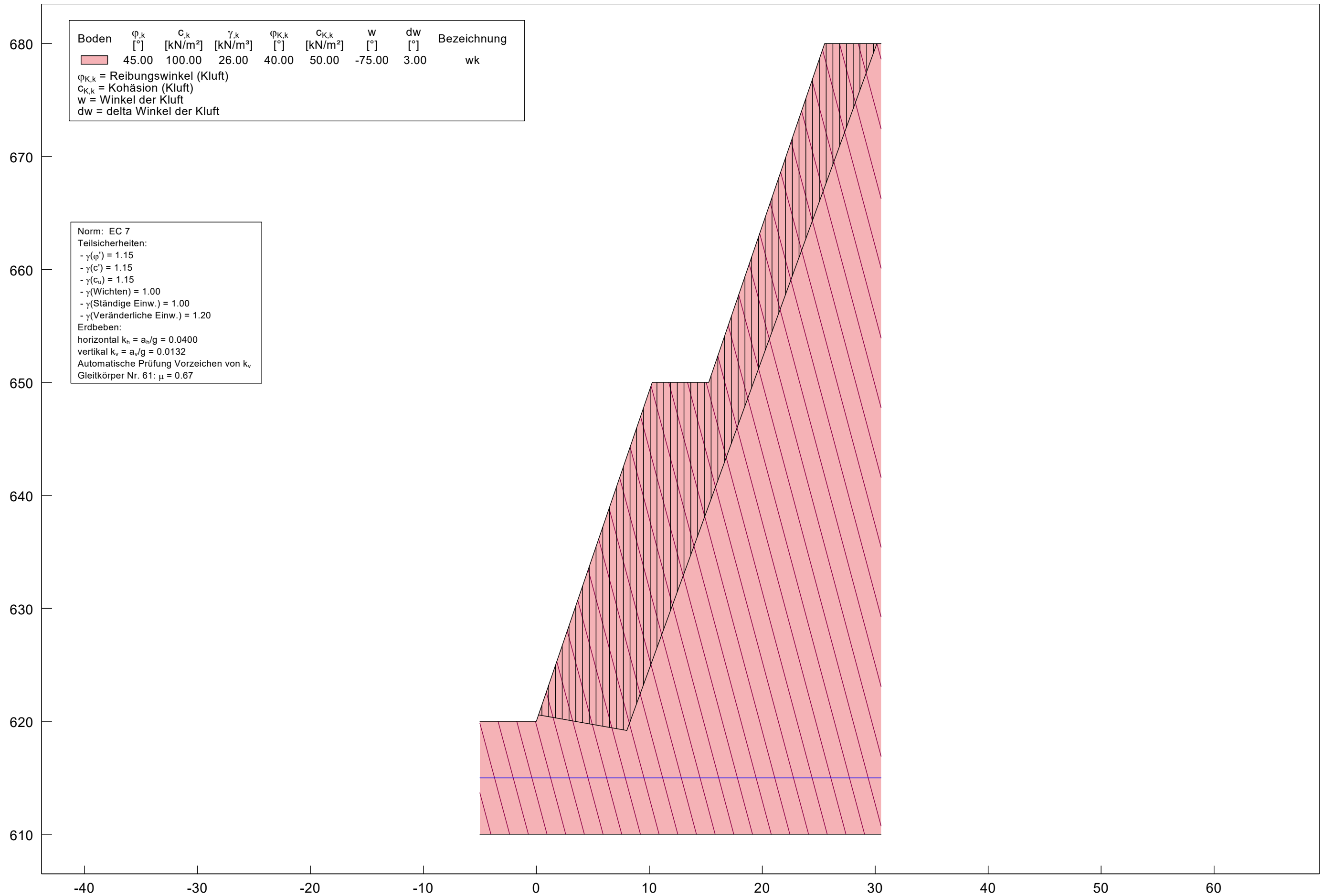


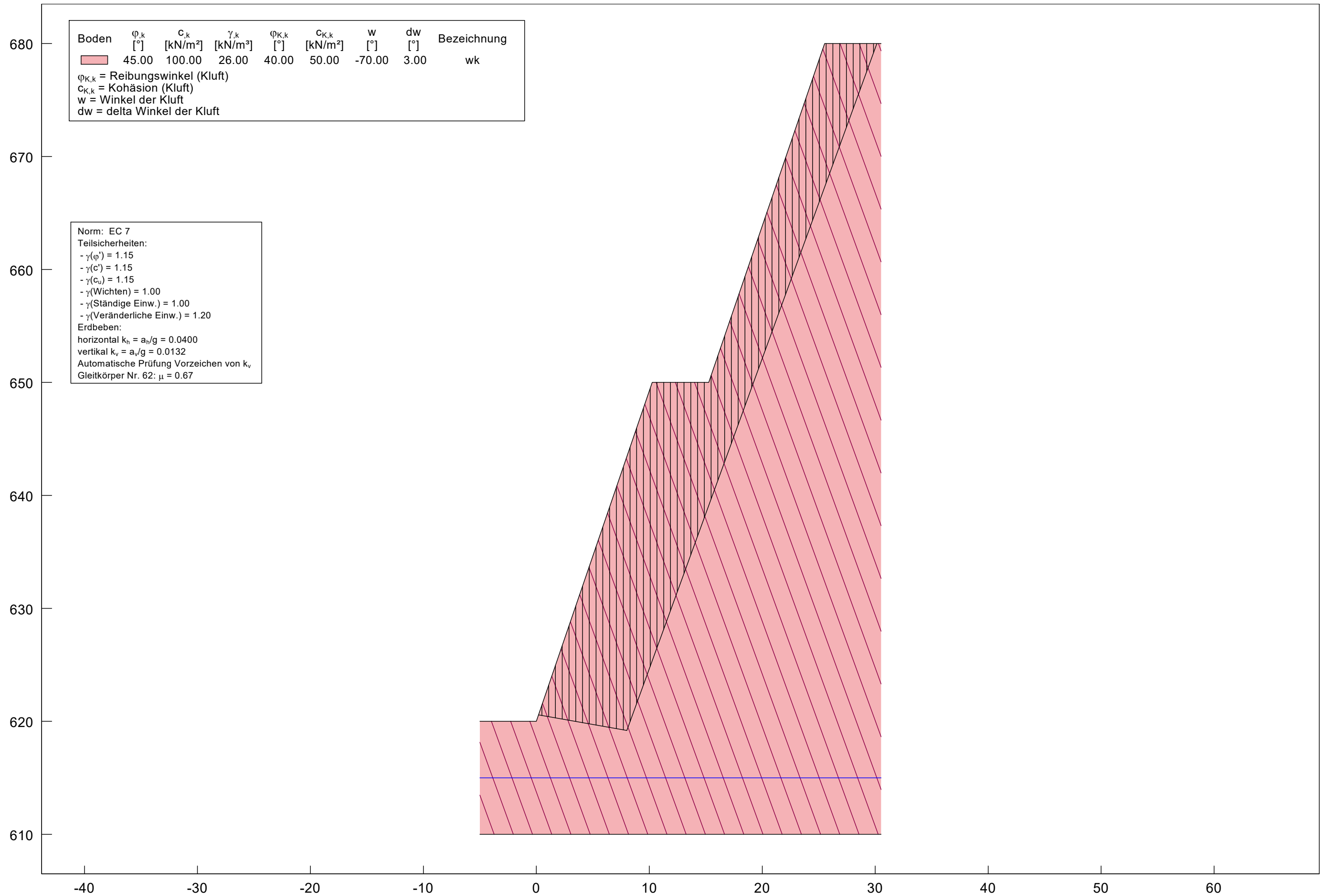


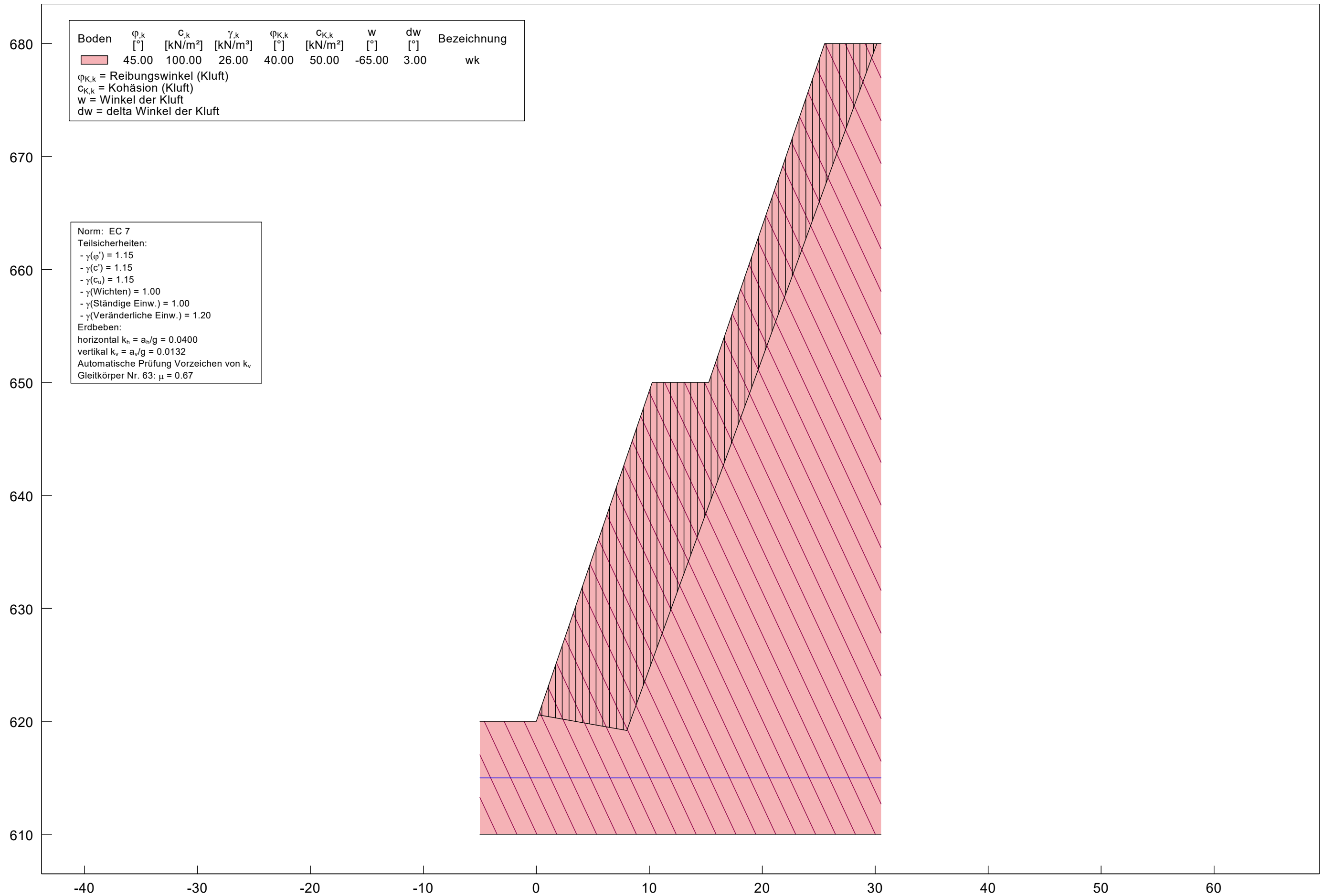


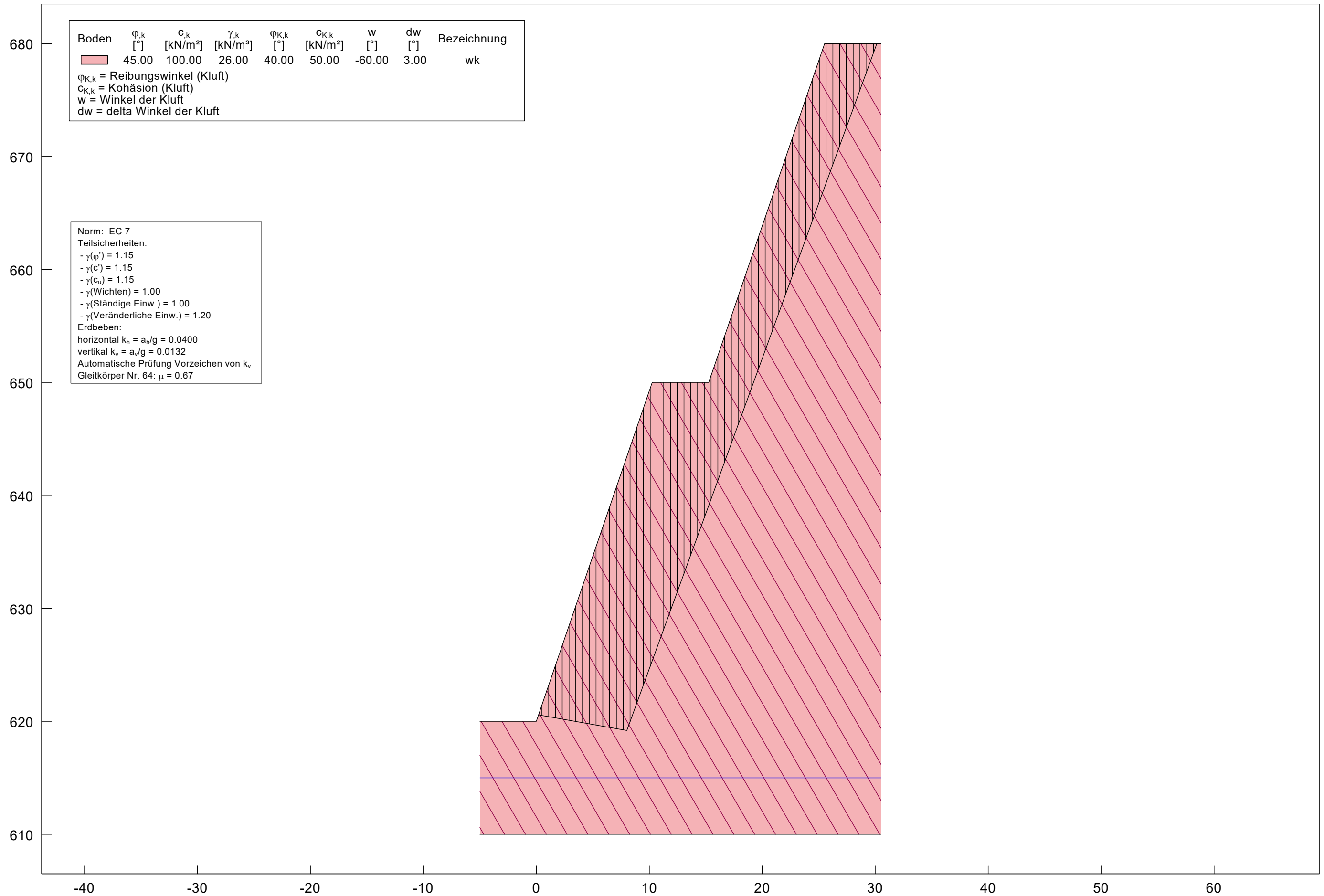


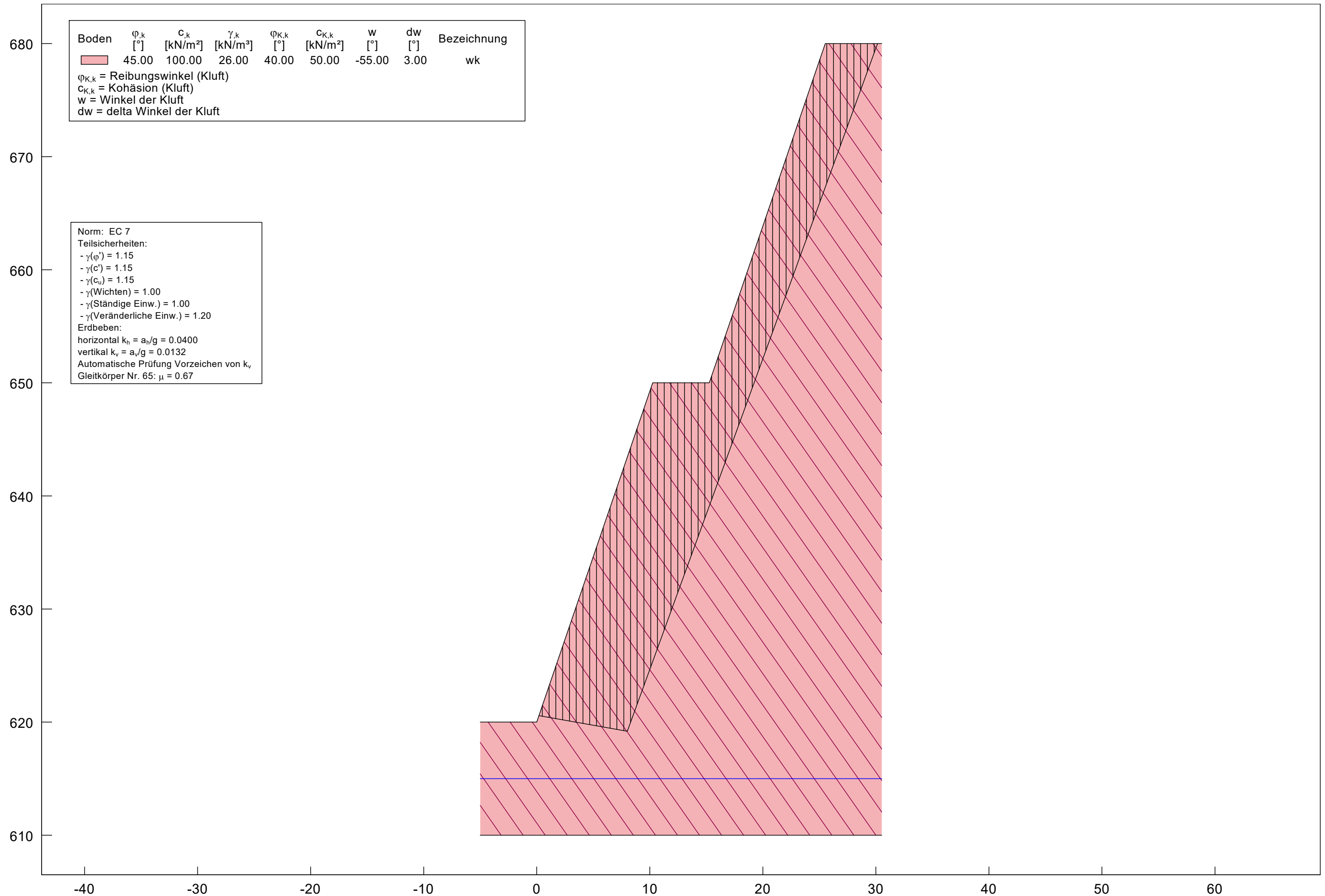








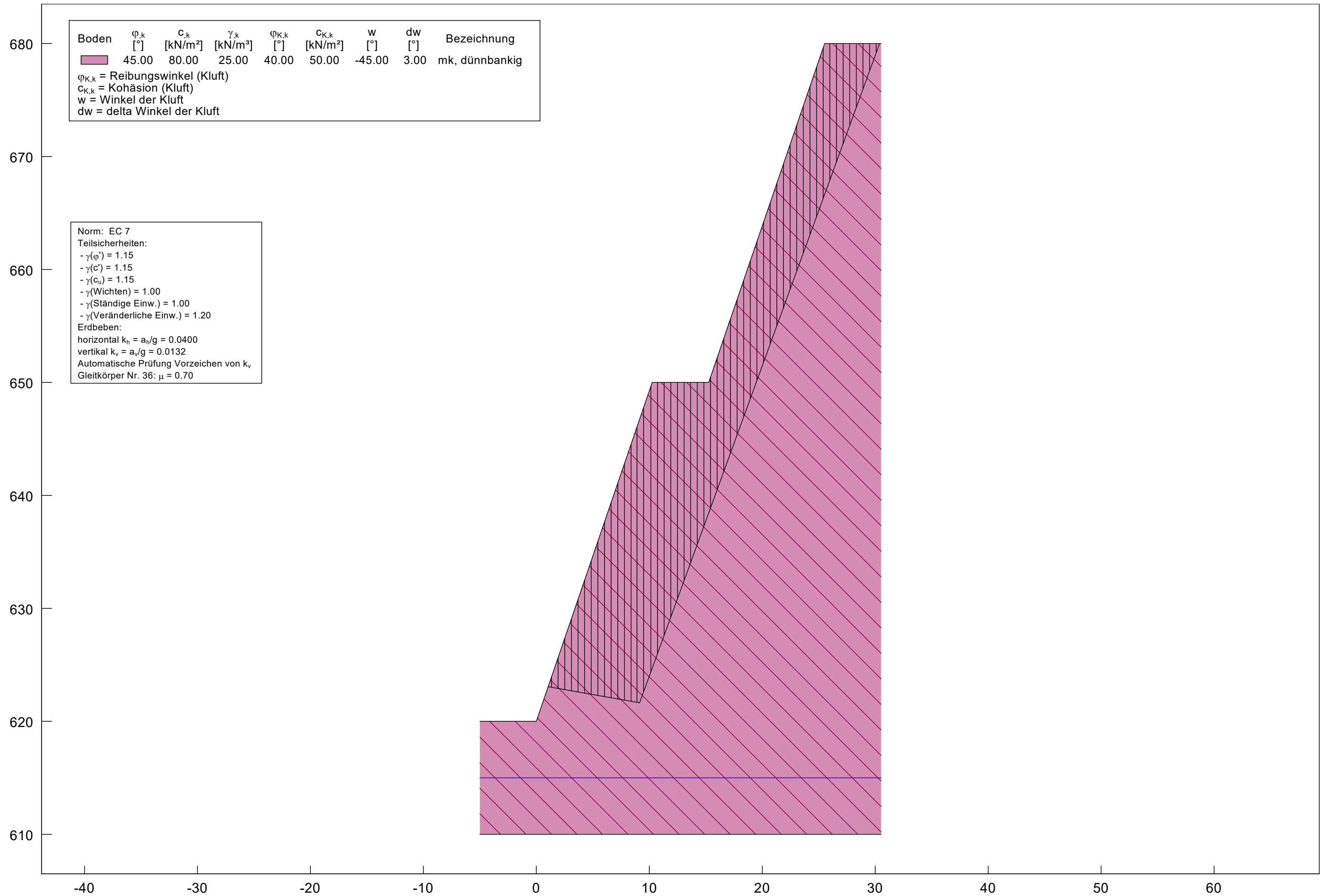


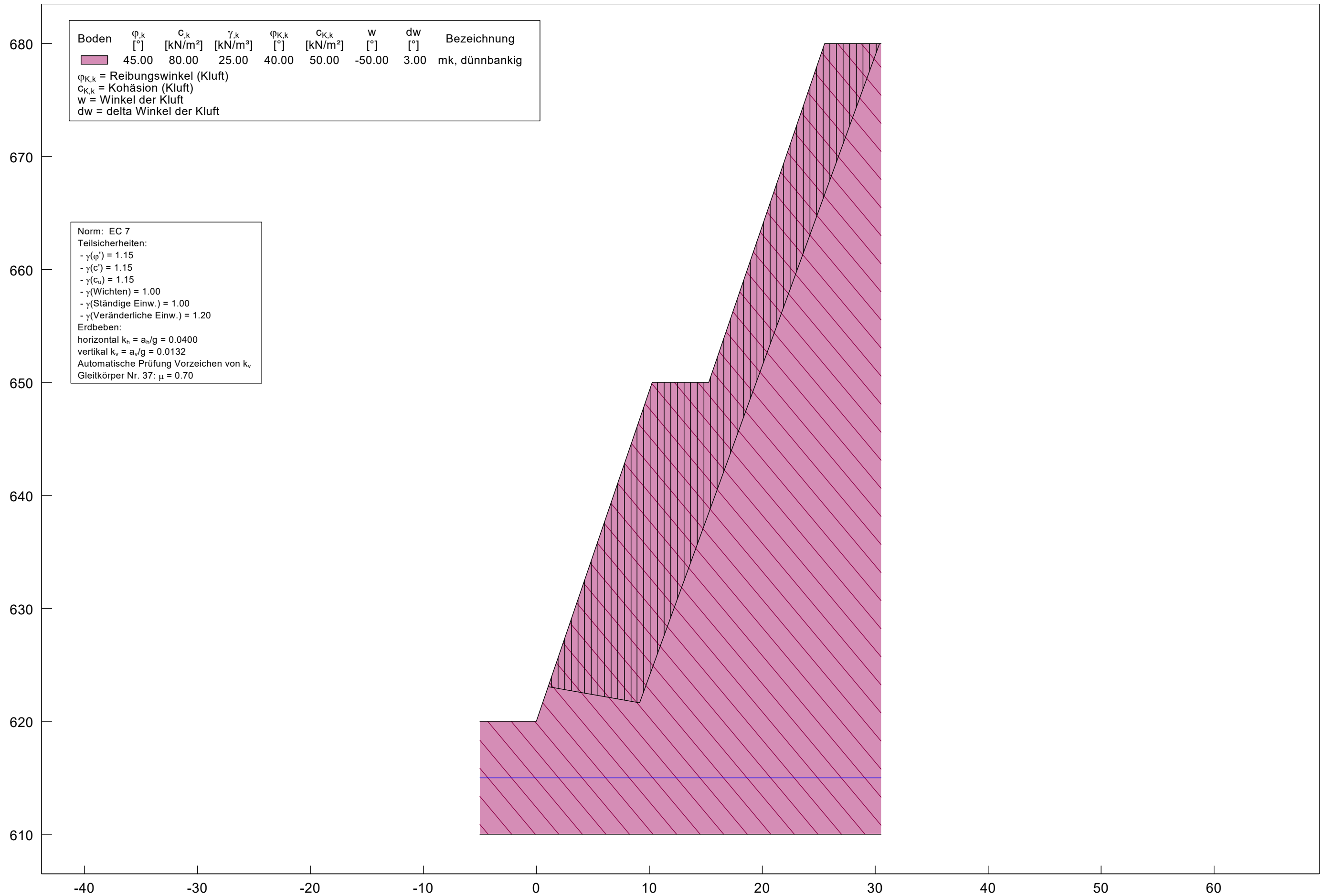


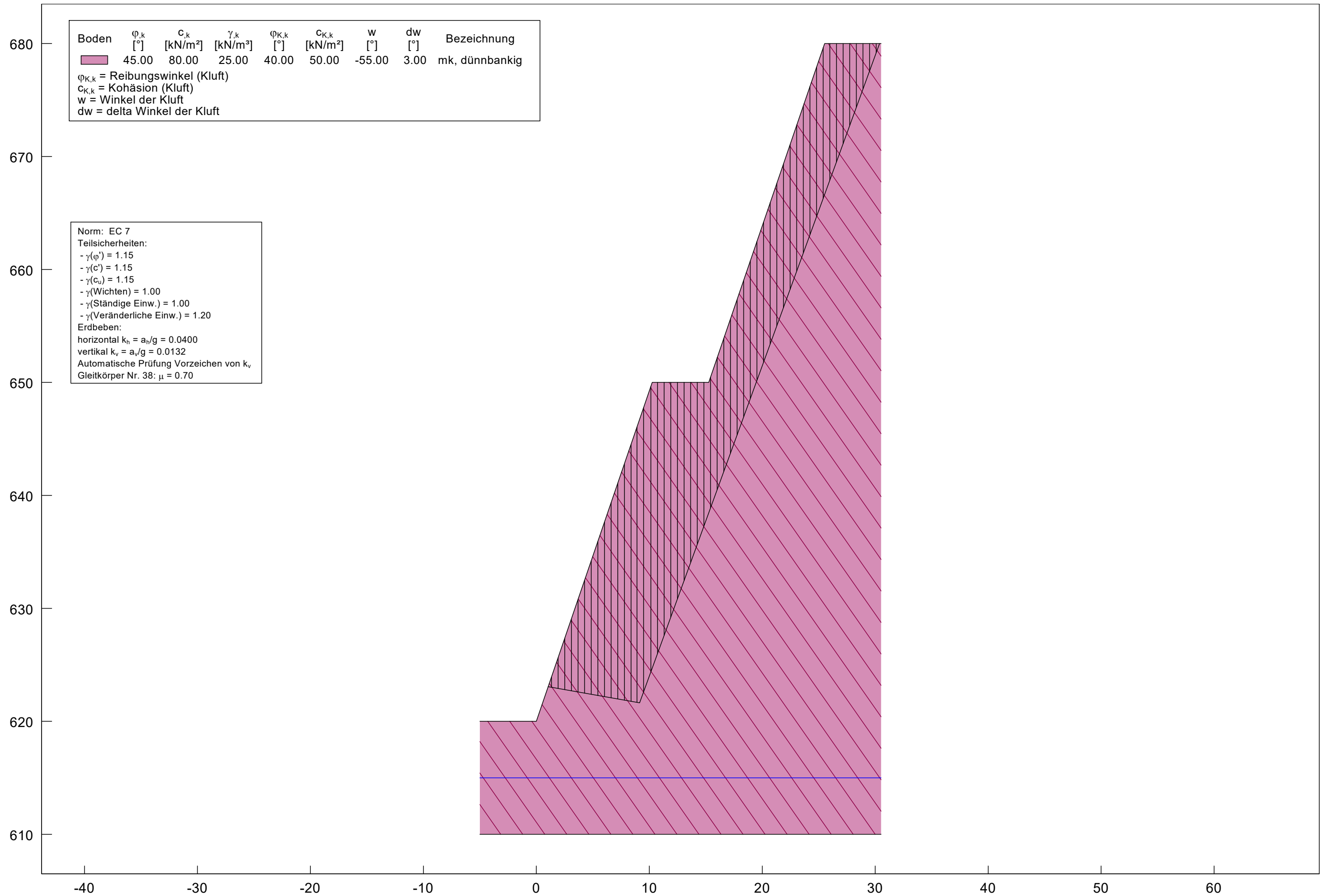
Steinbruch Überfilzen

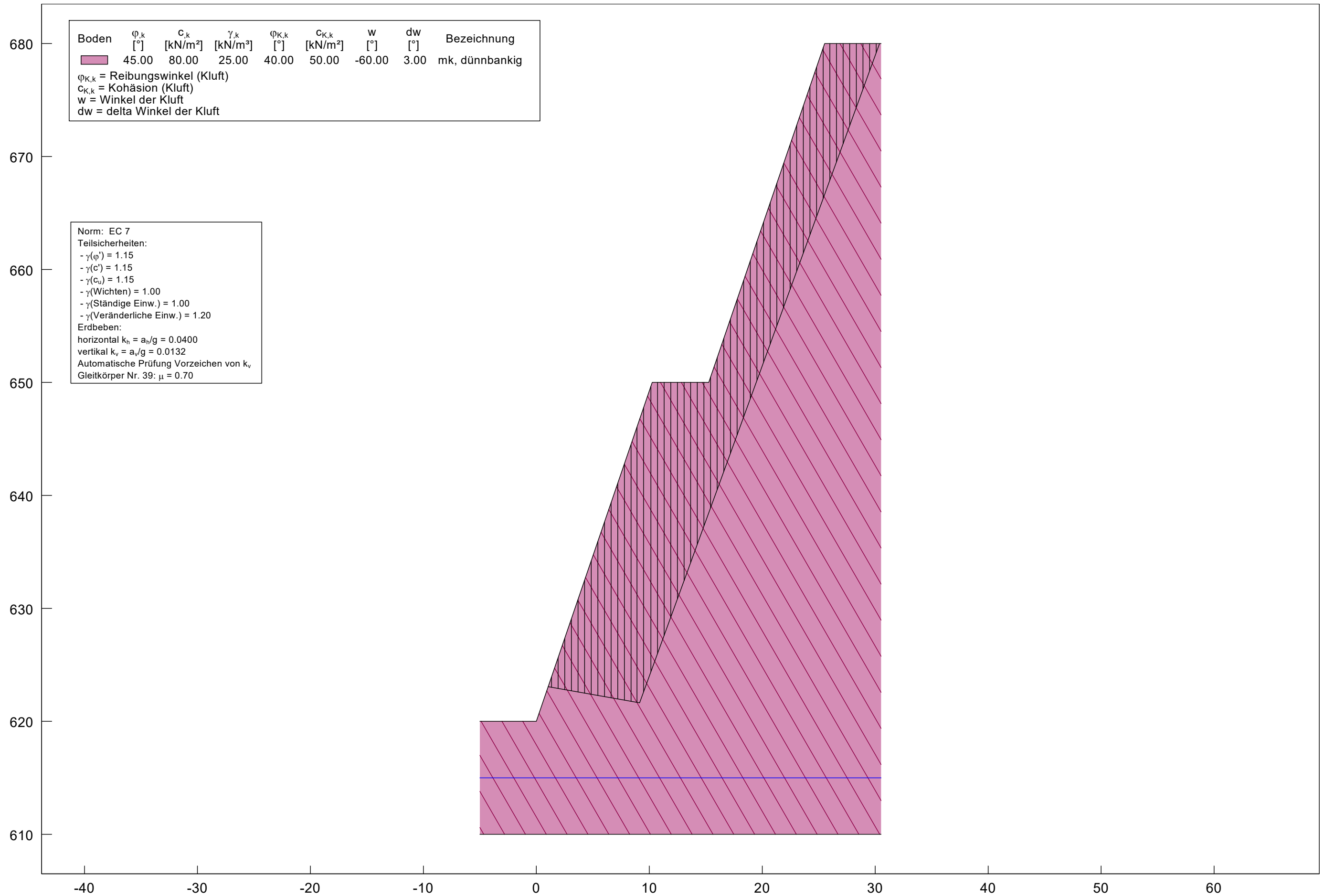
Geologisch – geotechnischer Bericht

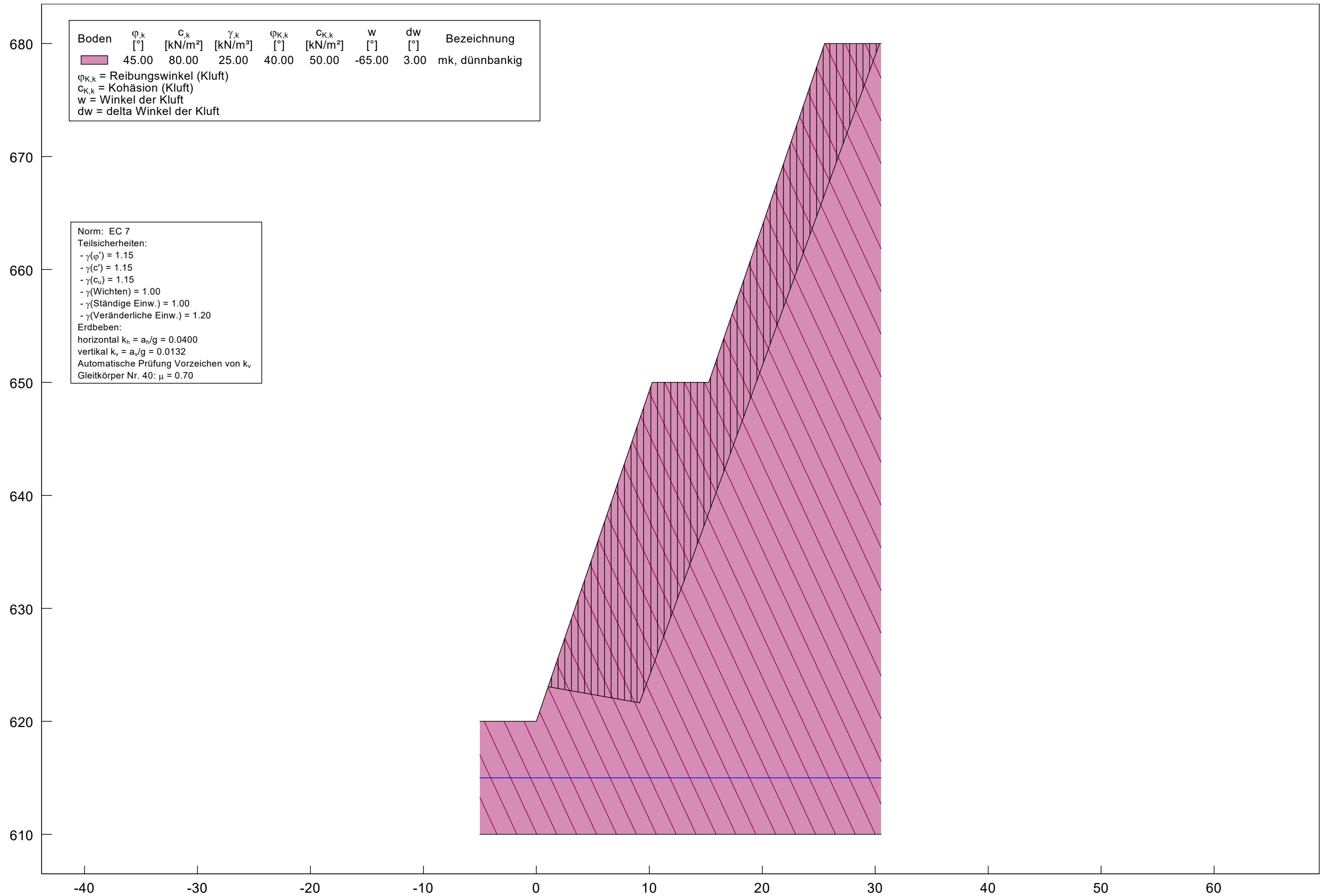
Anlage 6.2.3 Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen

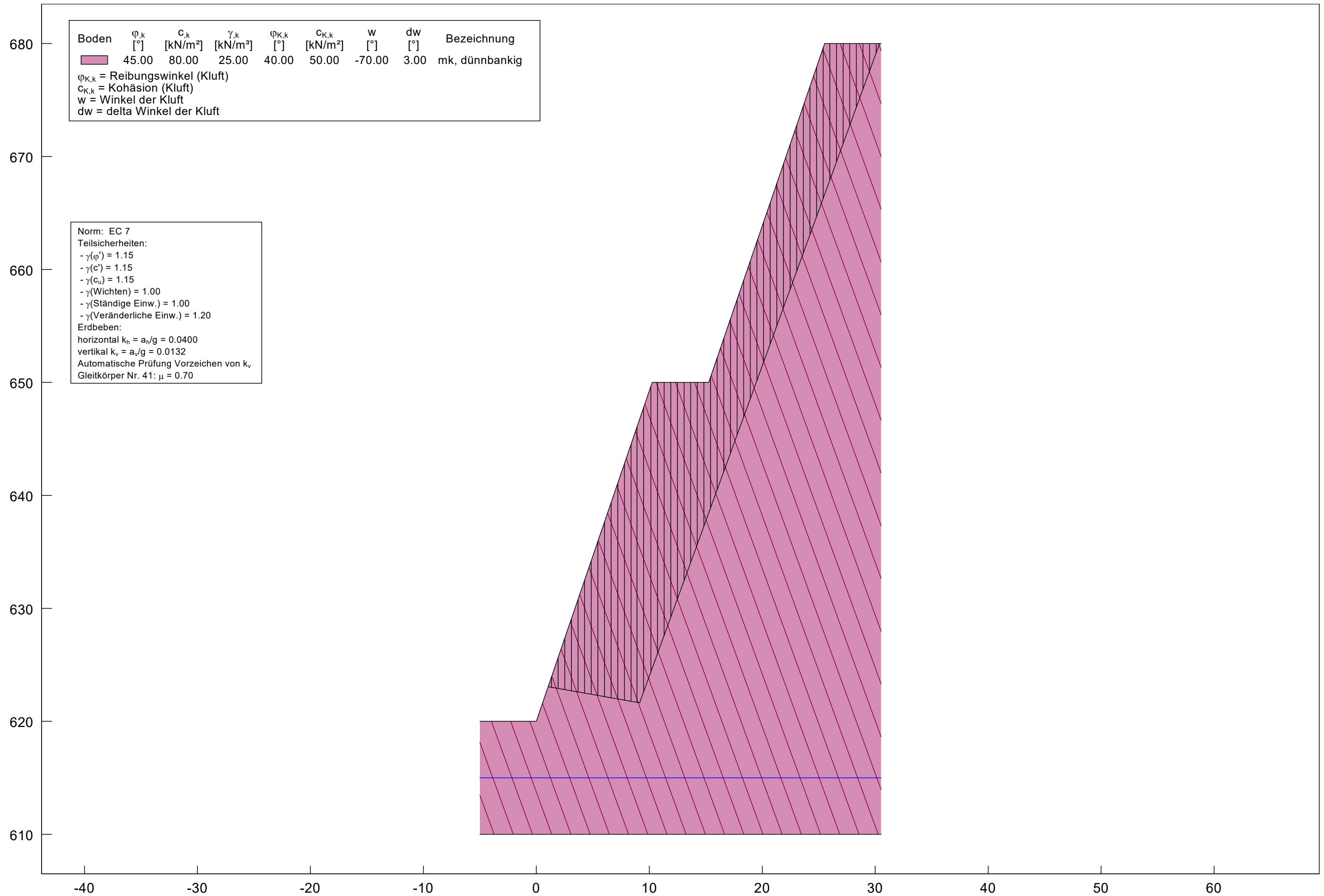


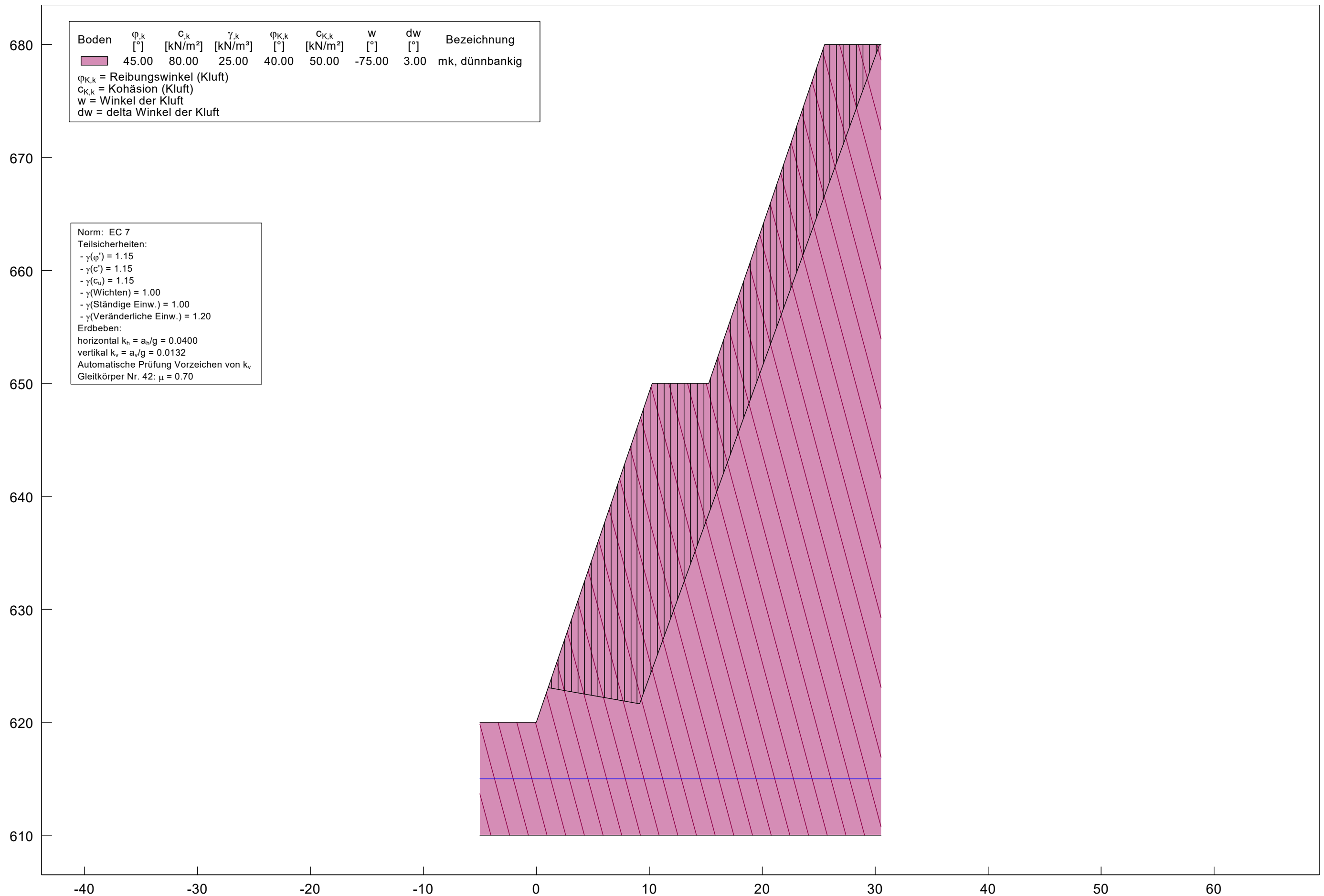


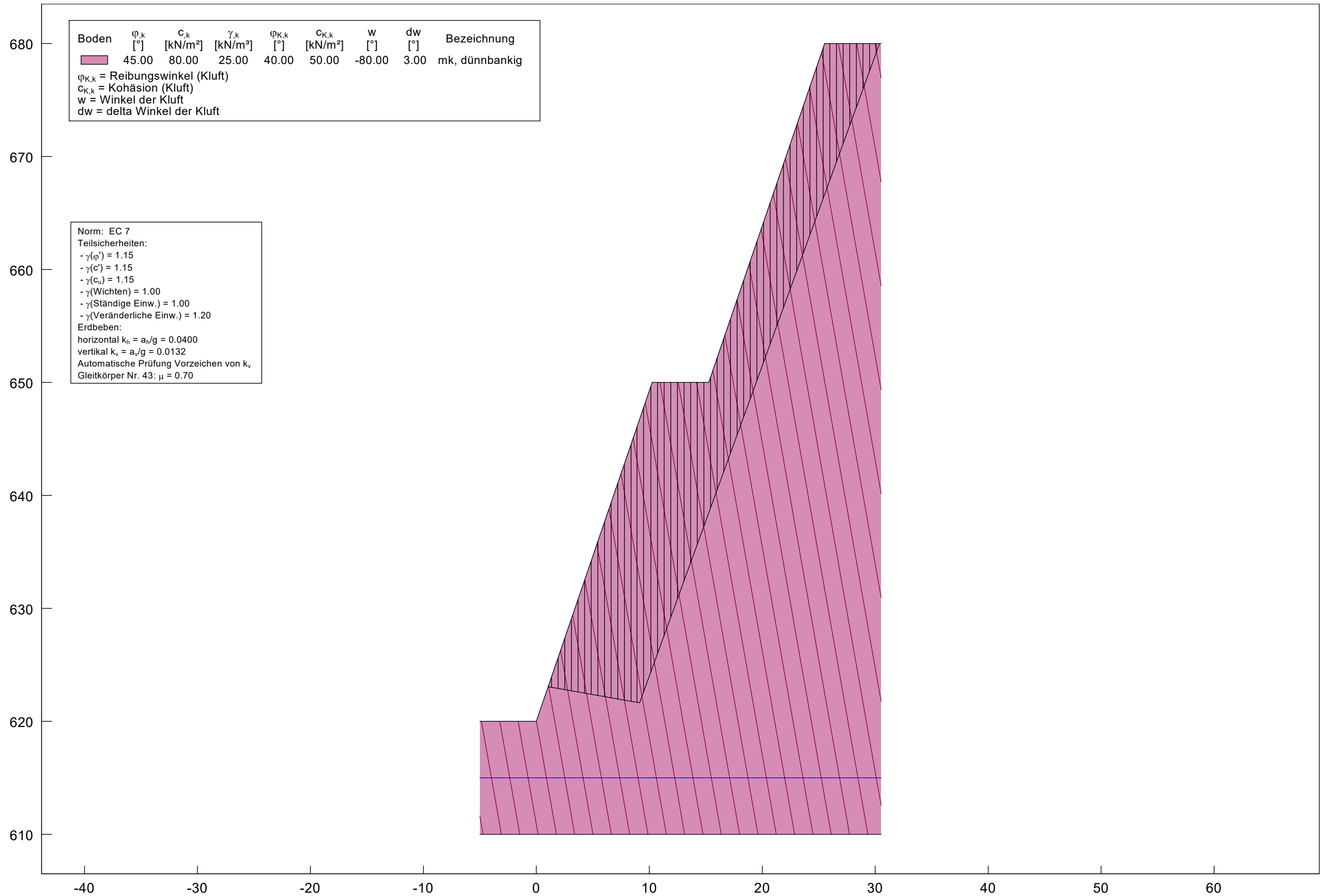


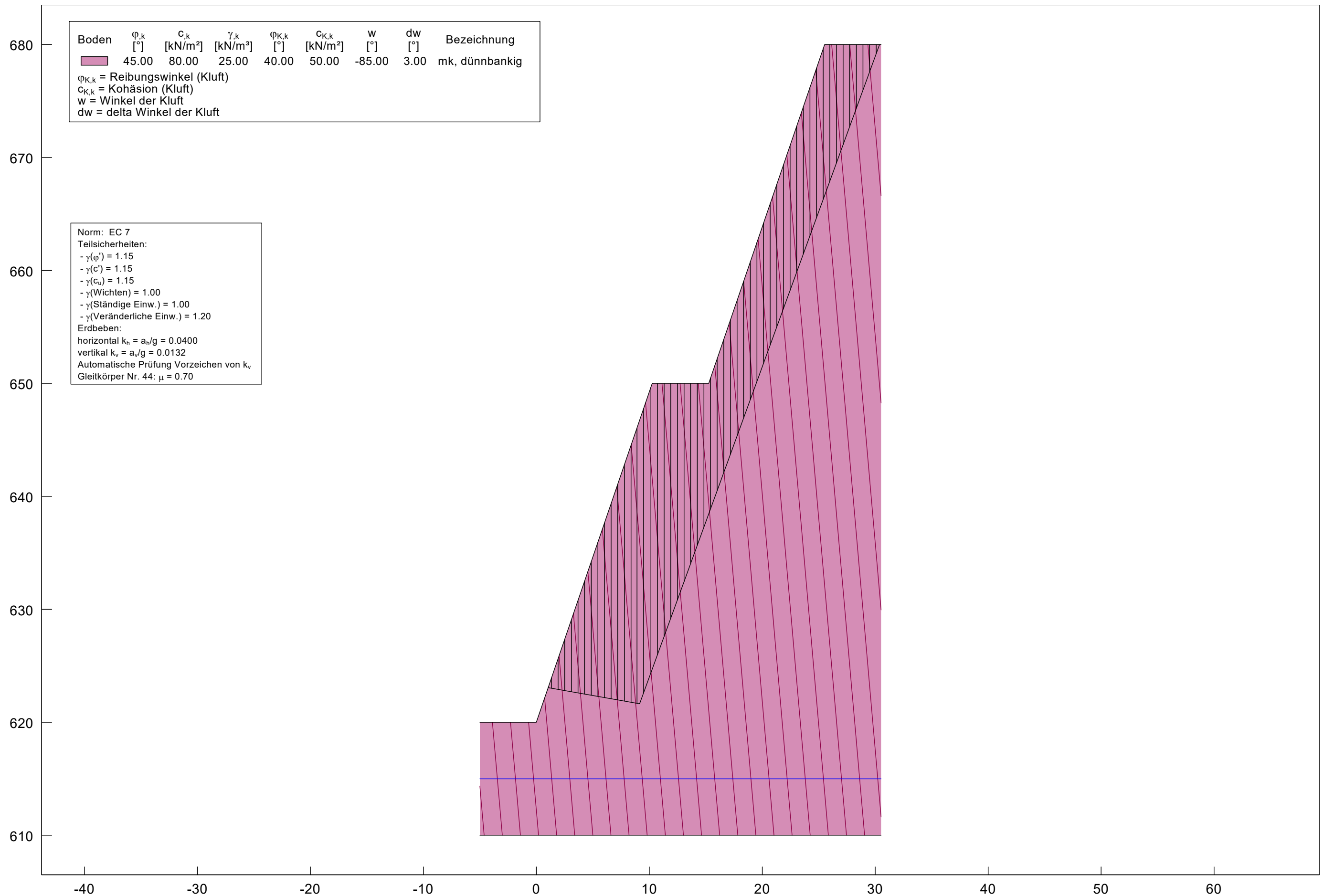


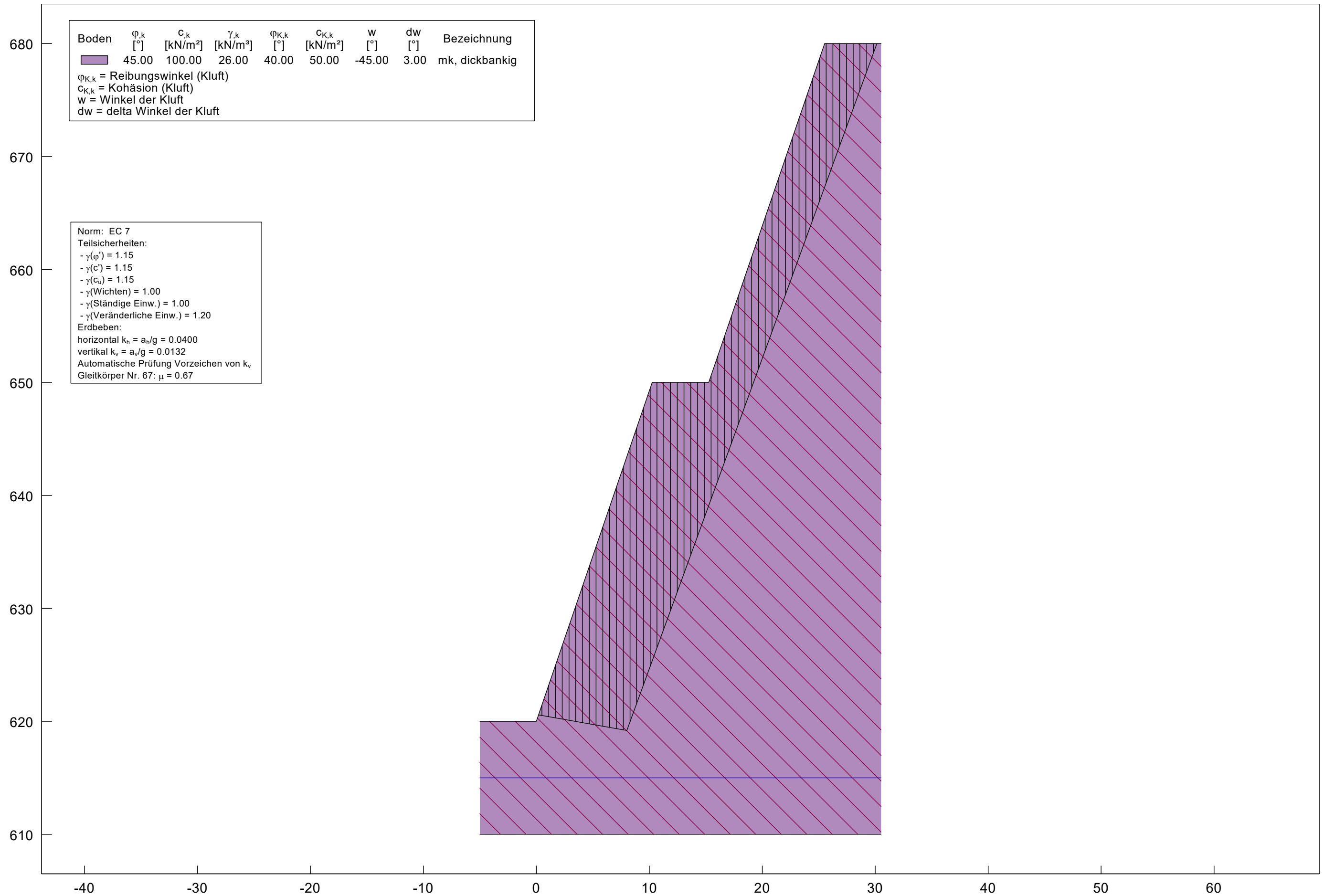


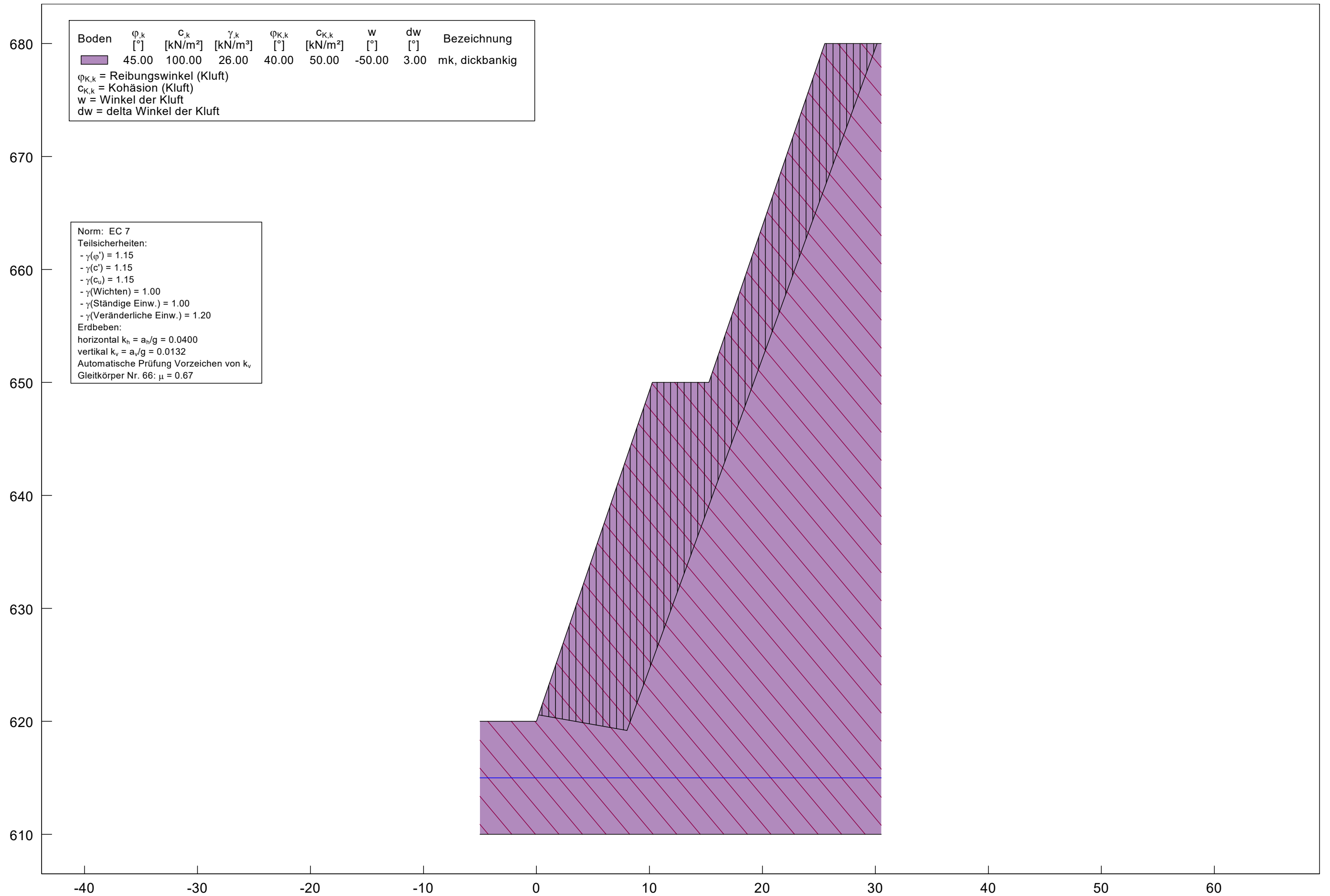


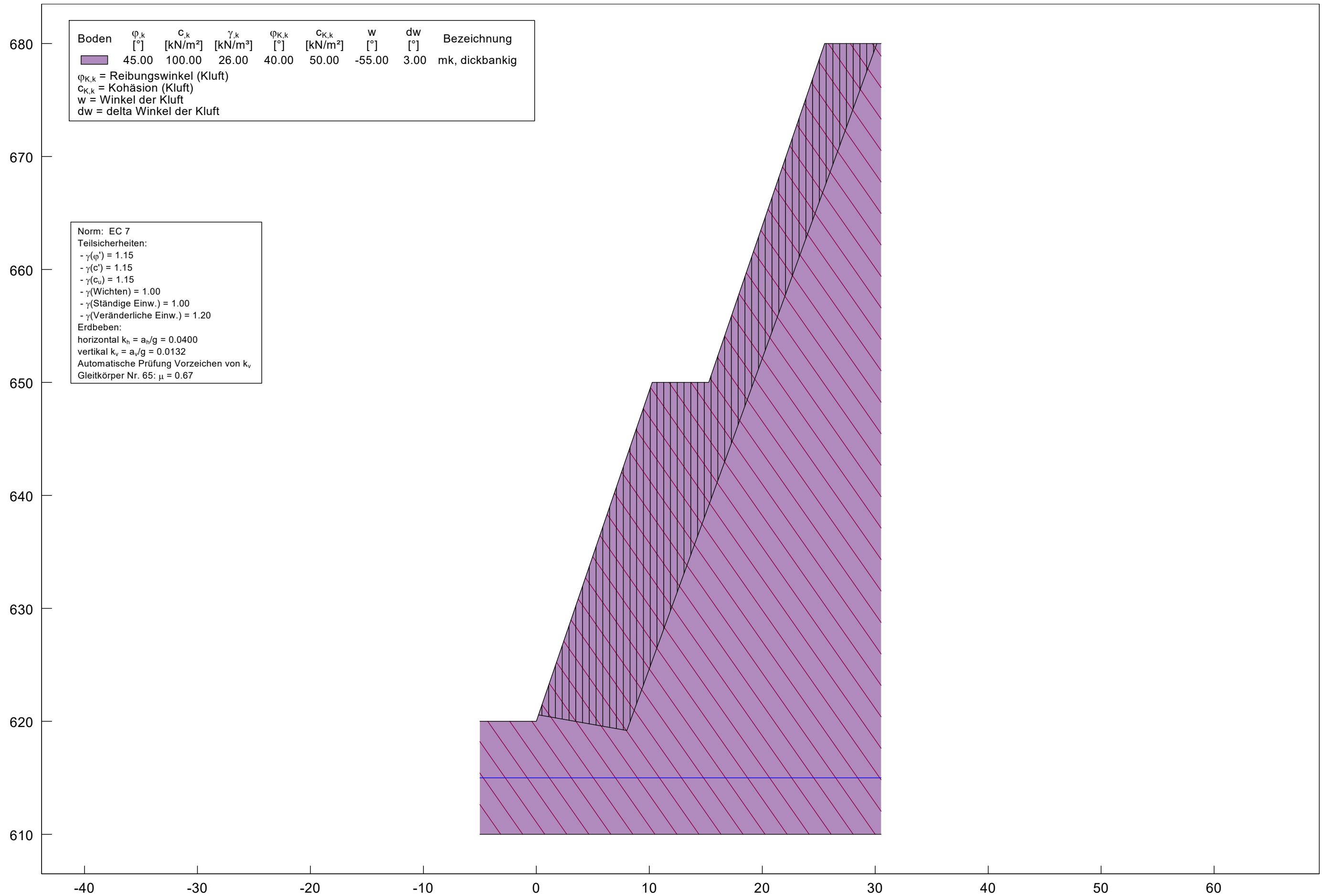


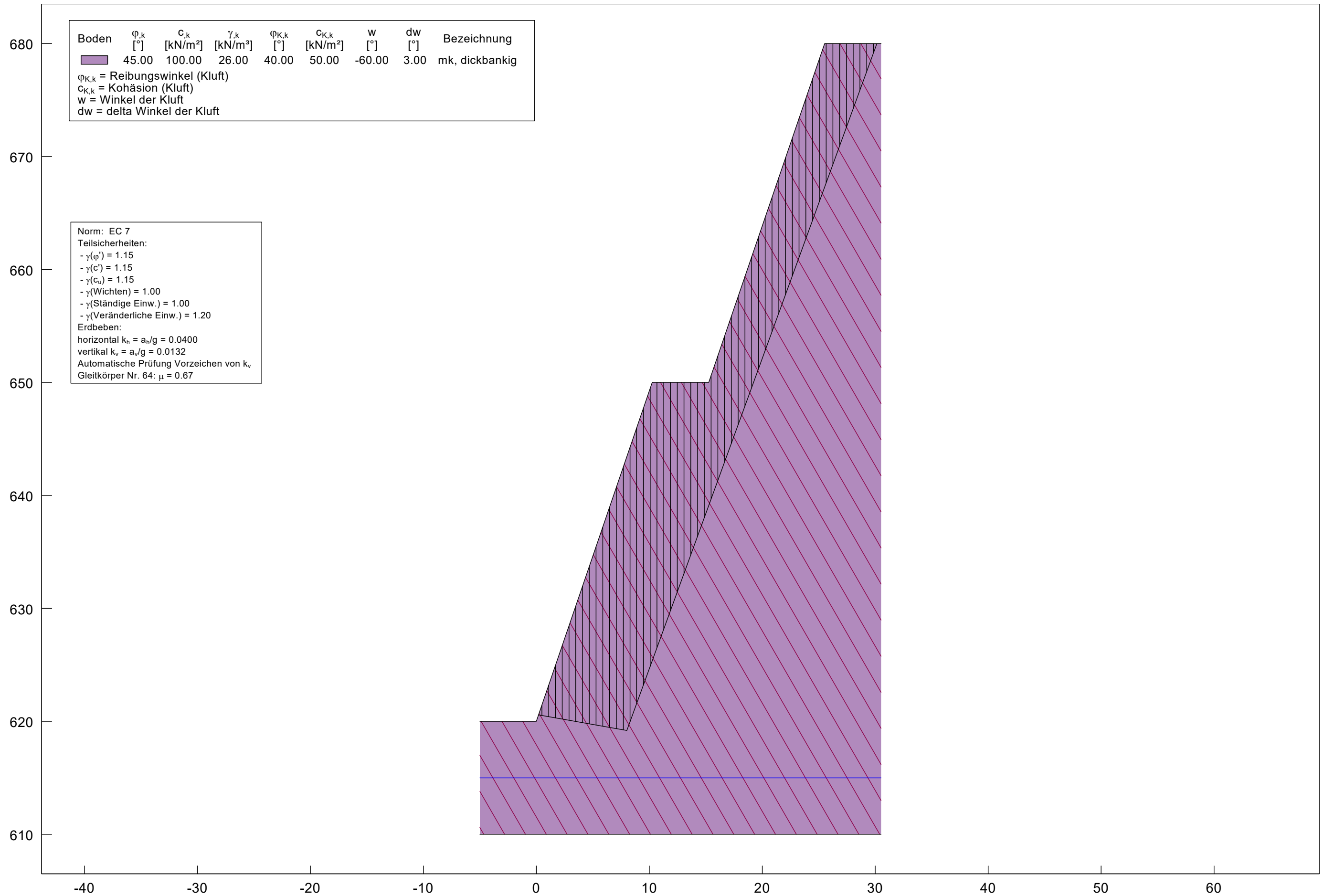


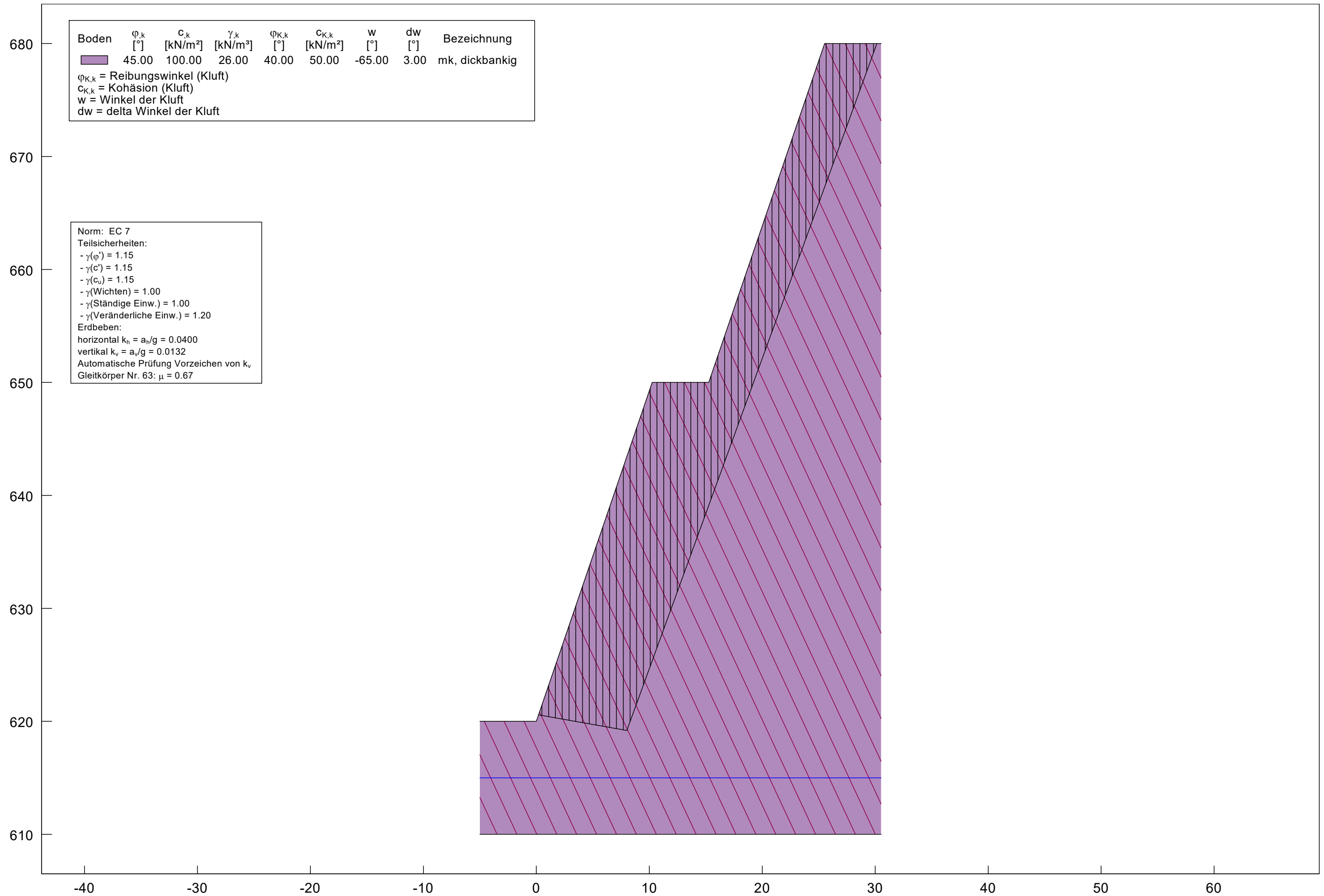


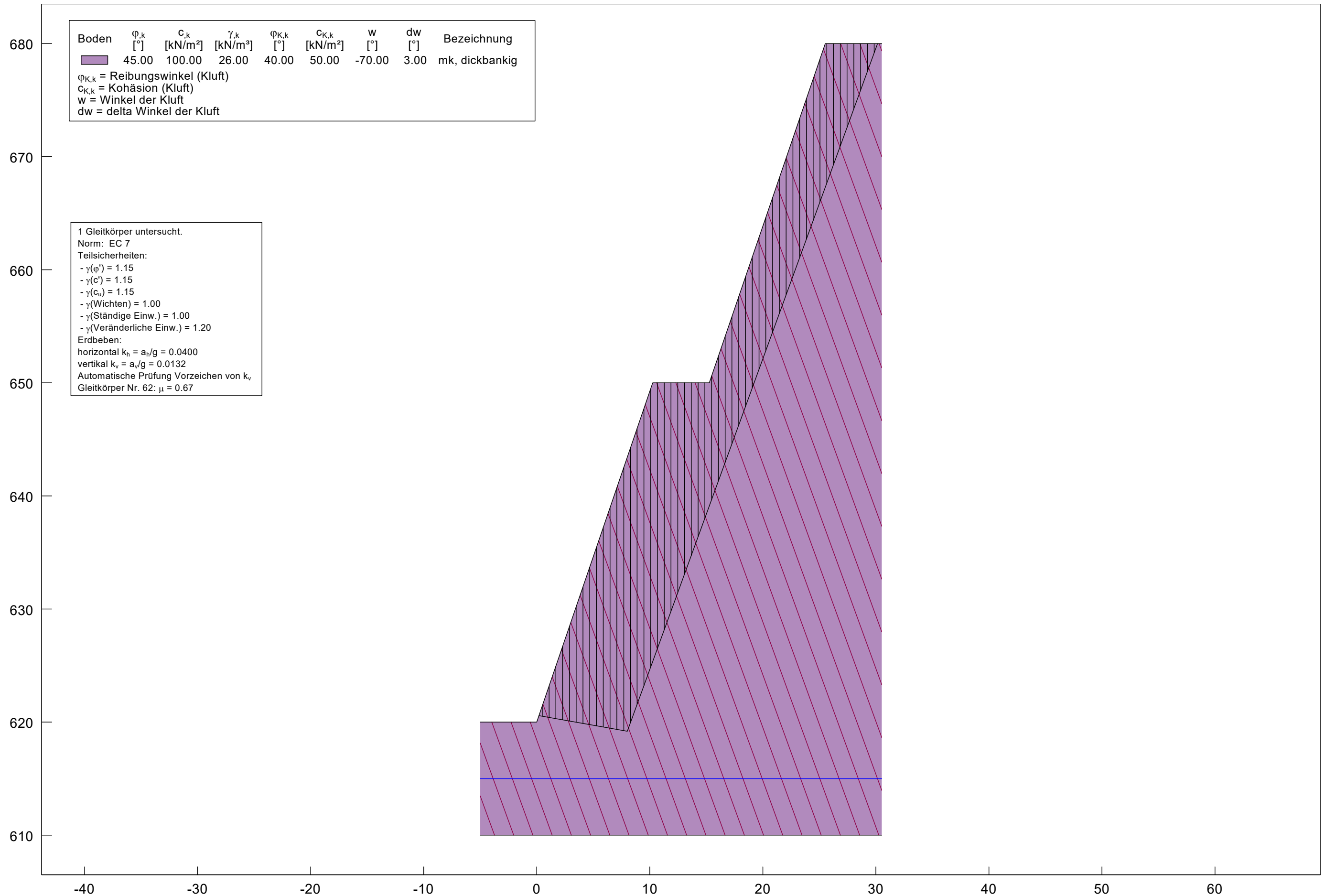


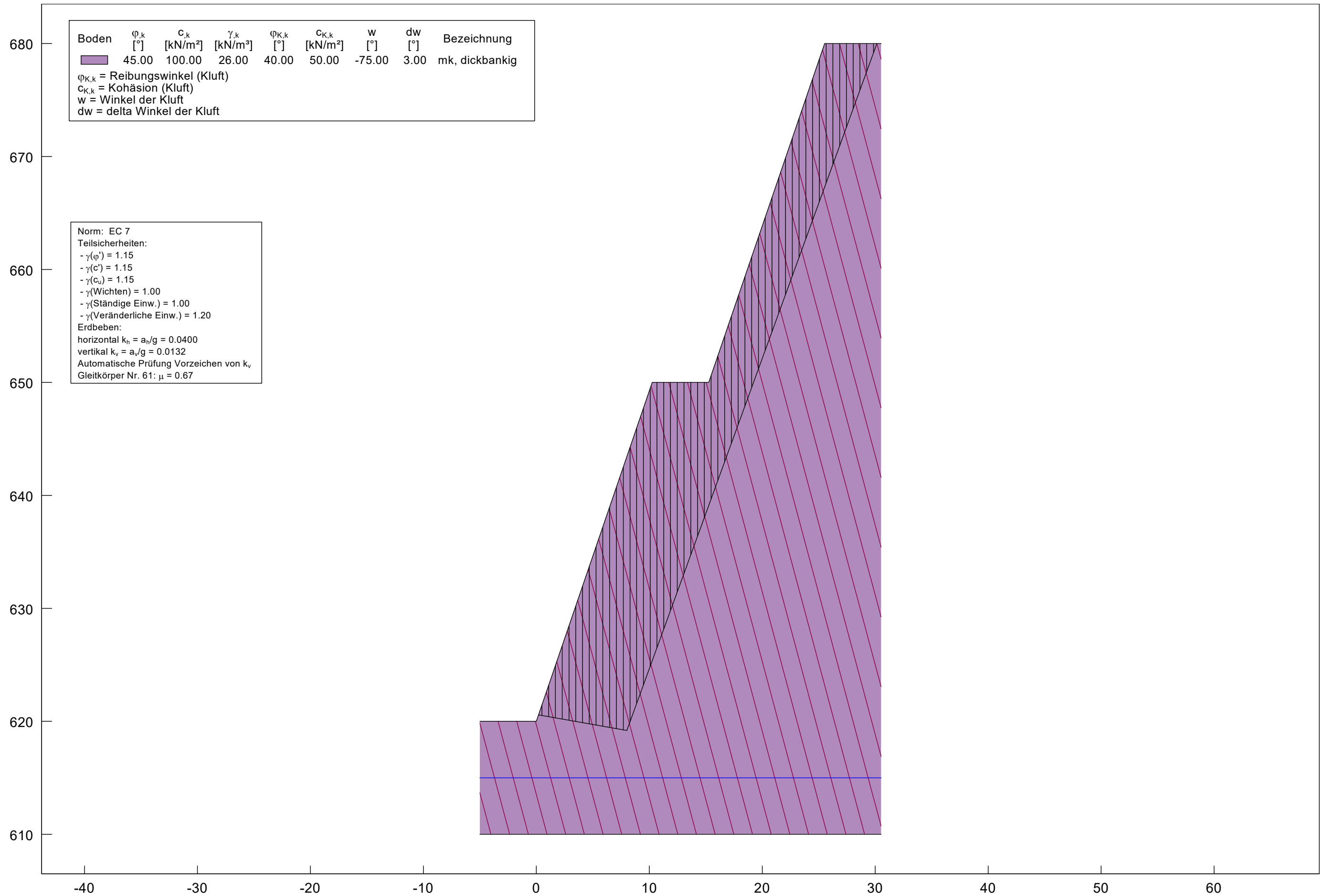


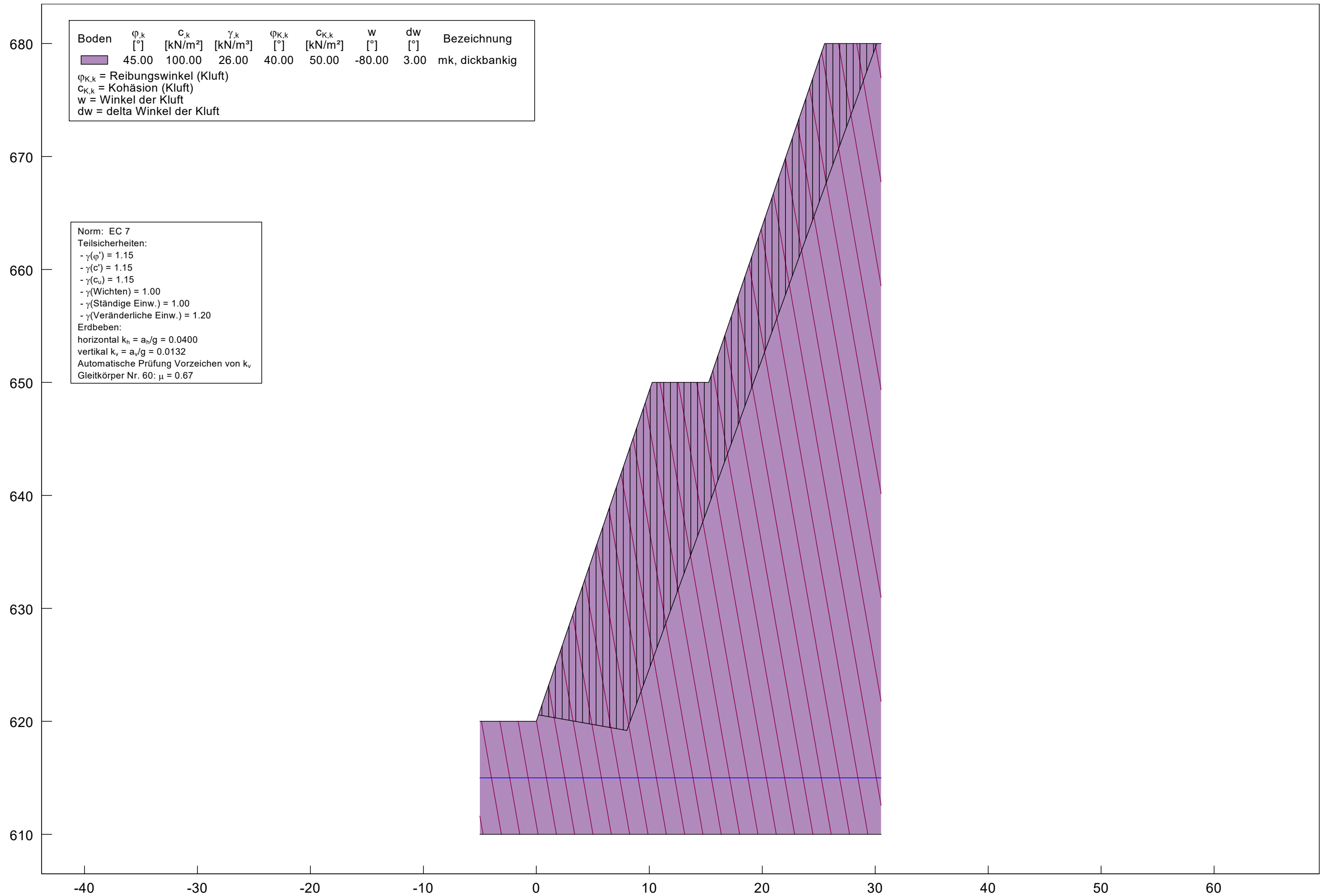


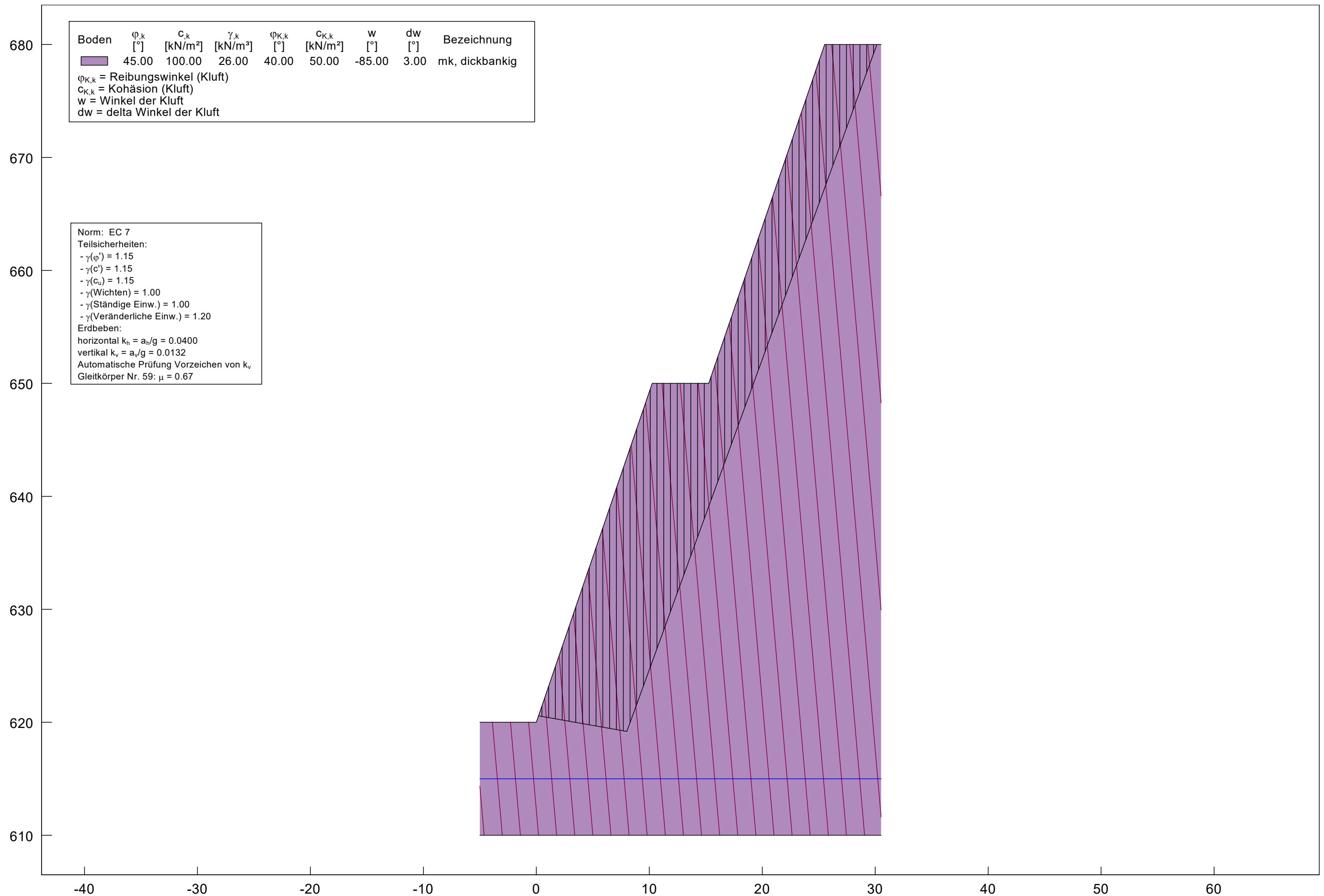












Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 6.2.4 Betrachtung der Böschungen im Hang- & Verwitterungsschutt

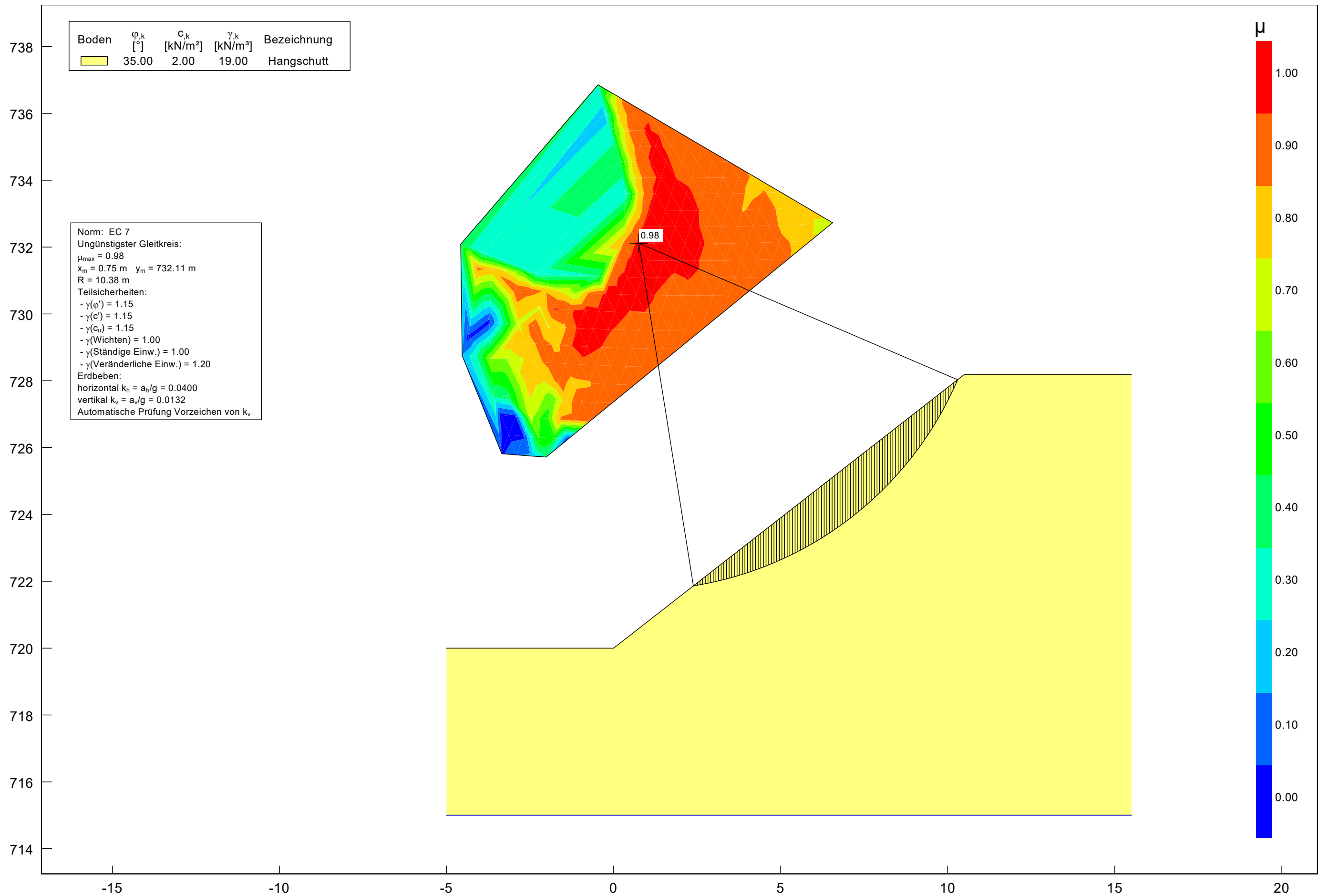


Baugeologisches
Büro Bauer GmbH
Domagkstraße 1a
80807 München

Steinbruch Überfilzen Böschung Abbau

Projektnummer 05513

Anlage Nr. 6.2.4



Steinbruch Überfilzen

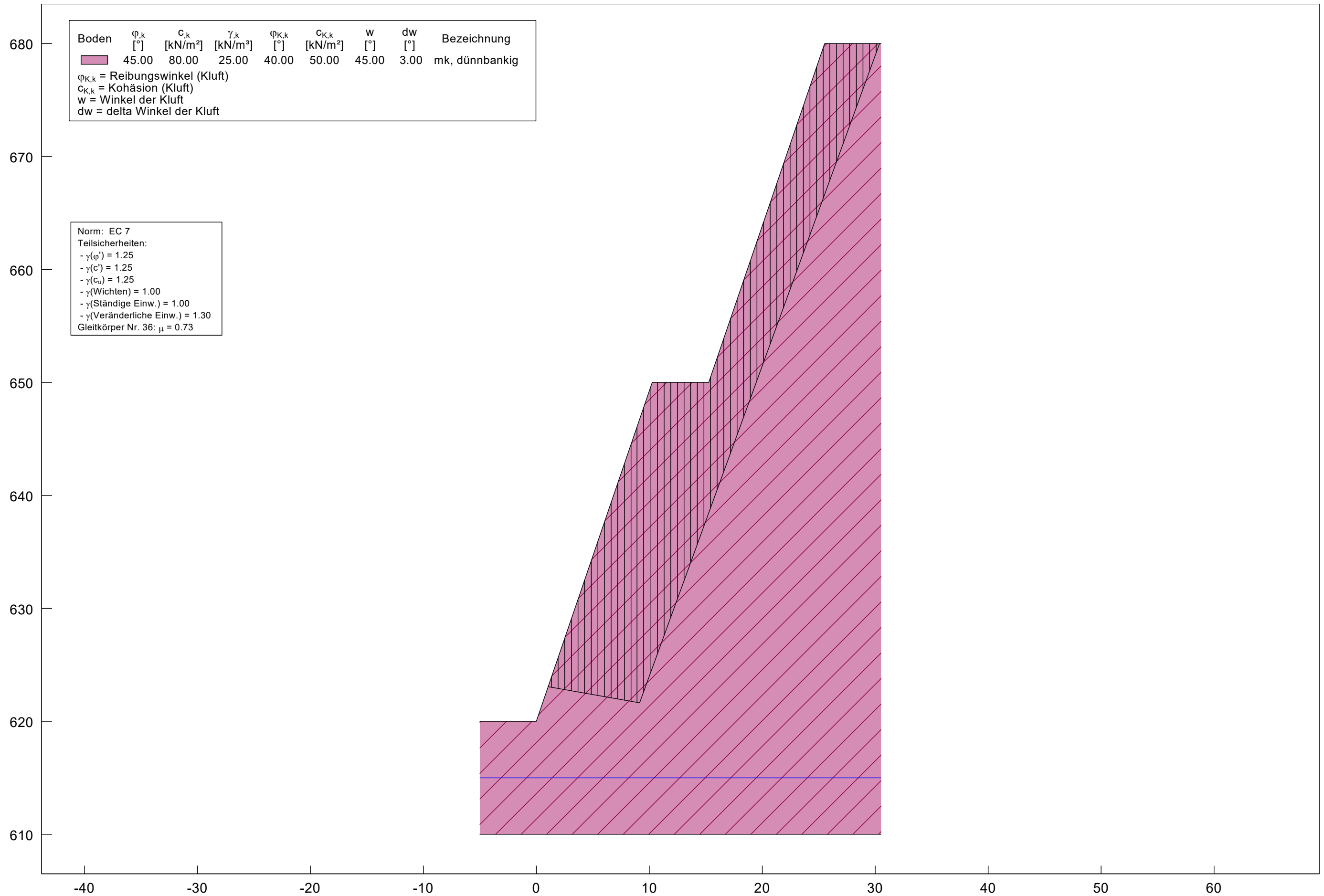
Geologisch – geotechnischer Bericht

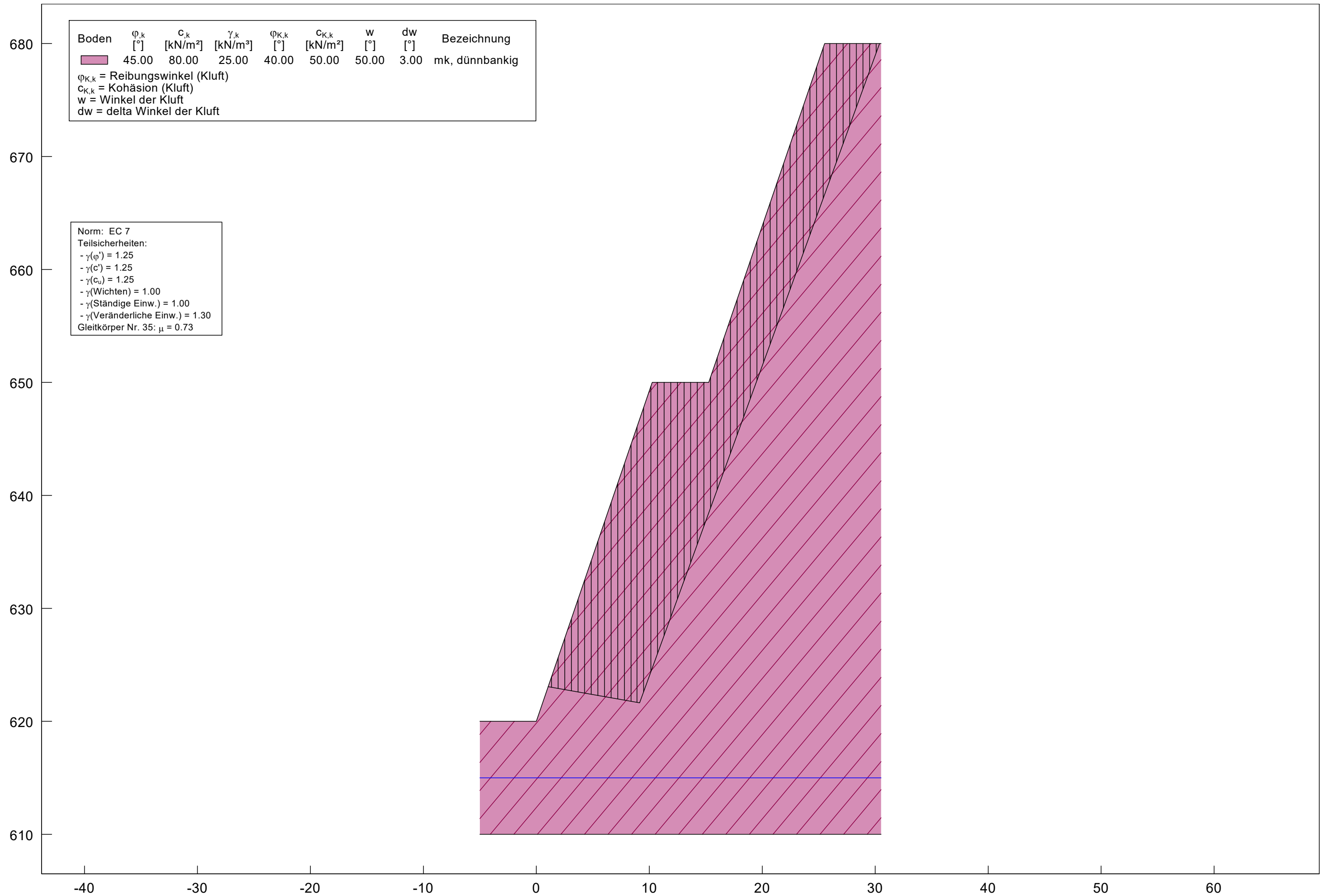
Anlage 6.3 Standsicherheitsbetrachtungen der Böschungen im Endzustand

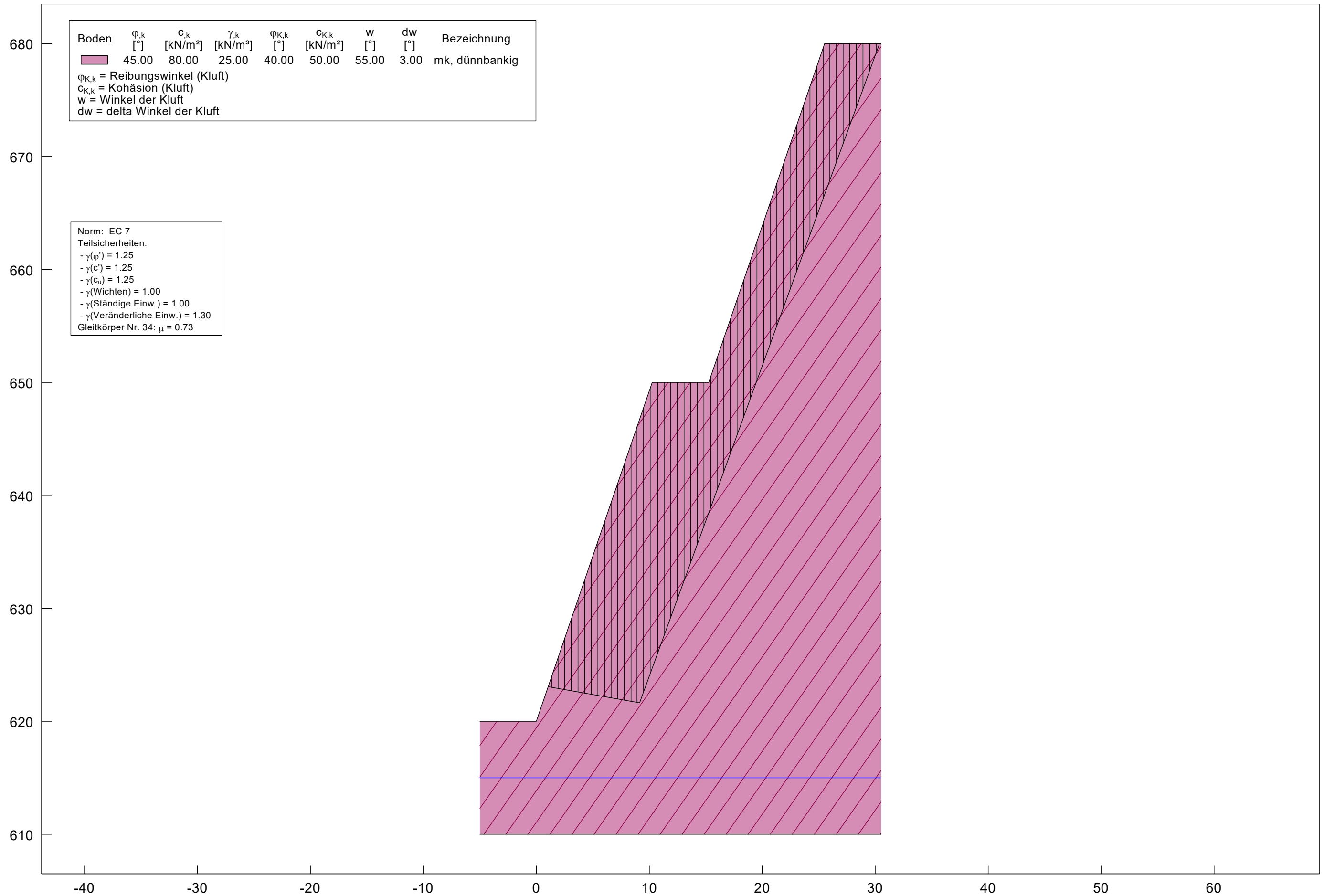
Steinbruch Überfilzen

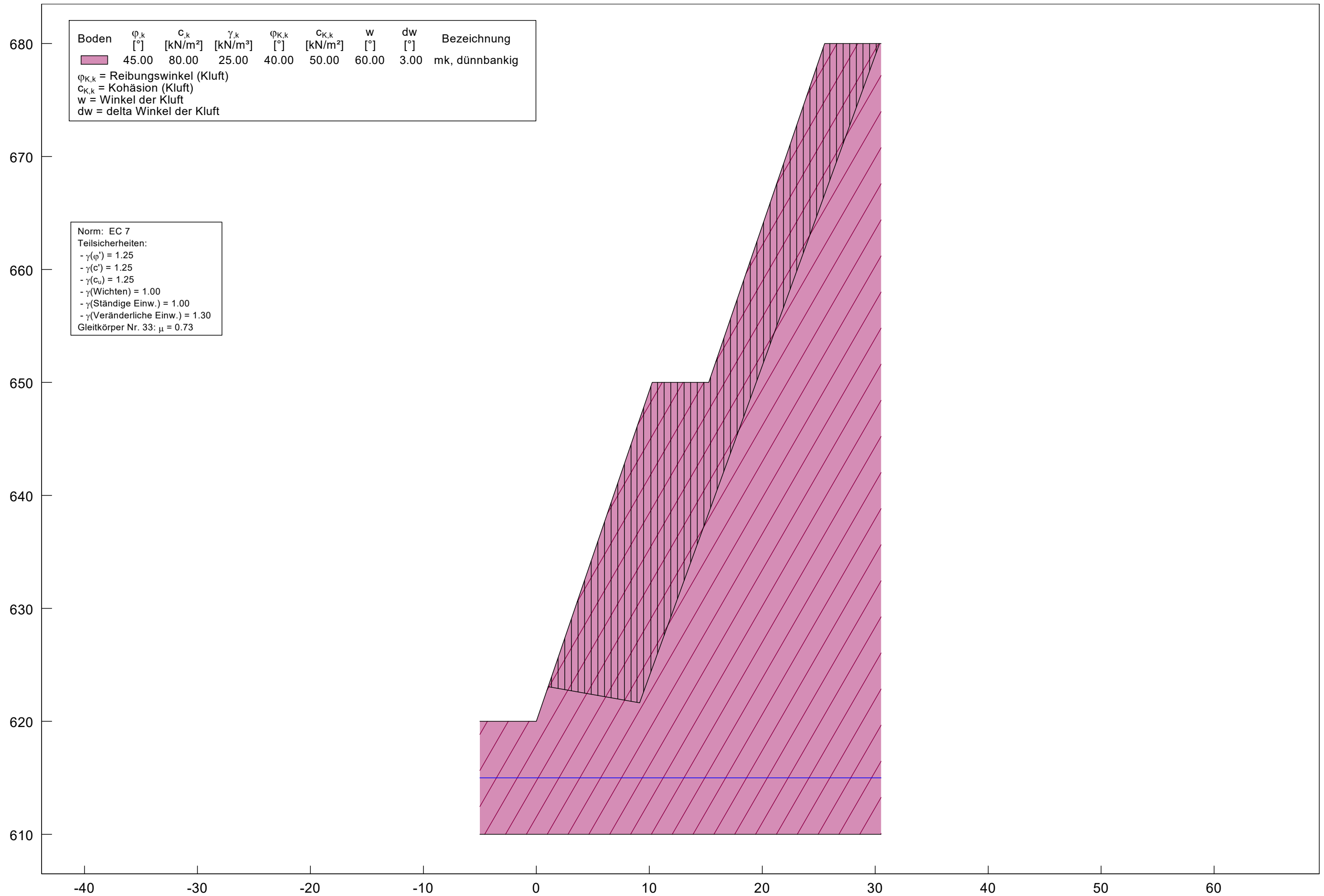
Geologisch – geotechnischer Bericht

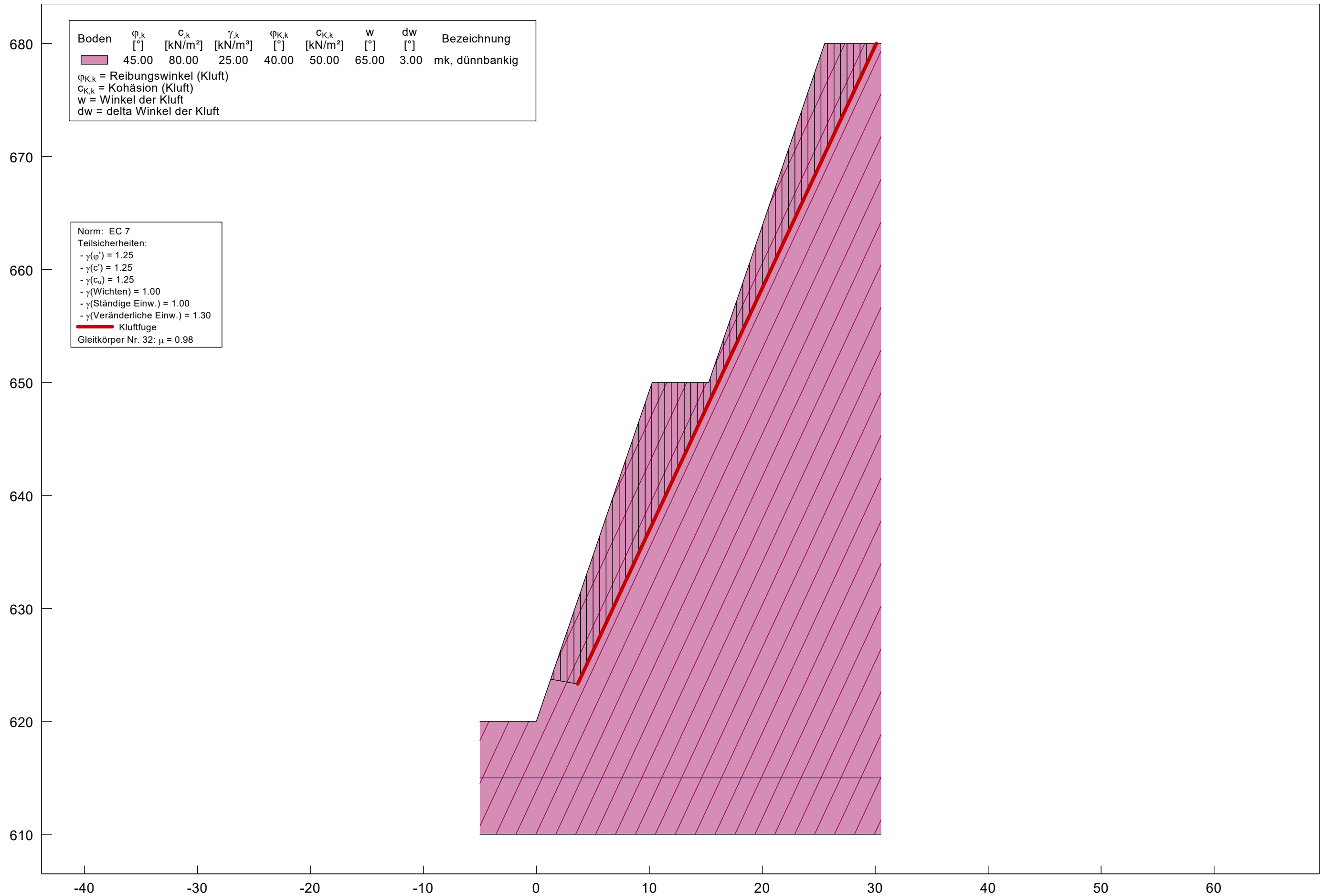
Anlage 6.3.1 Betrachtung der nach Süden einfallenden Böschungen

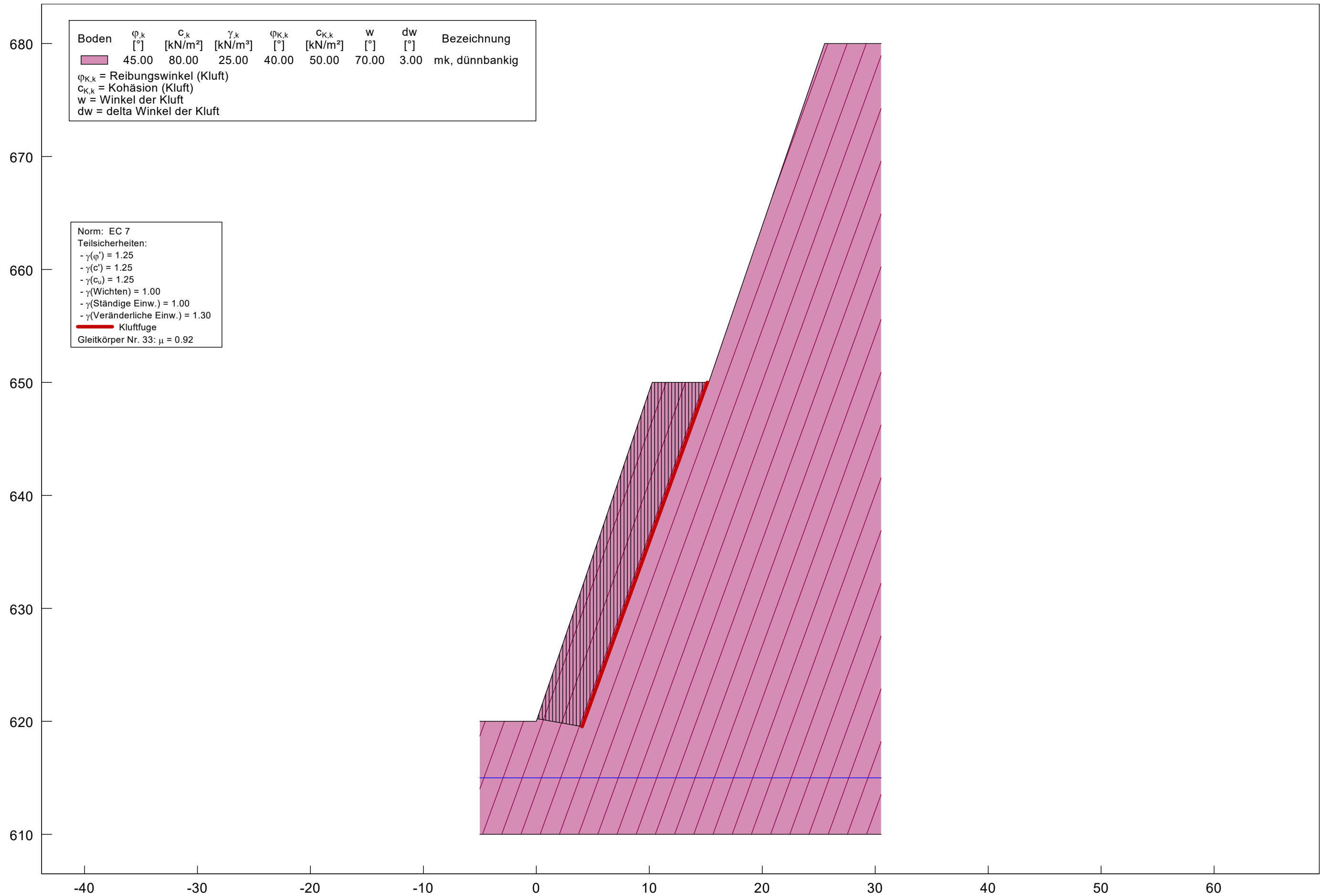


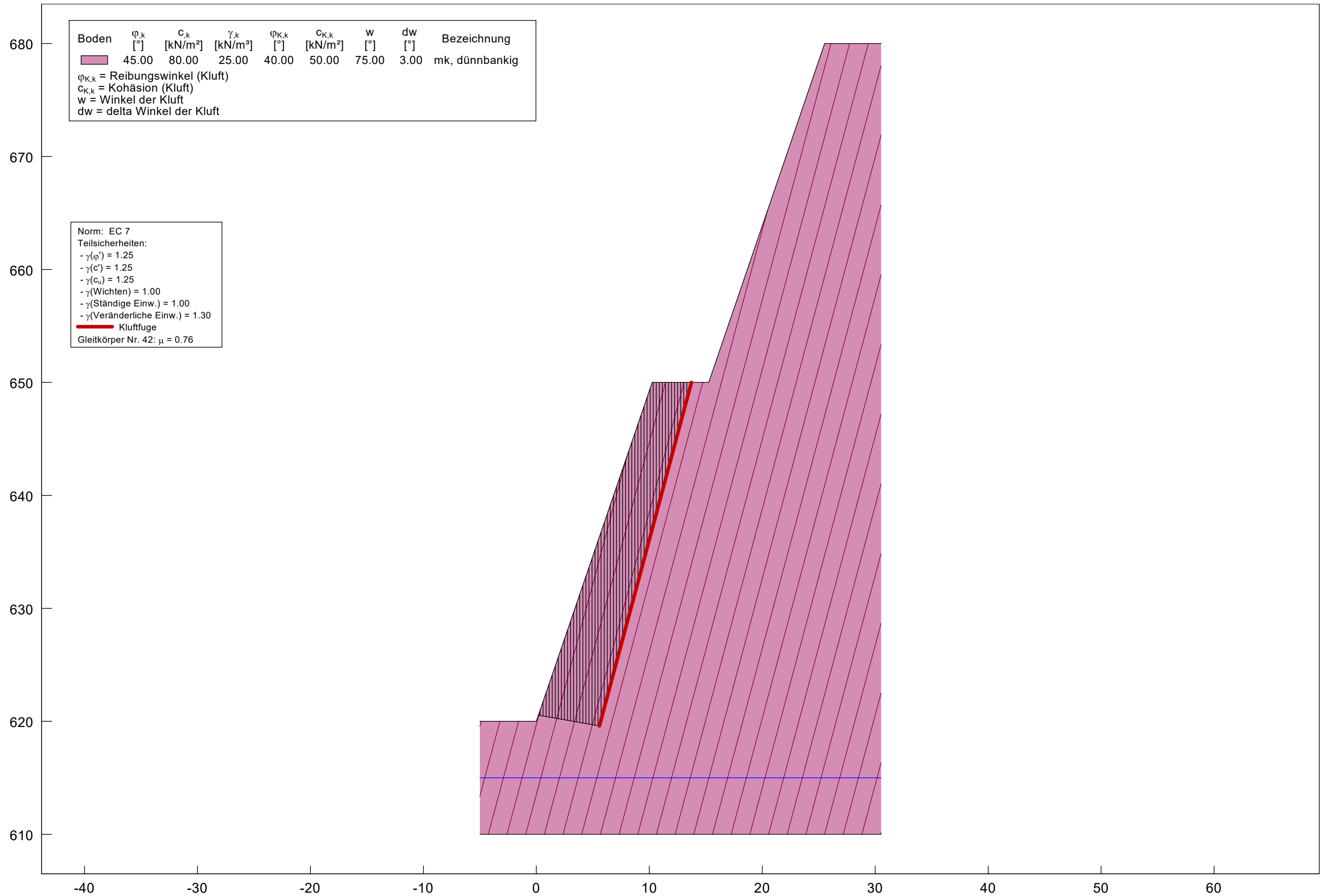


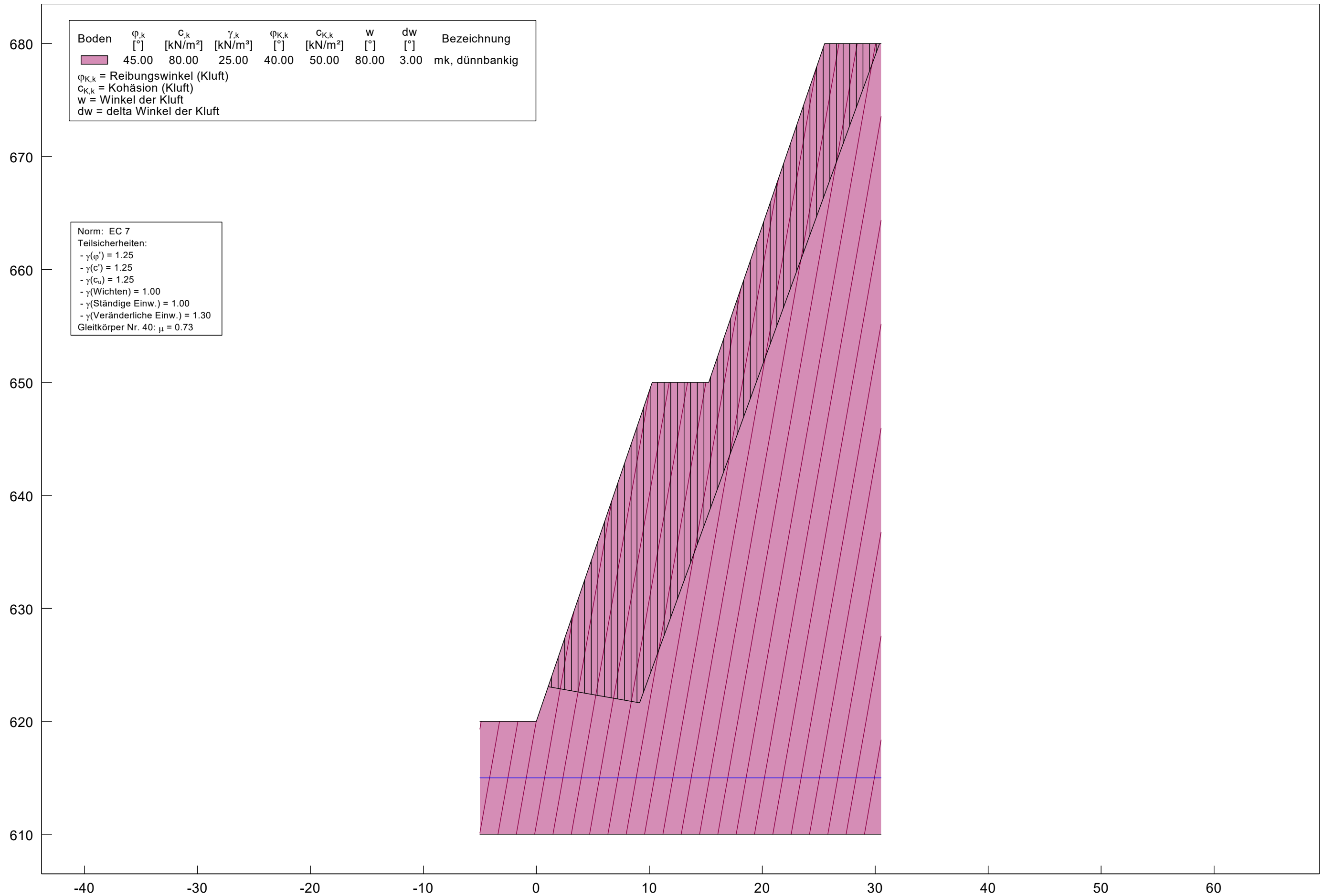


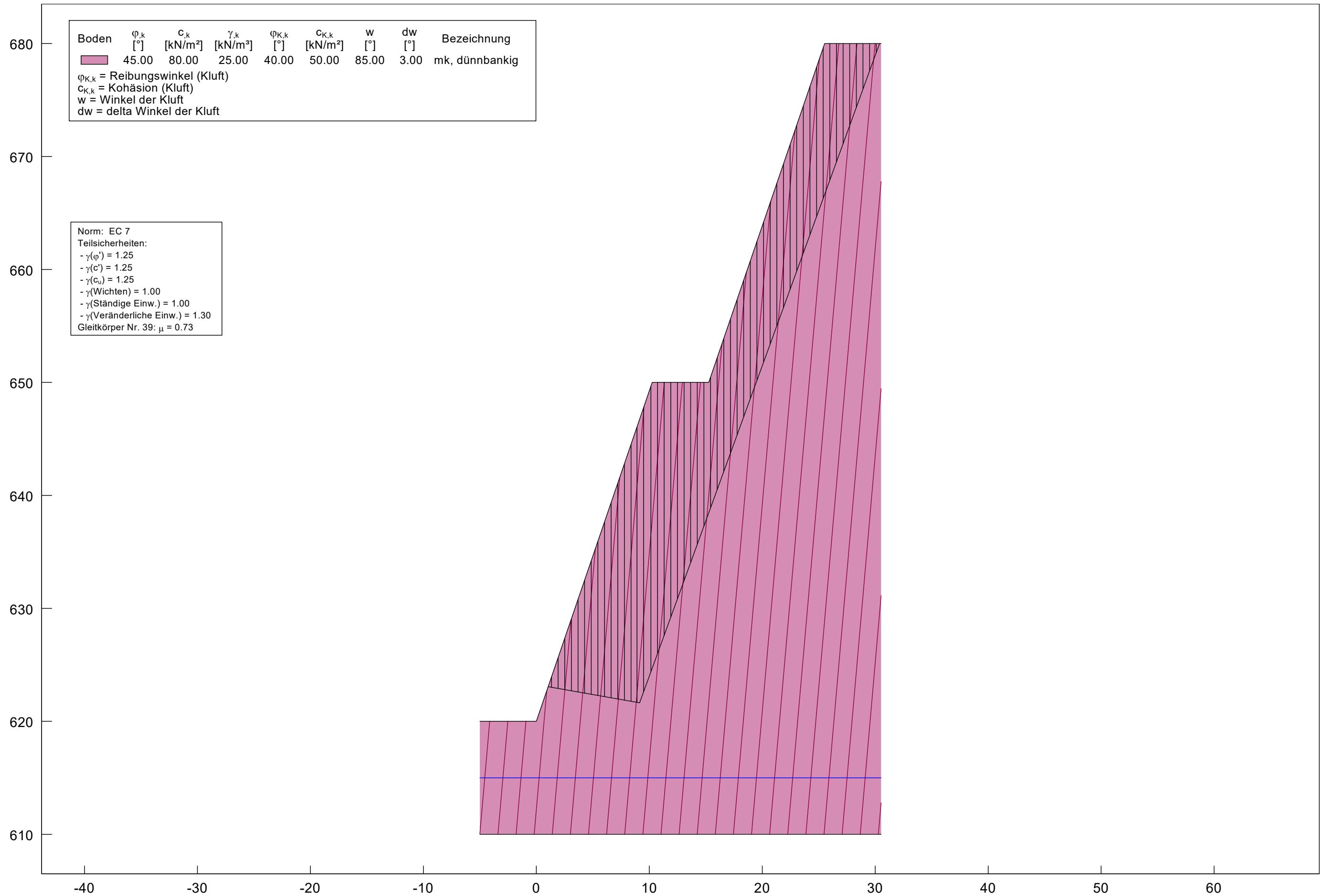


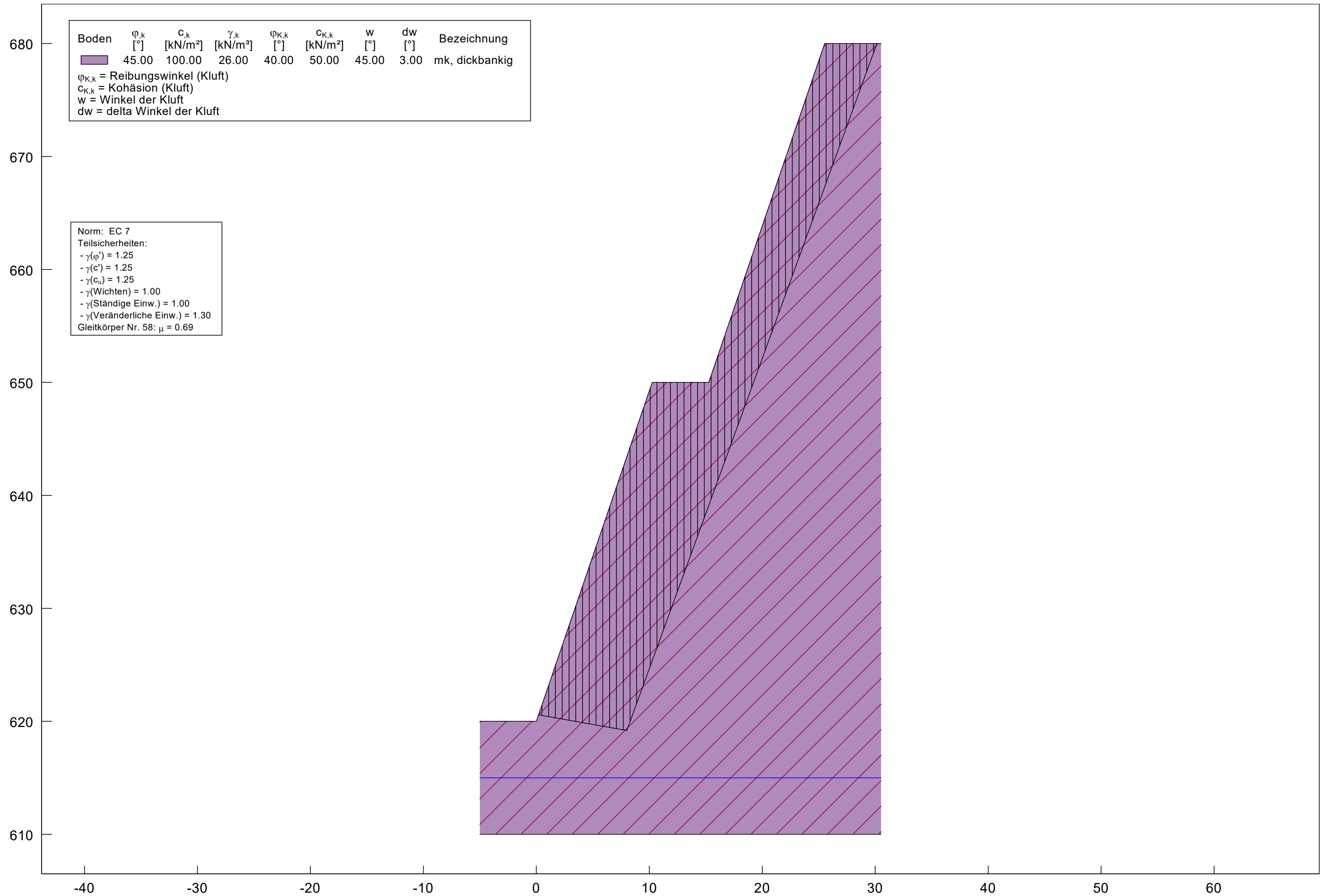


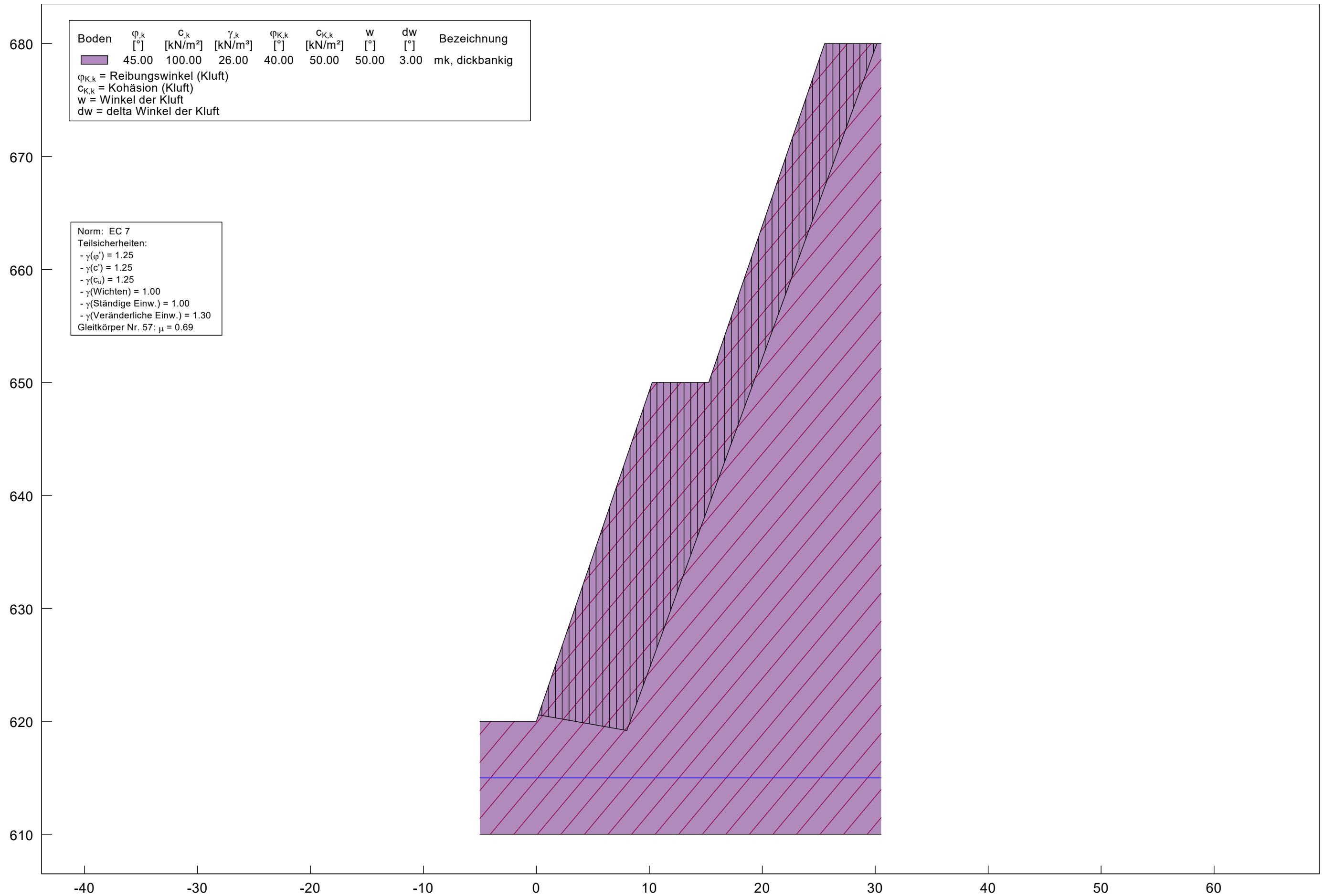


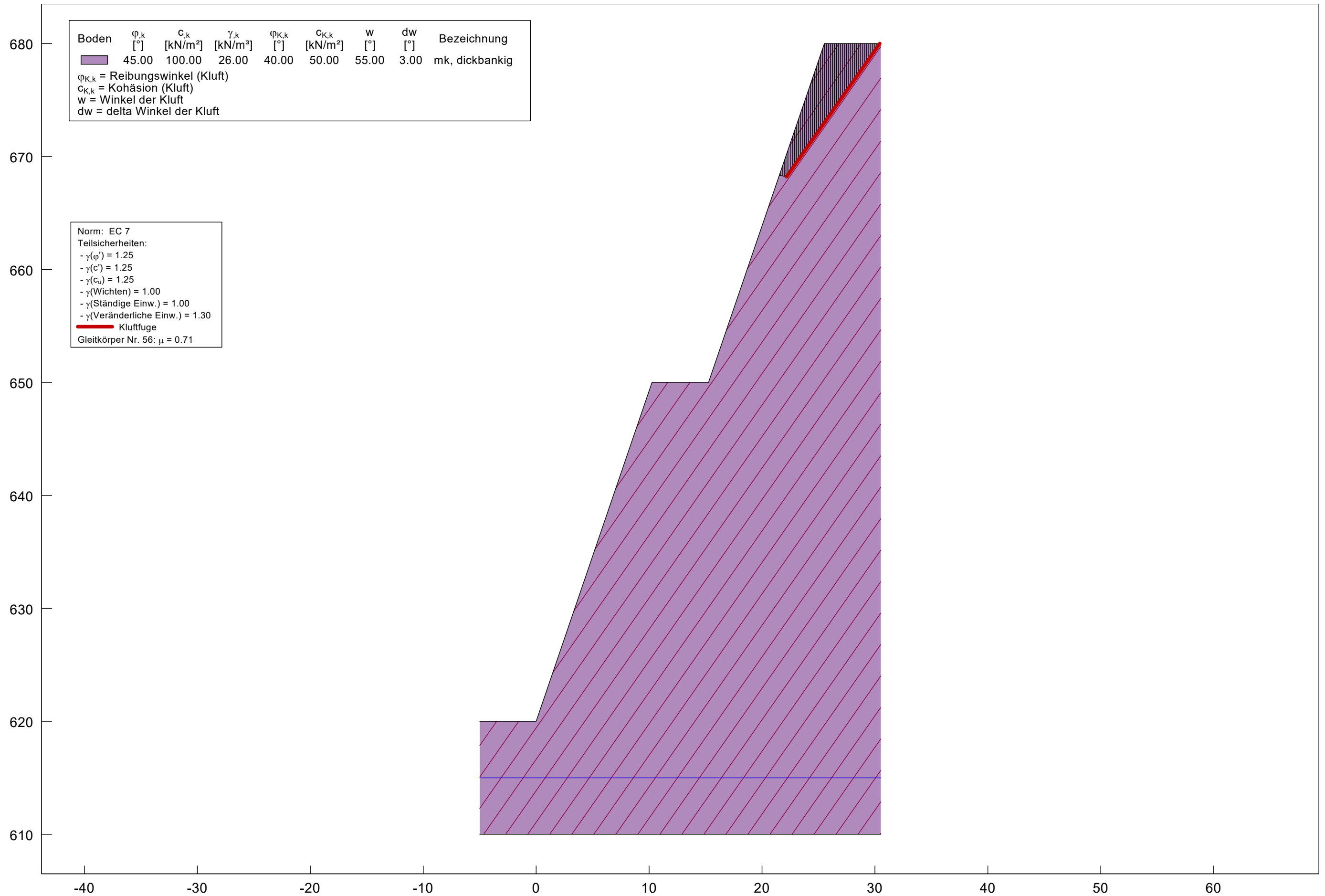


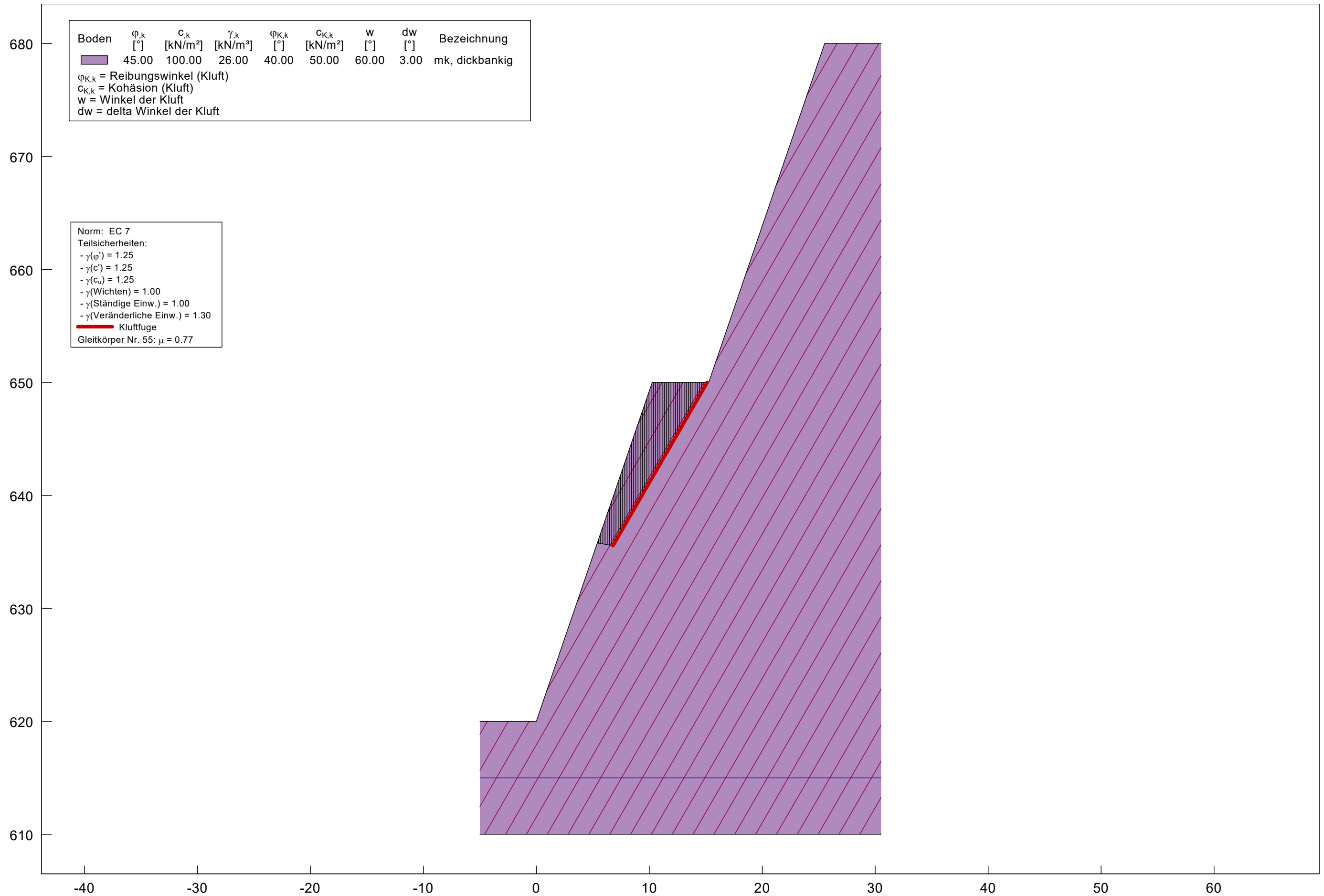


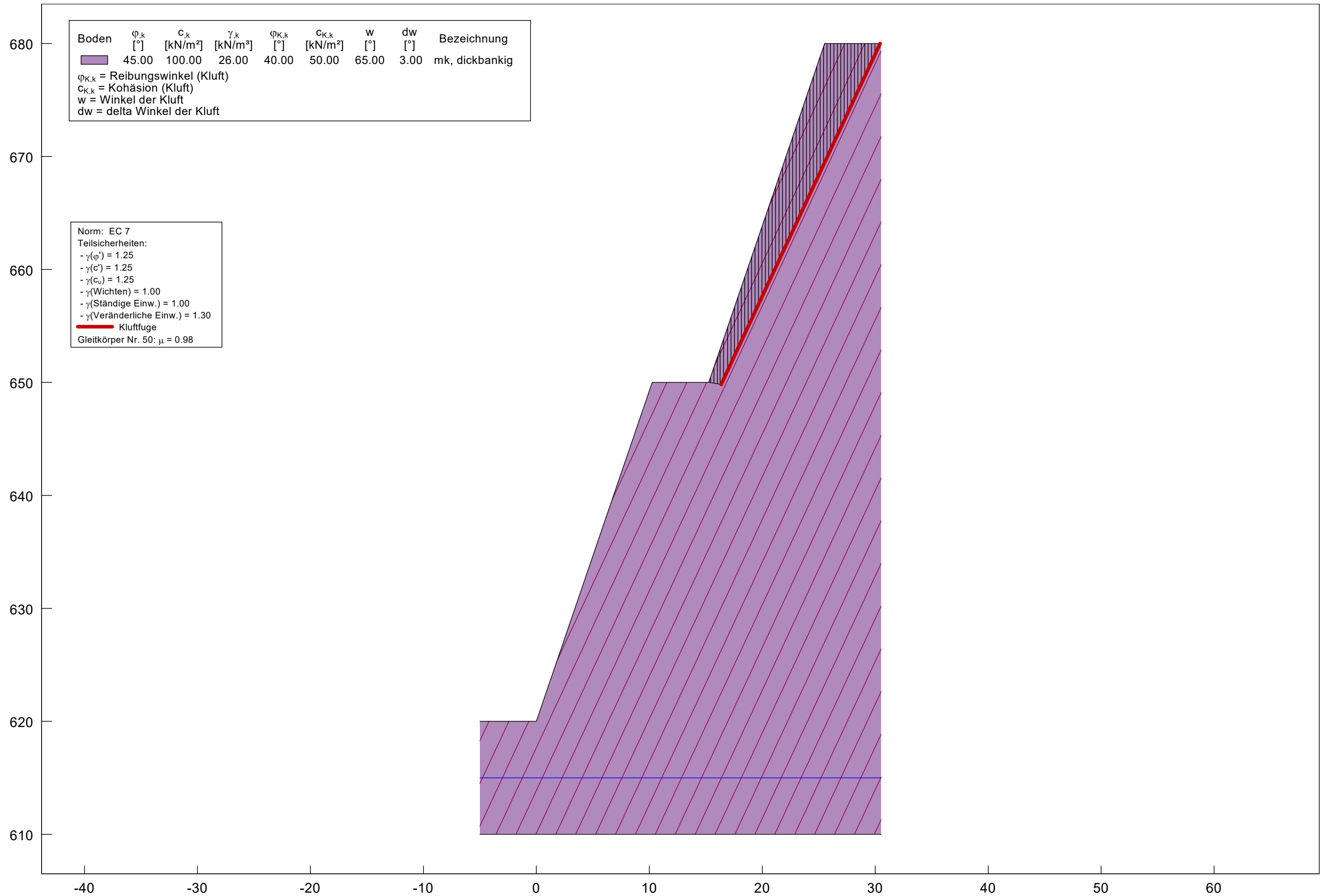


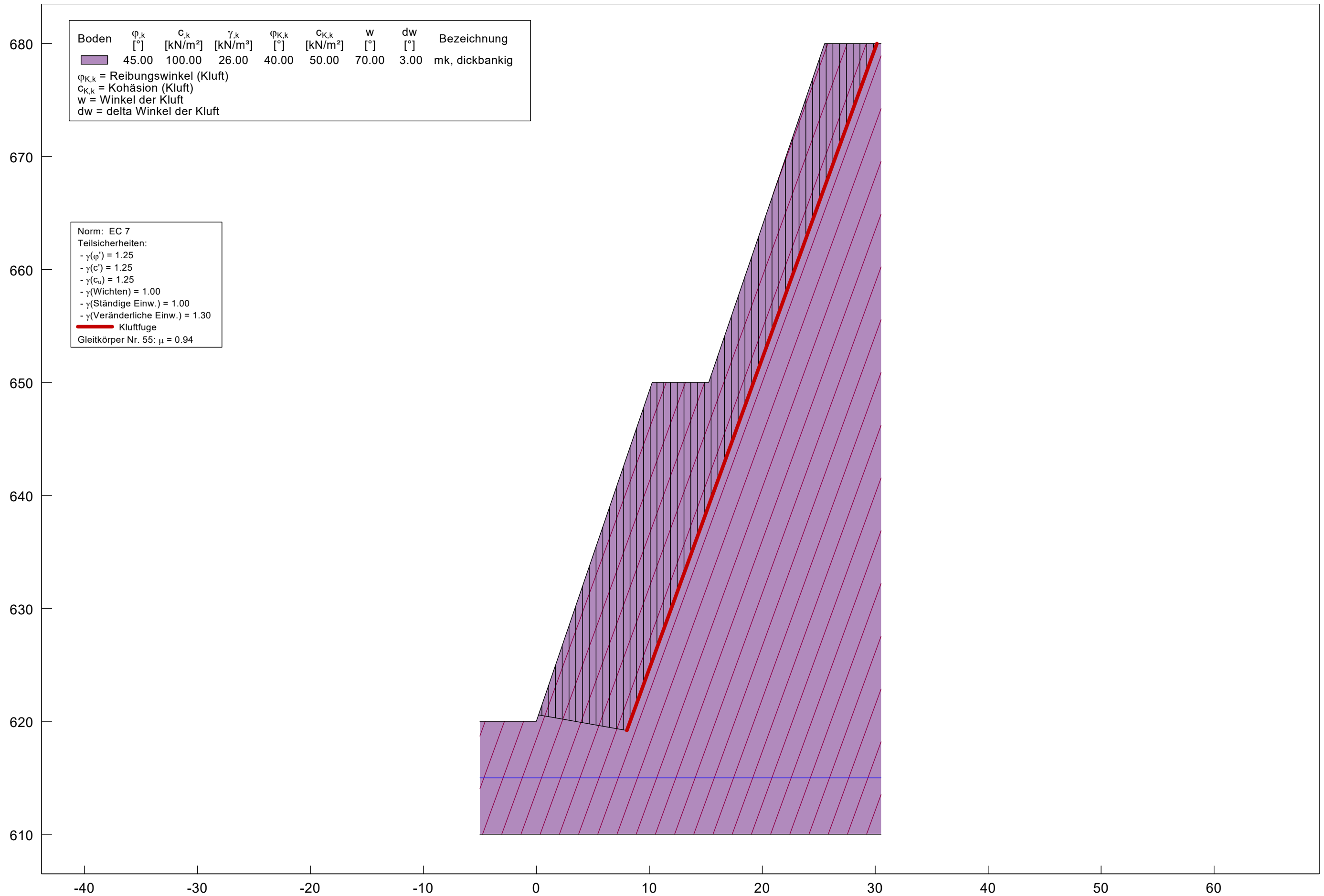


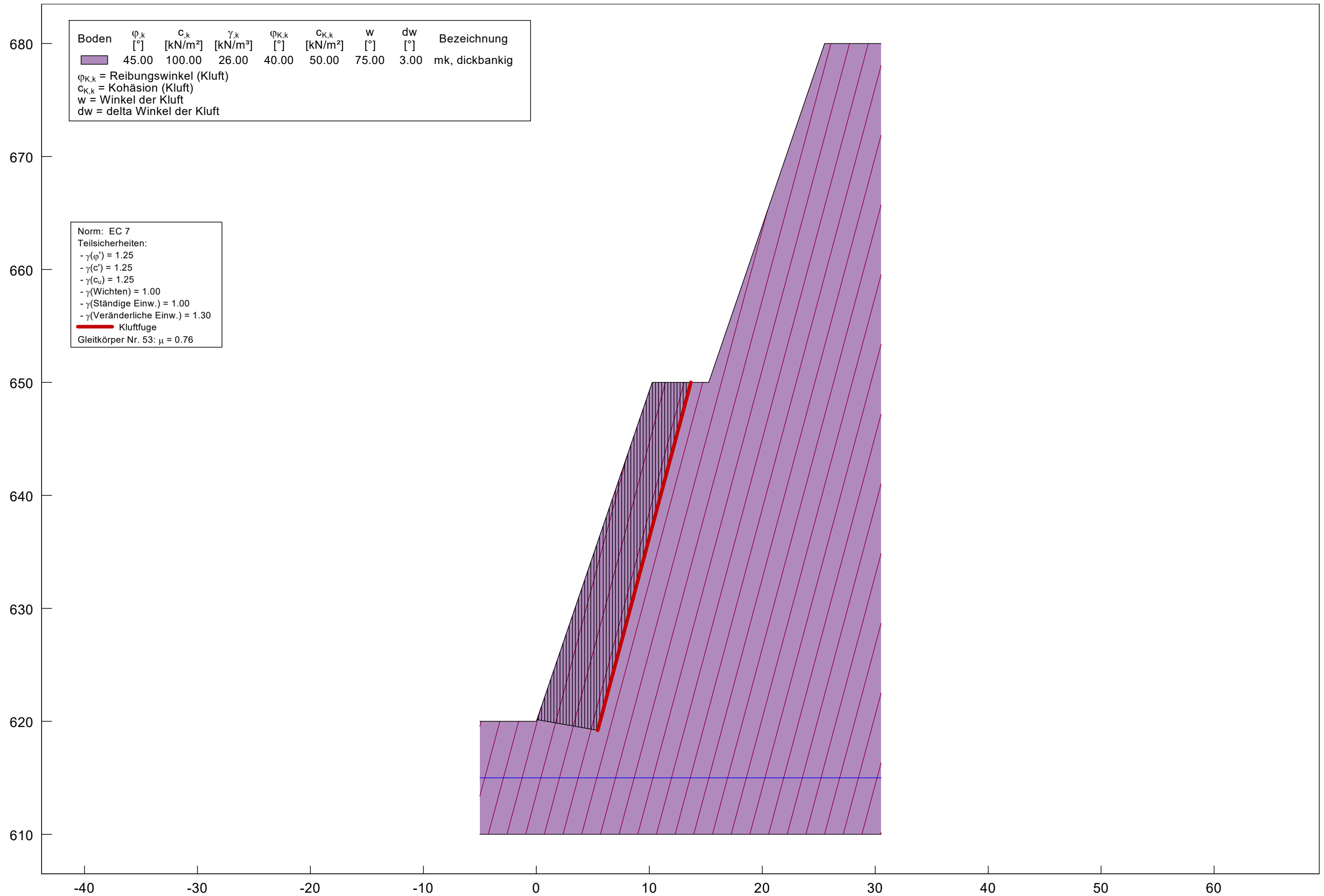


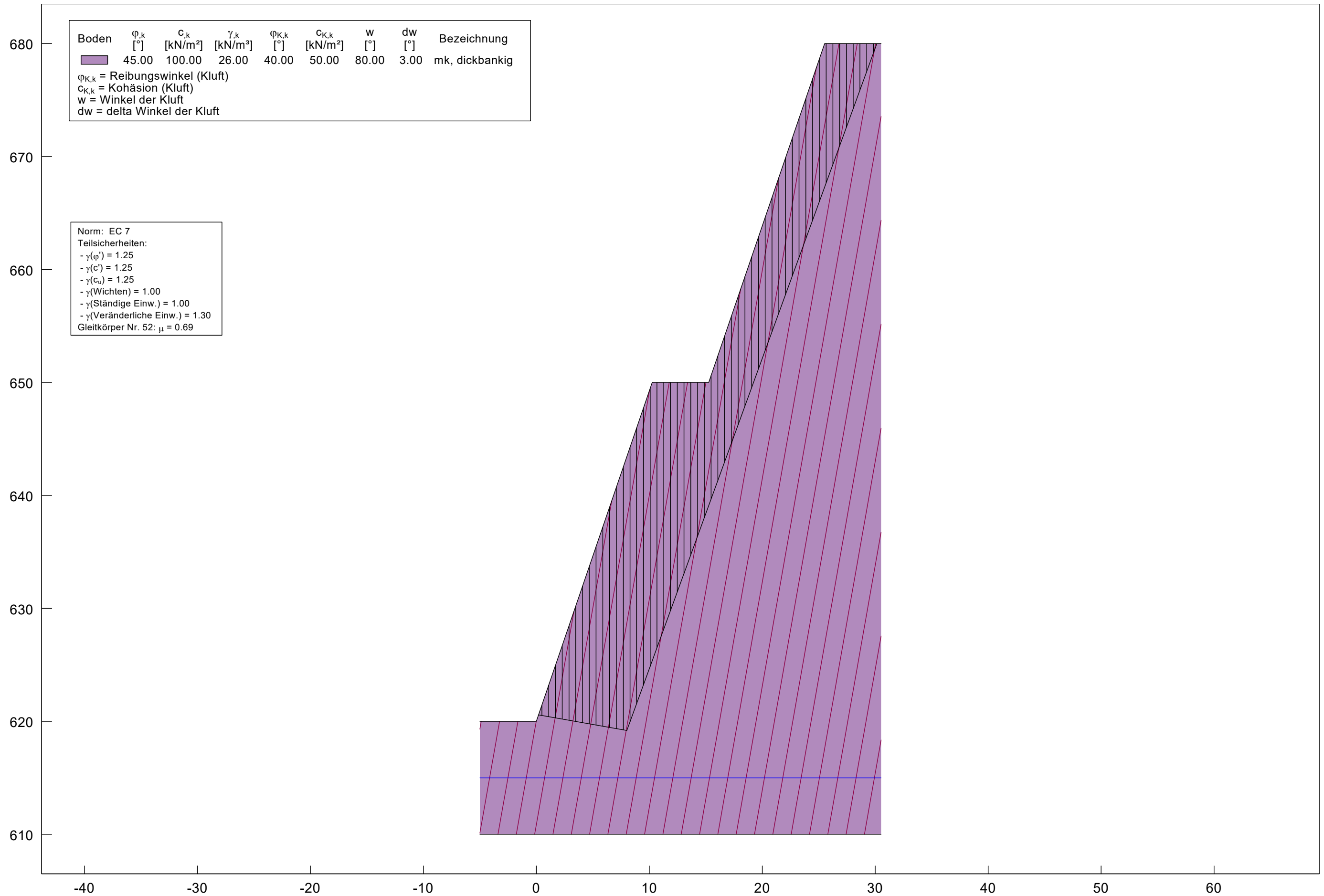


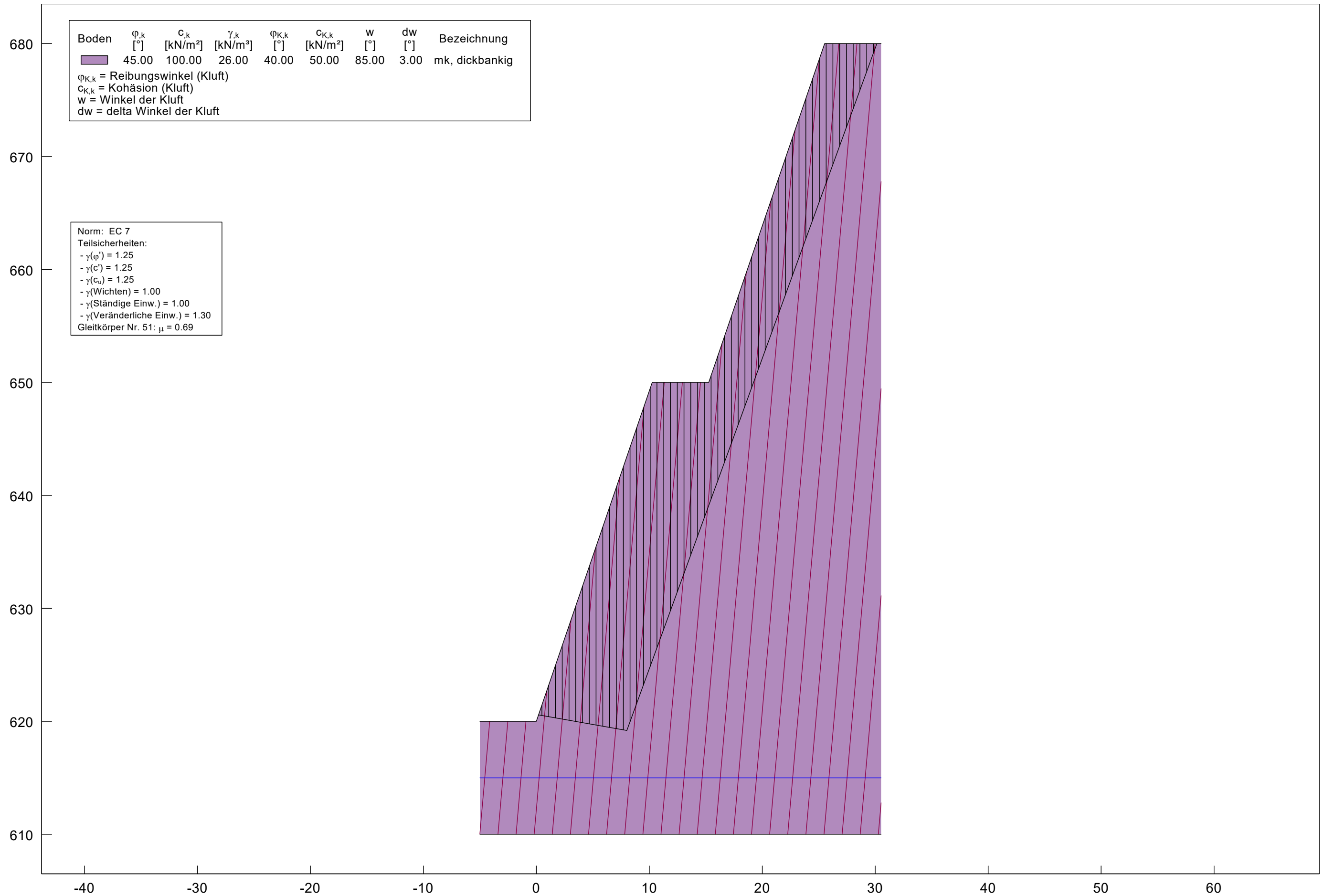








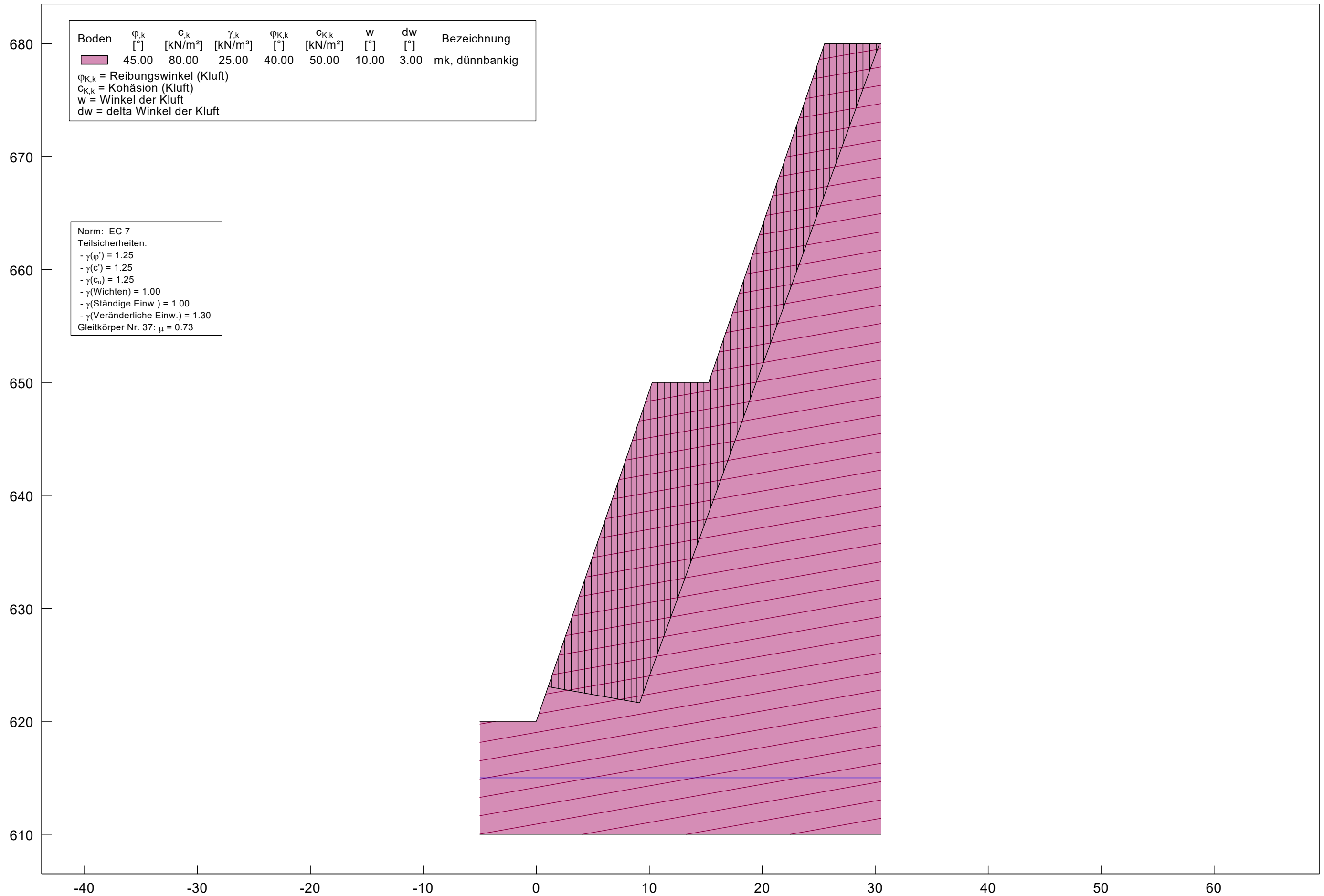


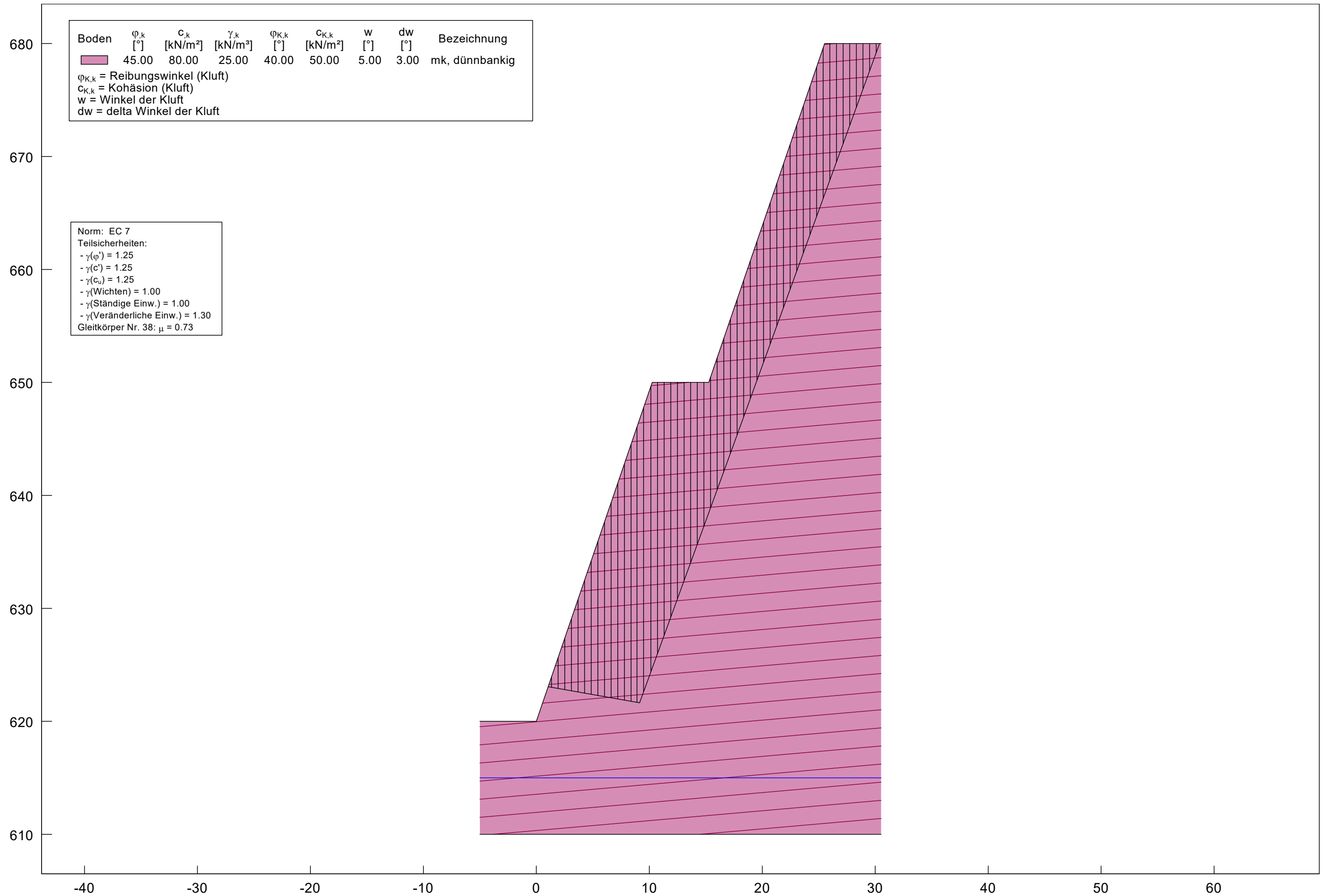


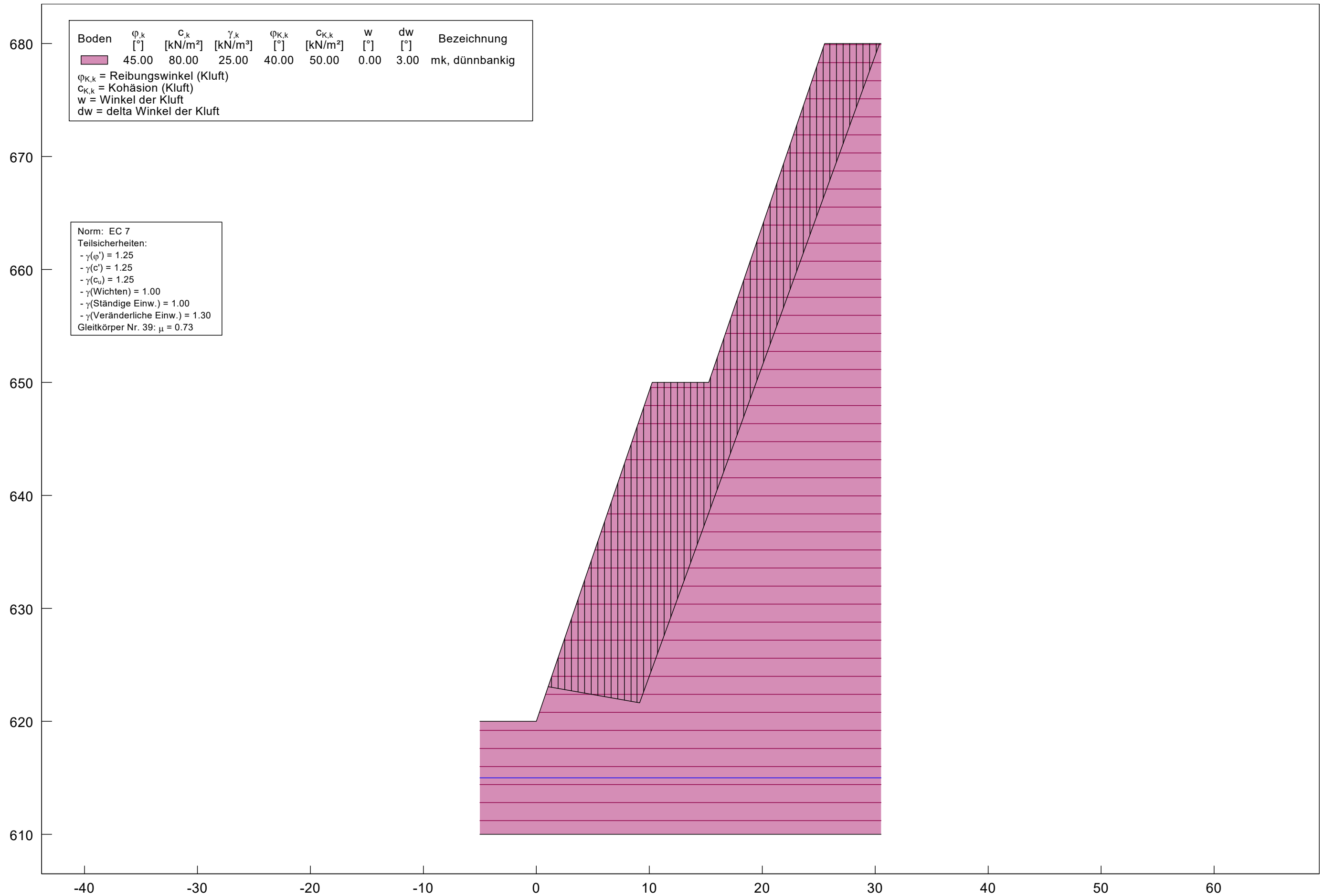
Steinbruch Überfilzen

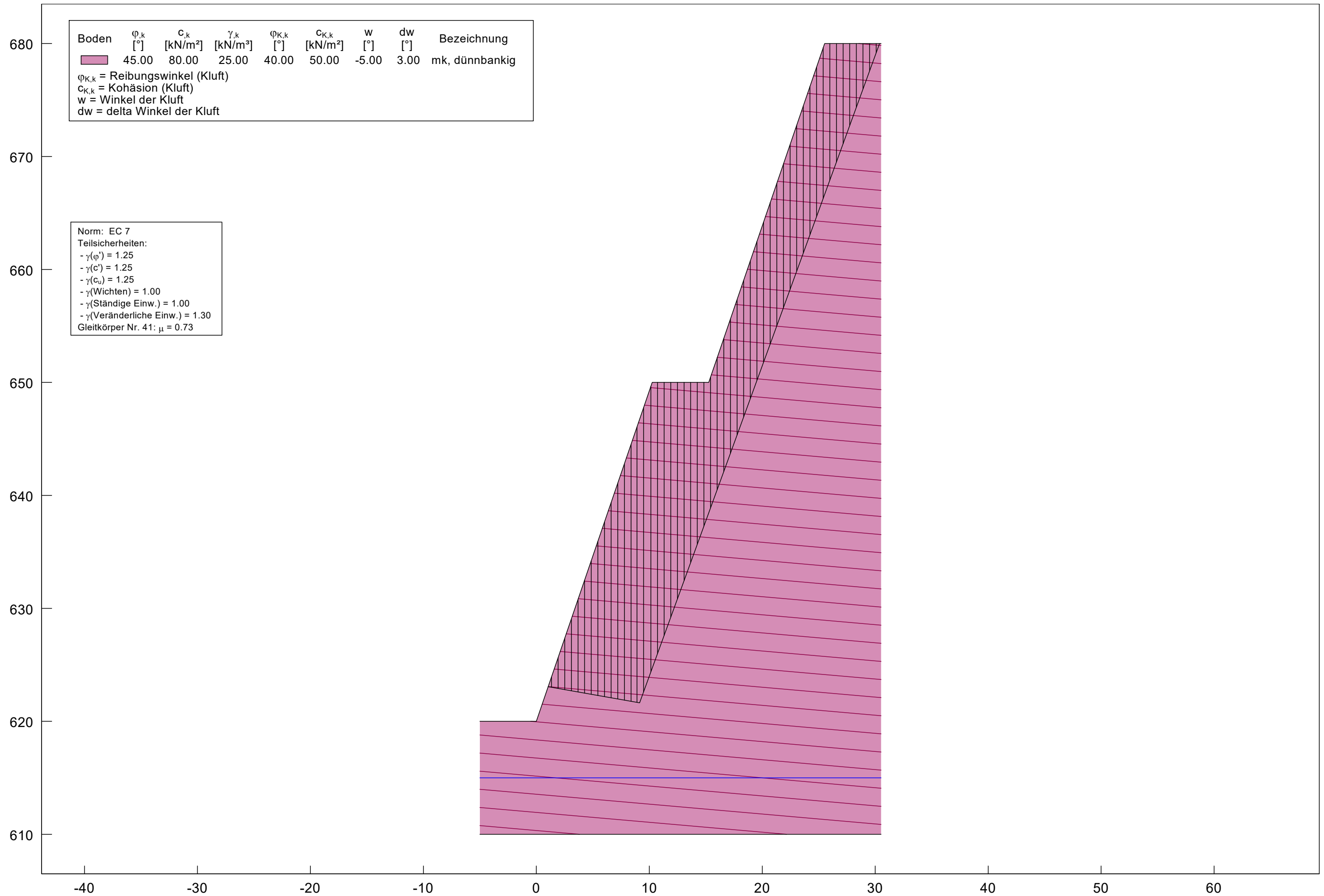
Geologisch – geotechnischer Bericht

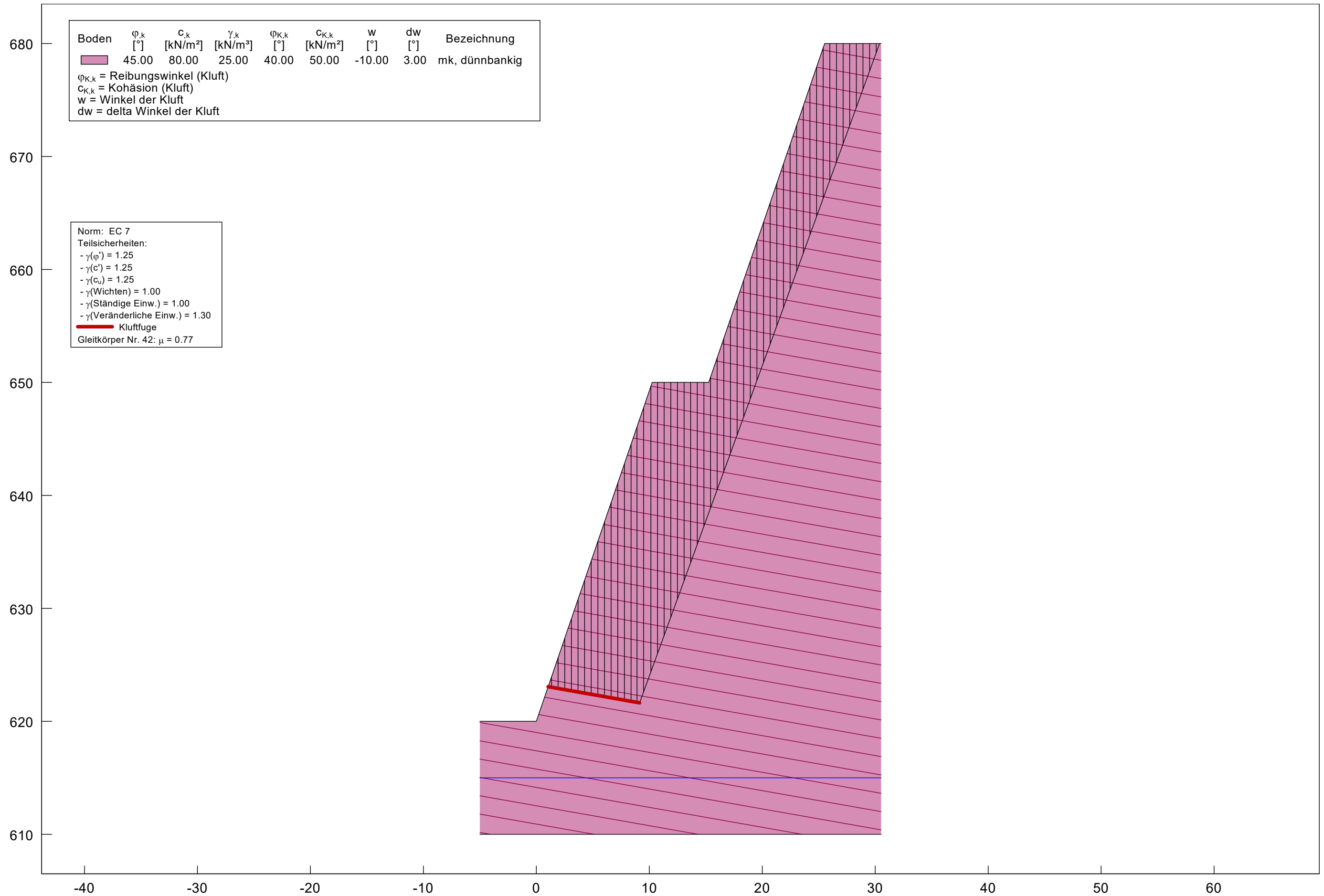
Anlage 6.3.2 Betrachtung der nach Westen einfallenden Böschungen

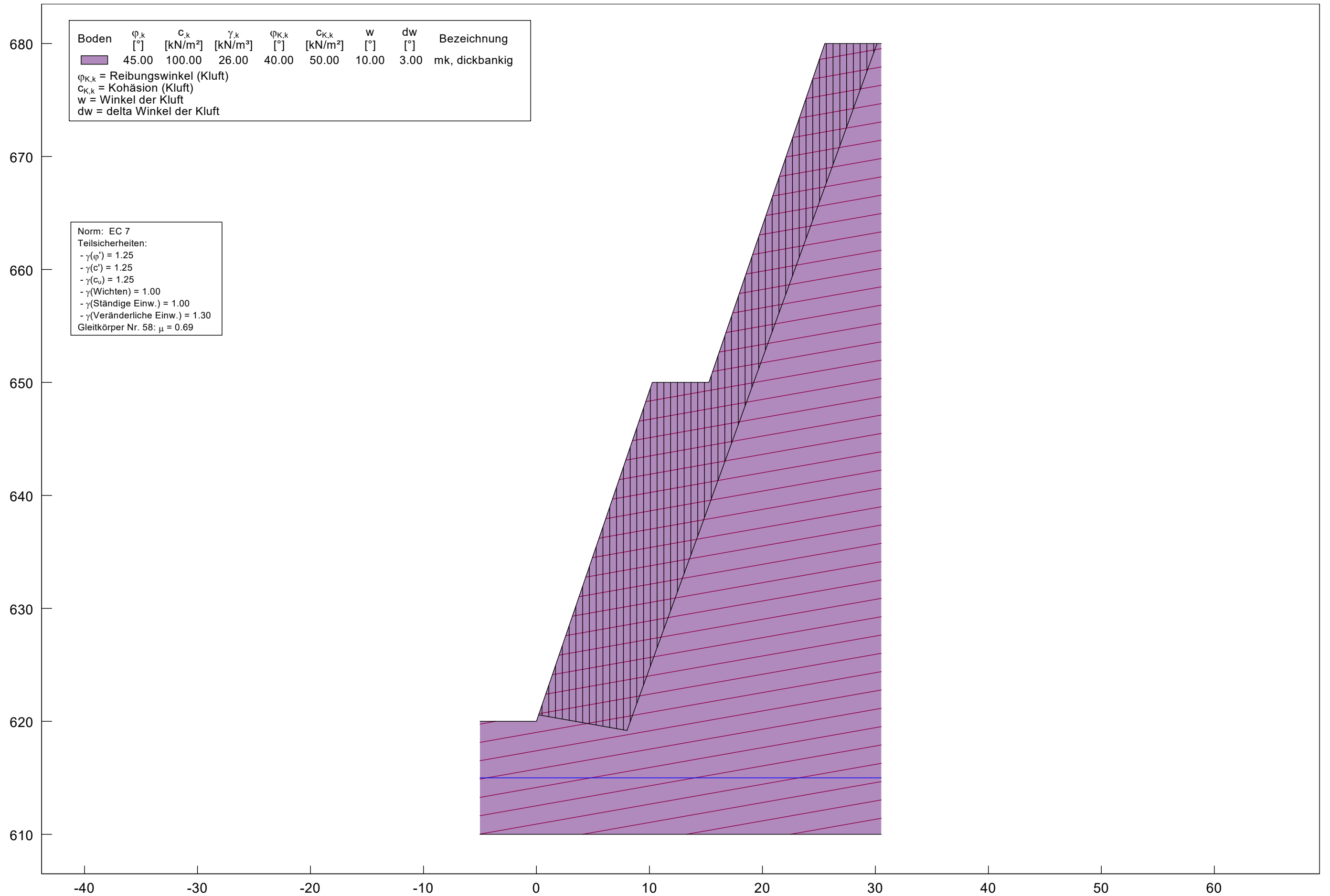


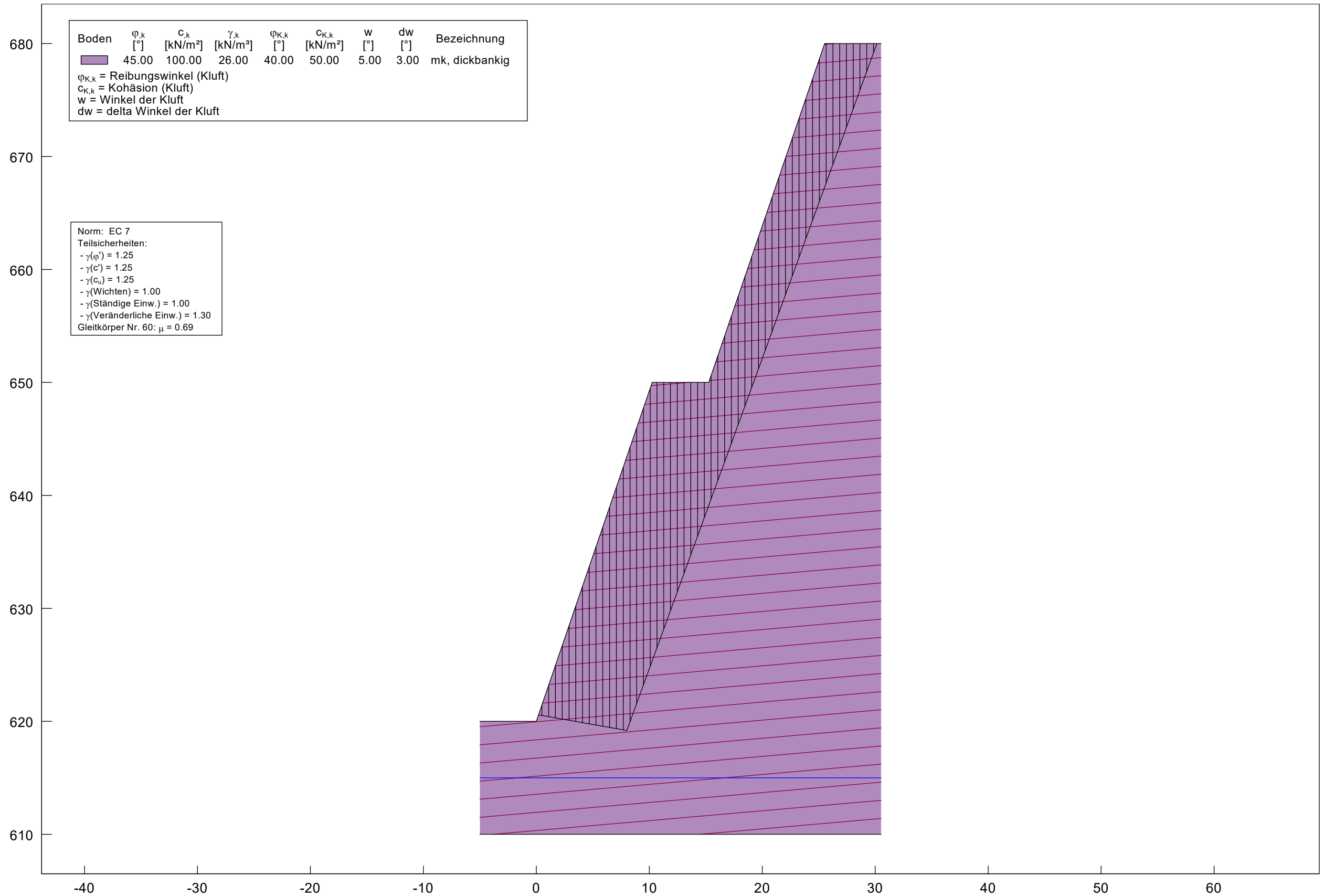


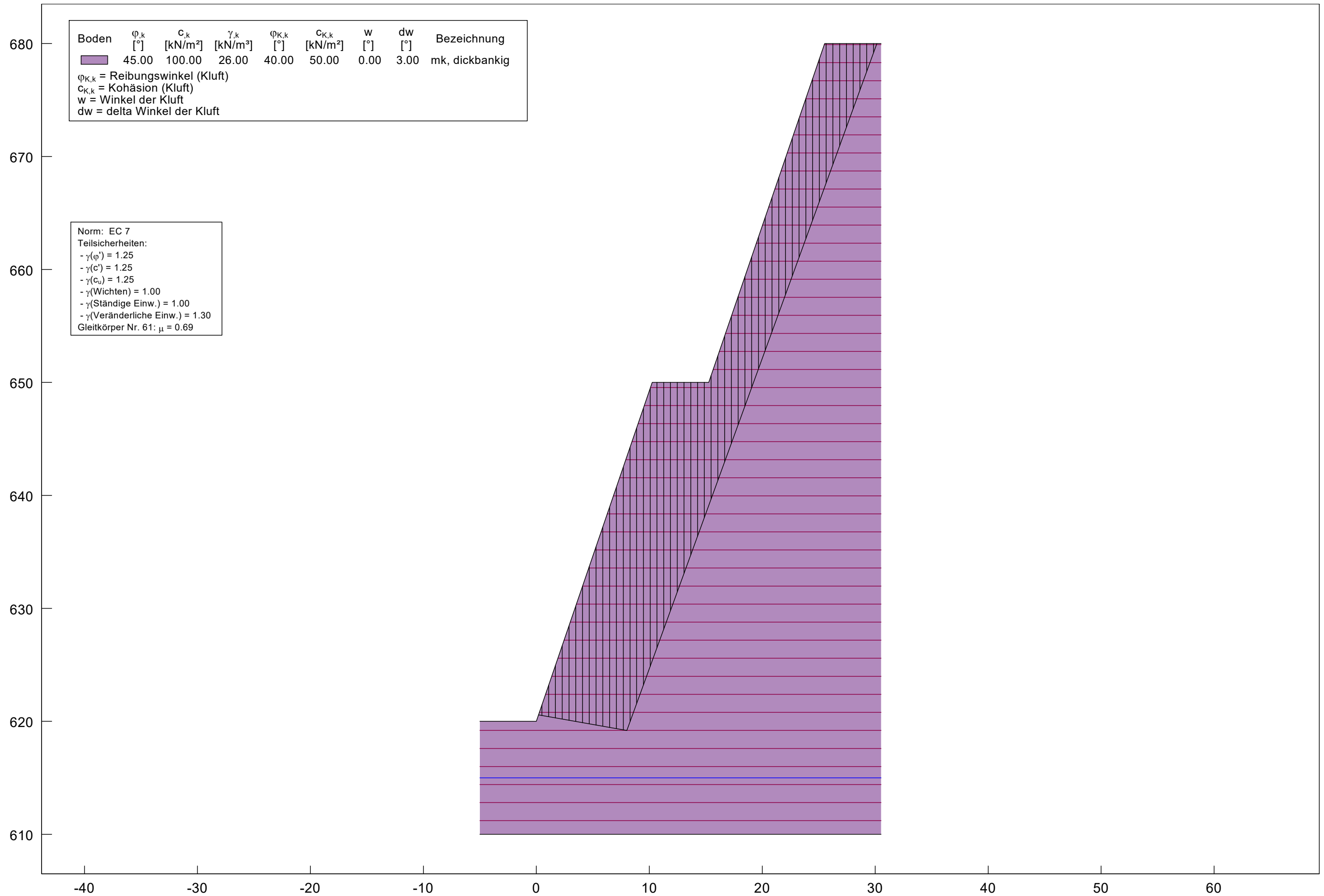


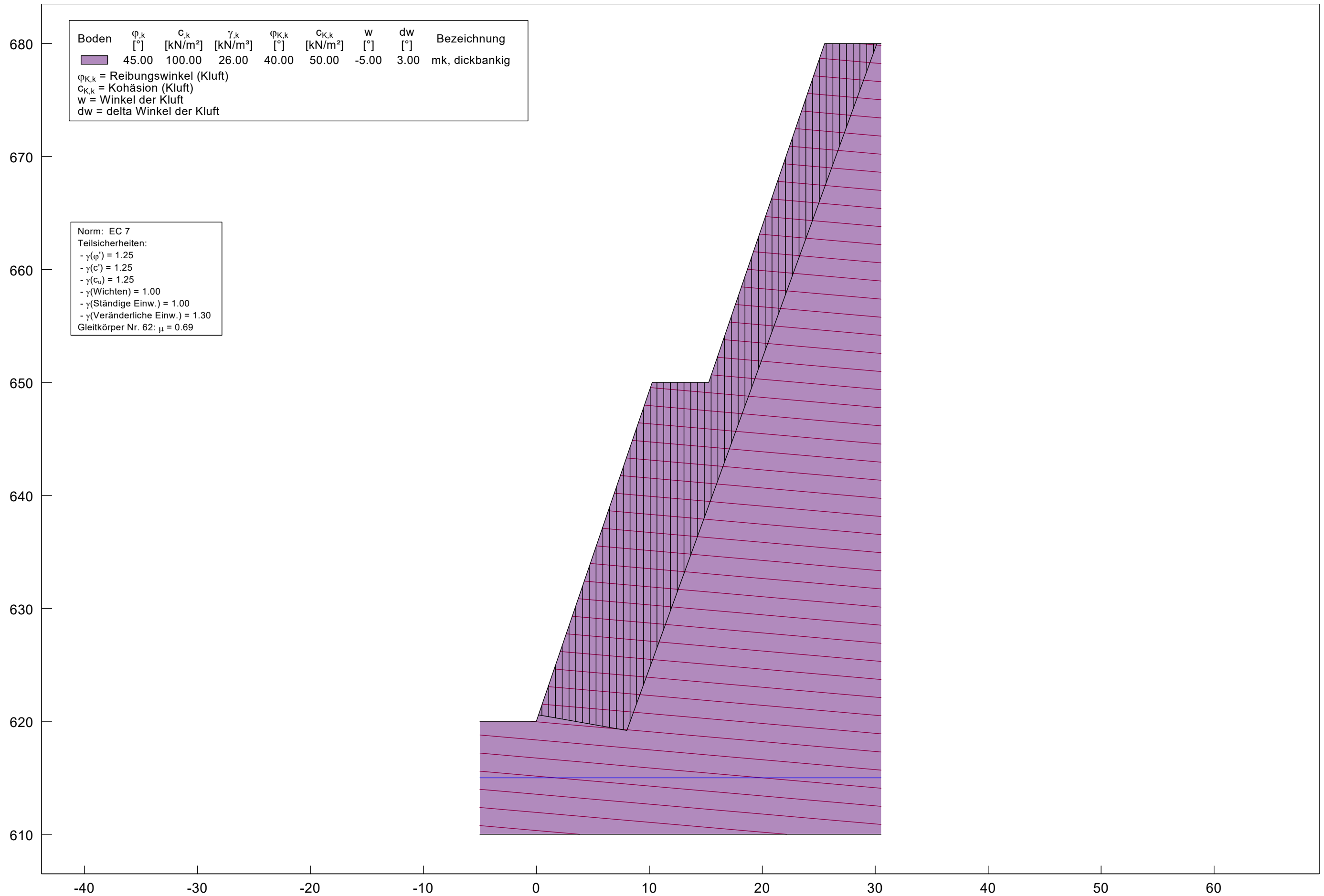


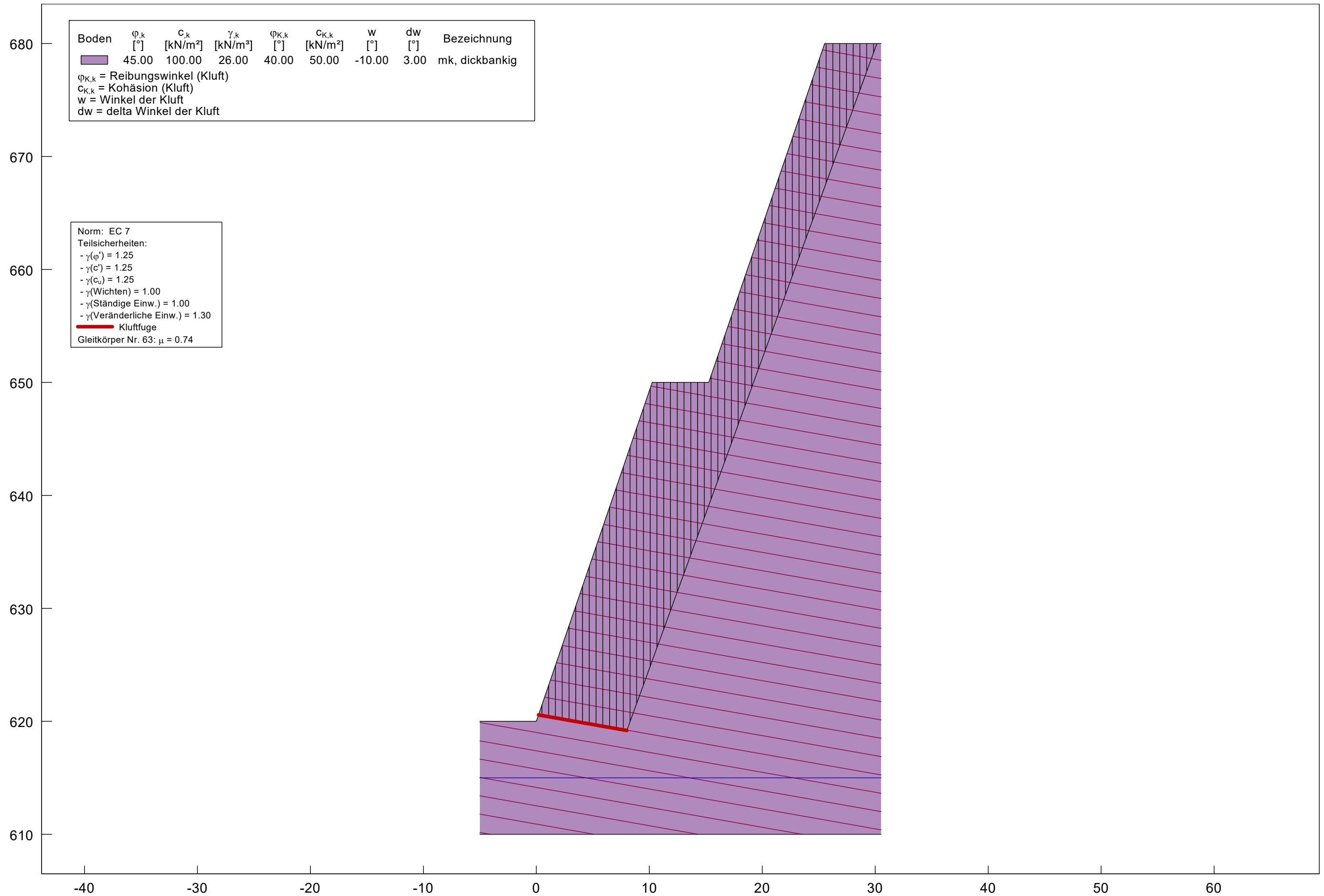


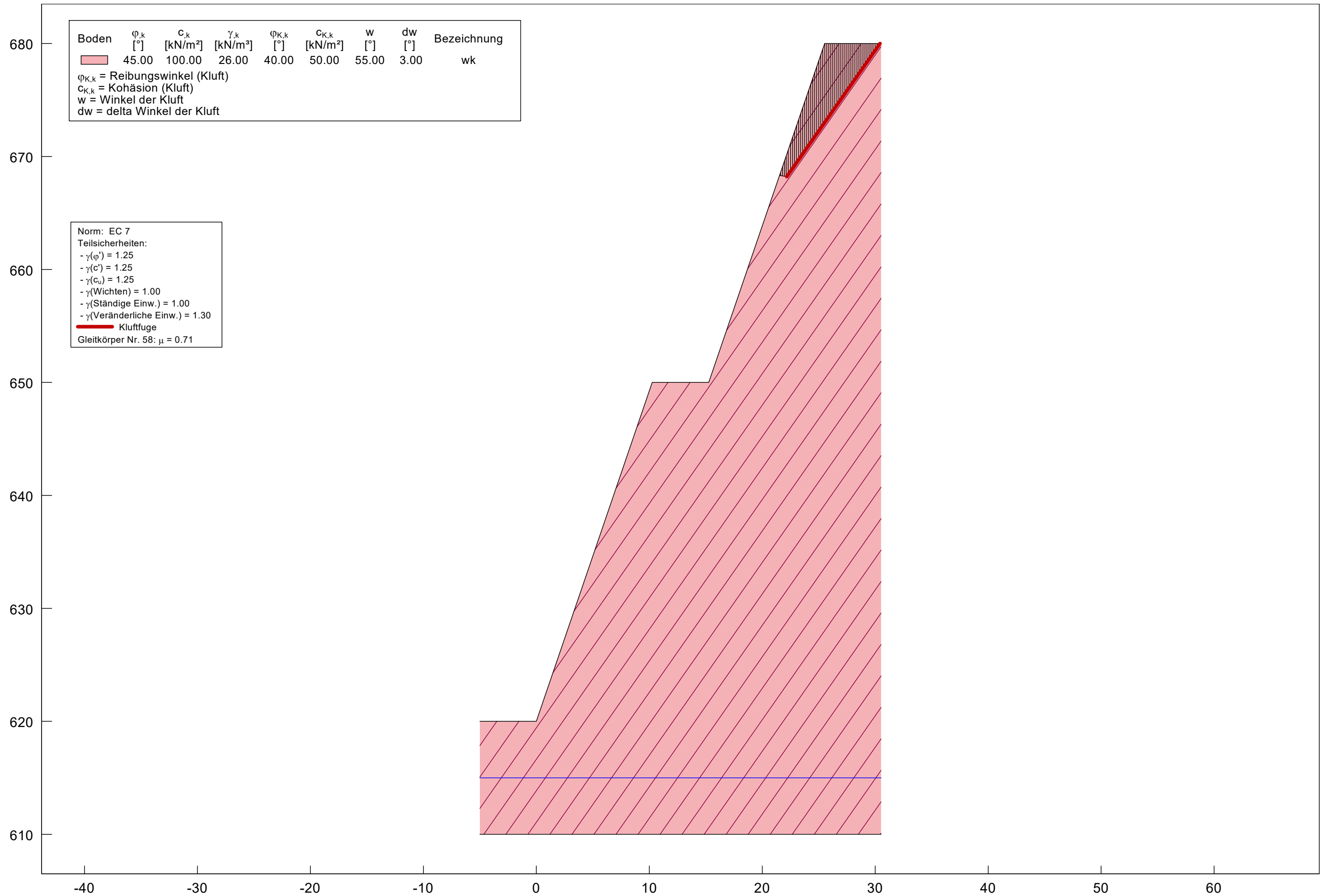


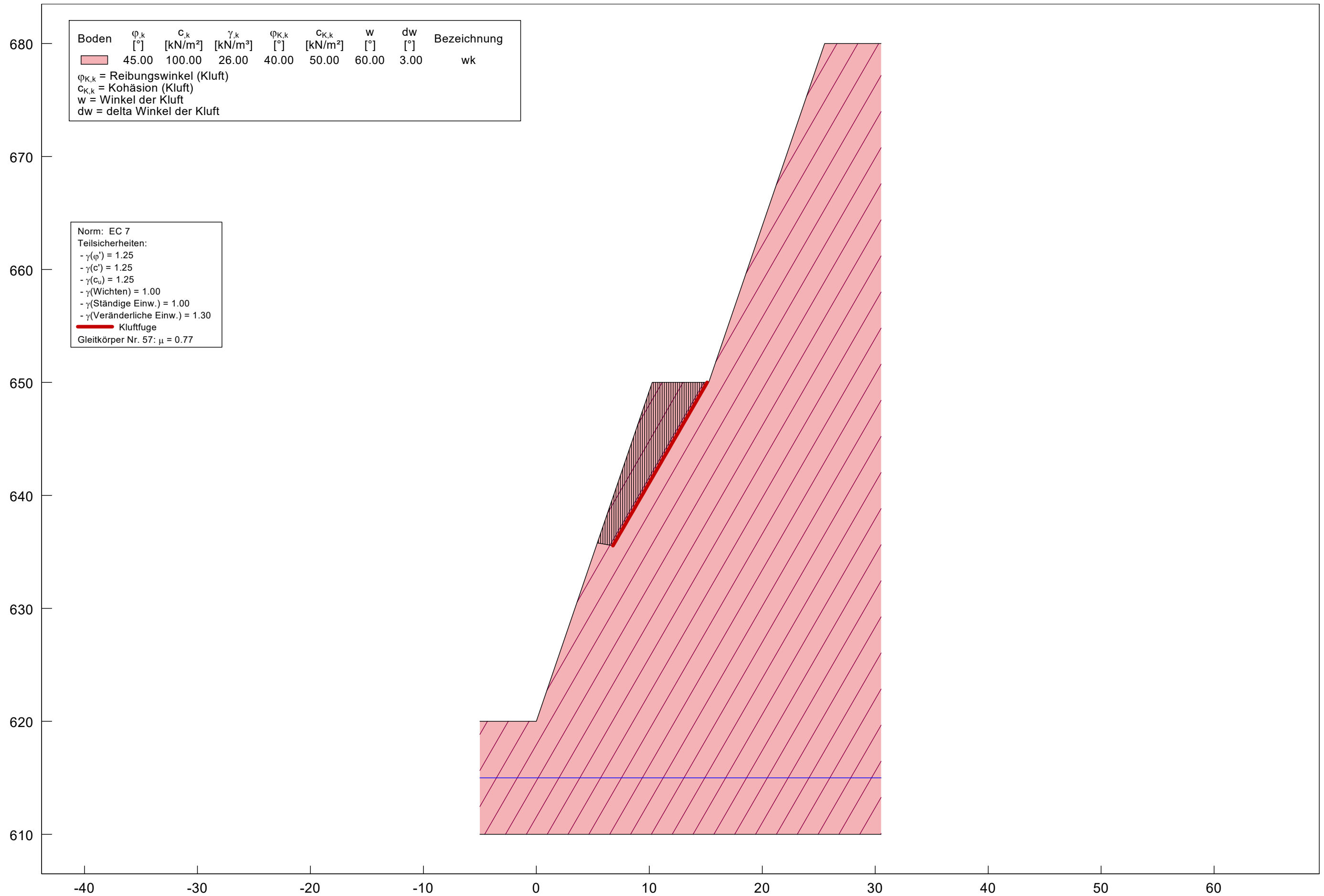


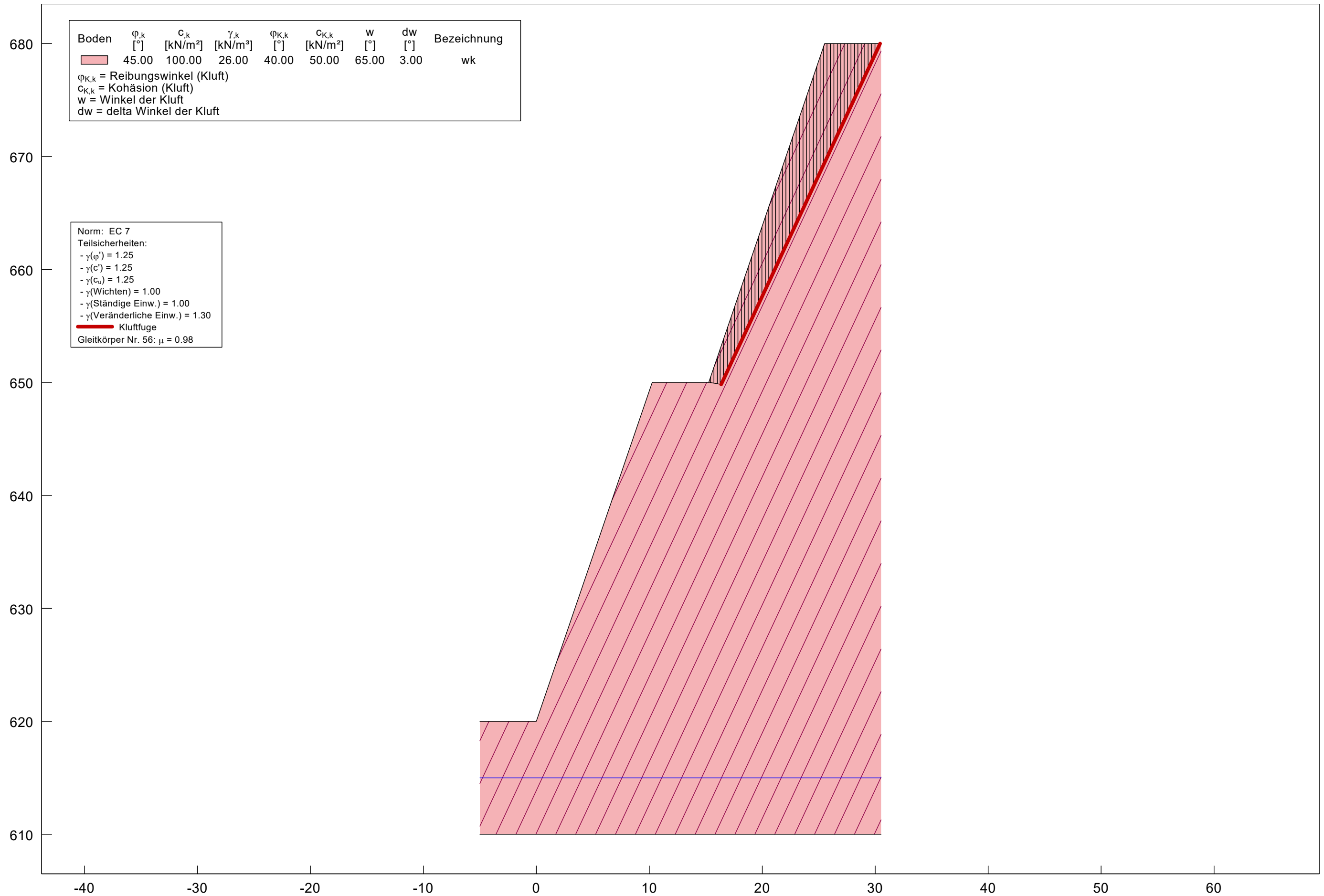


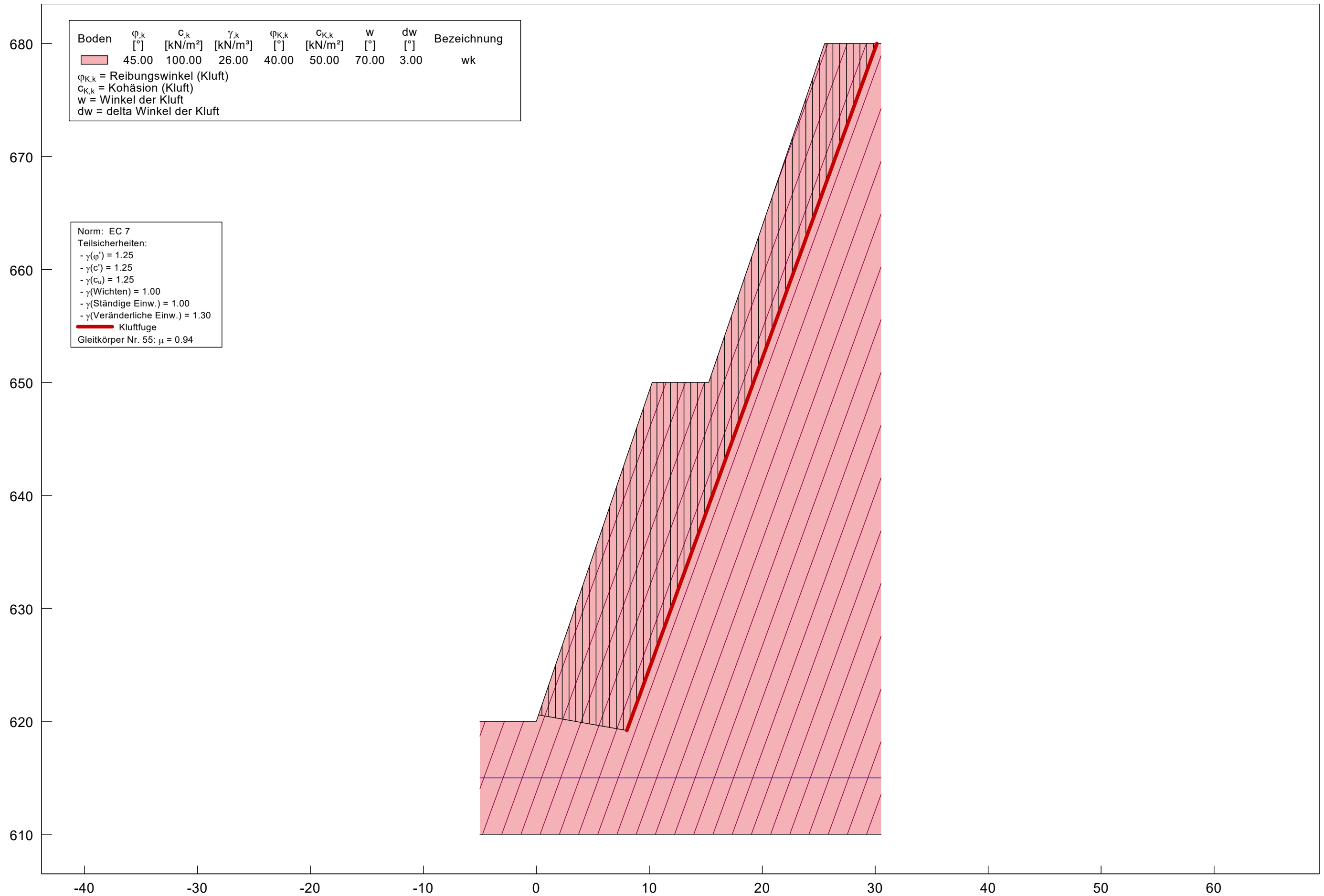


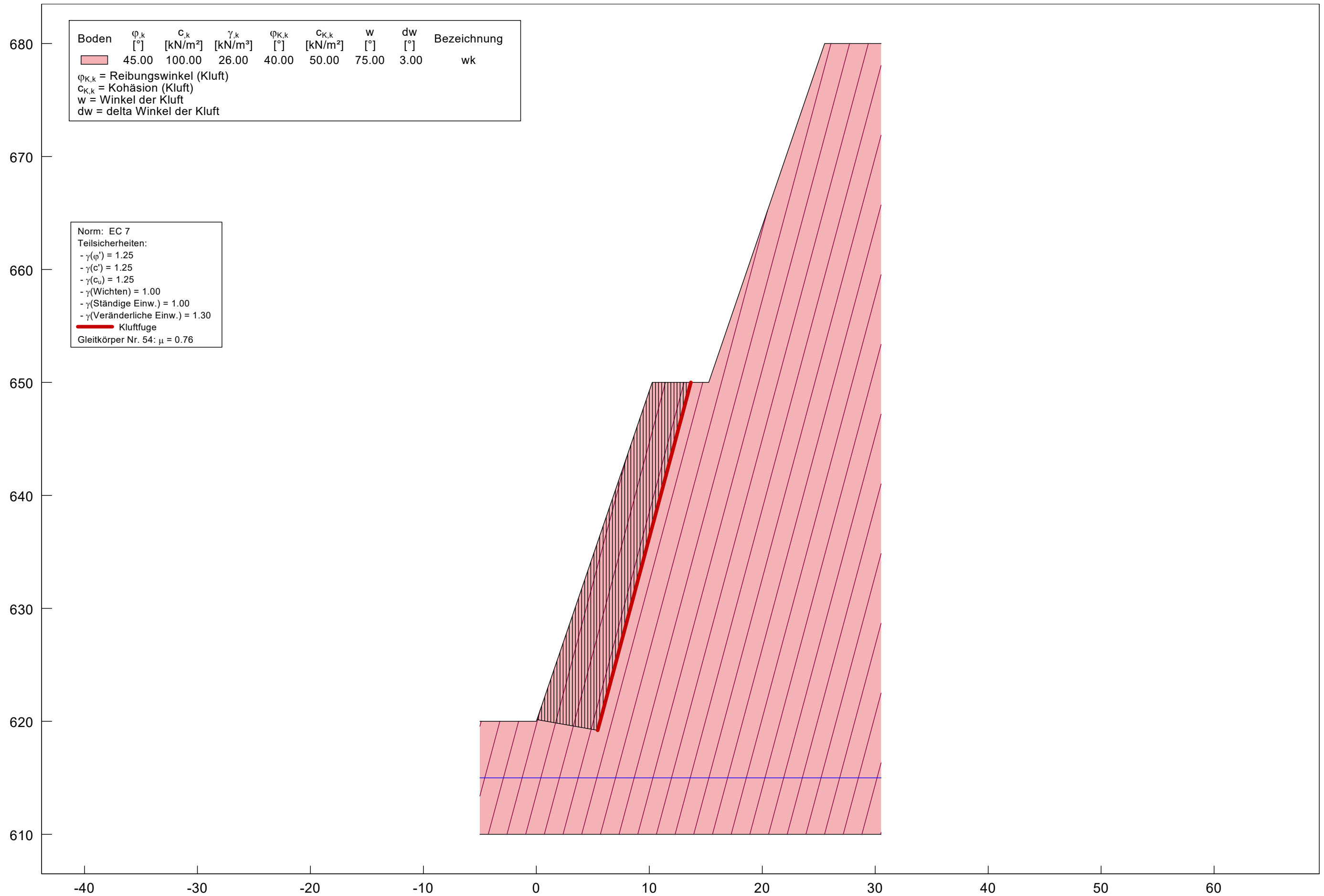


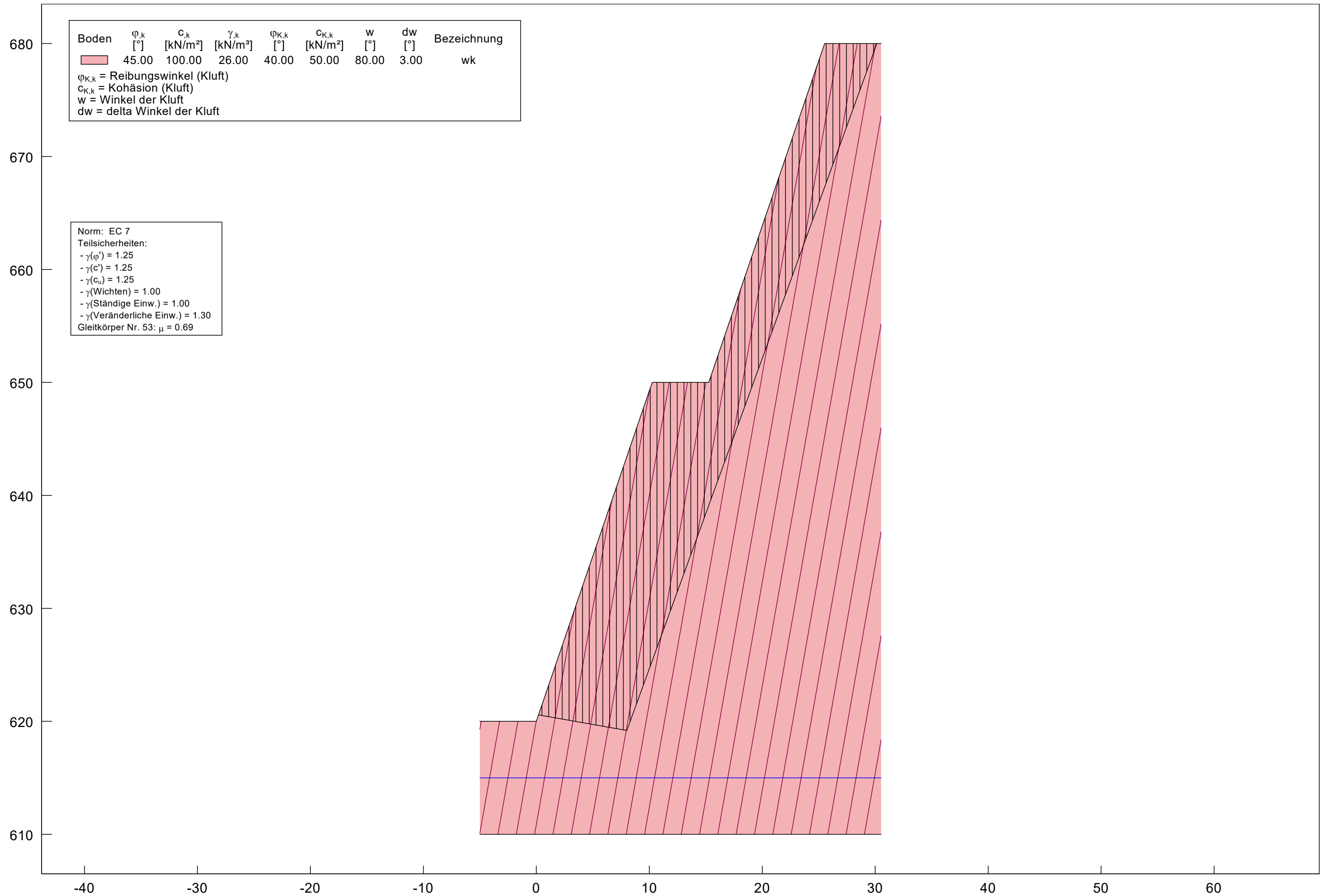


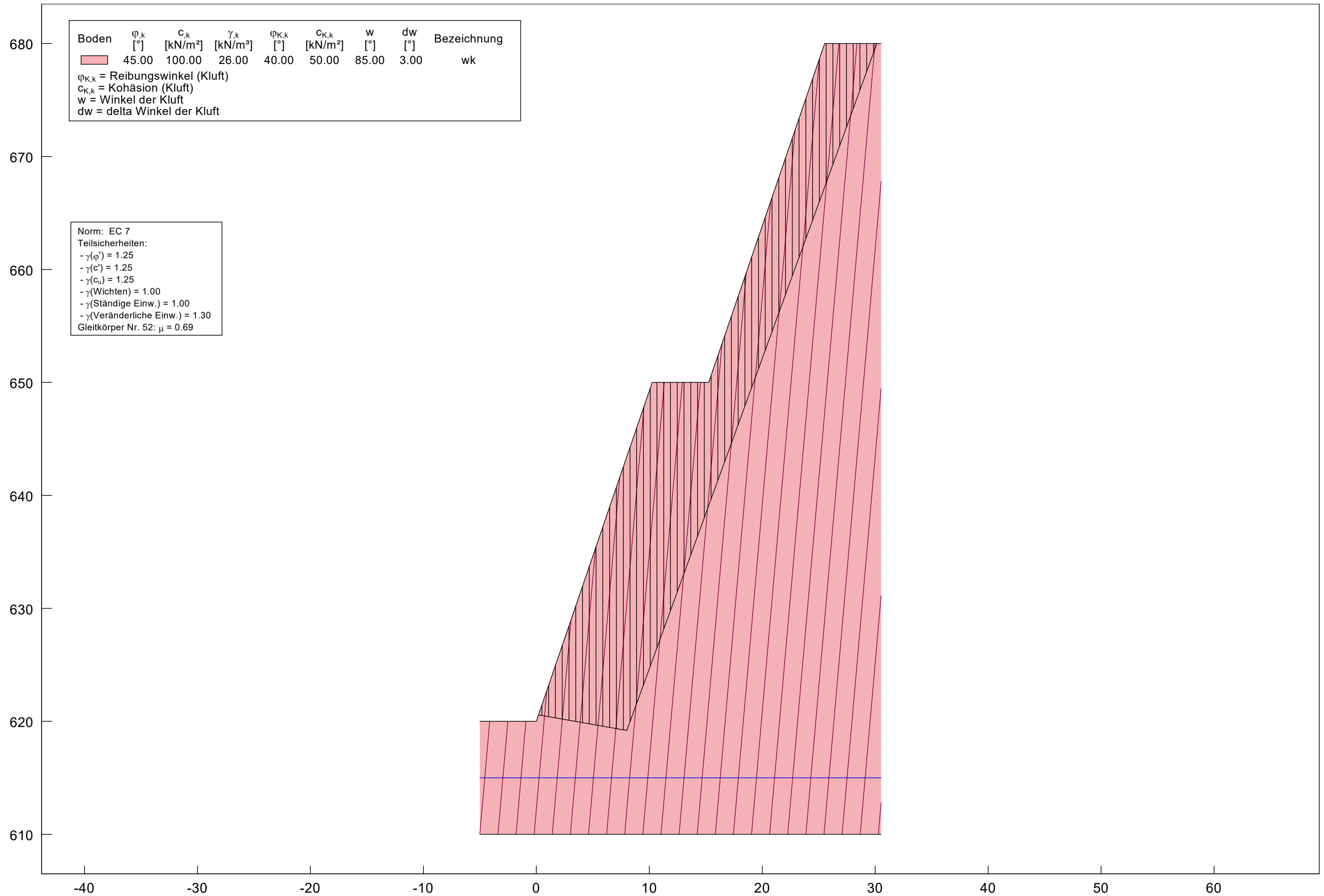


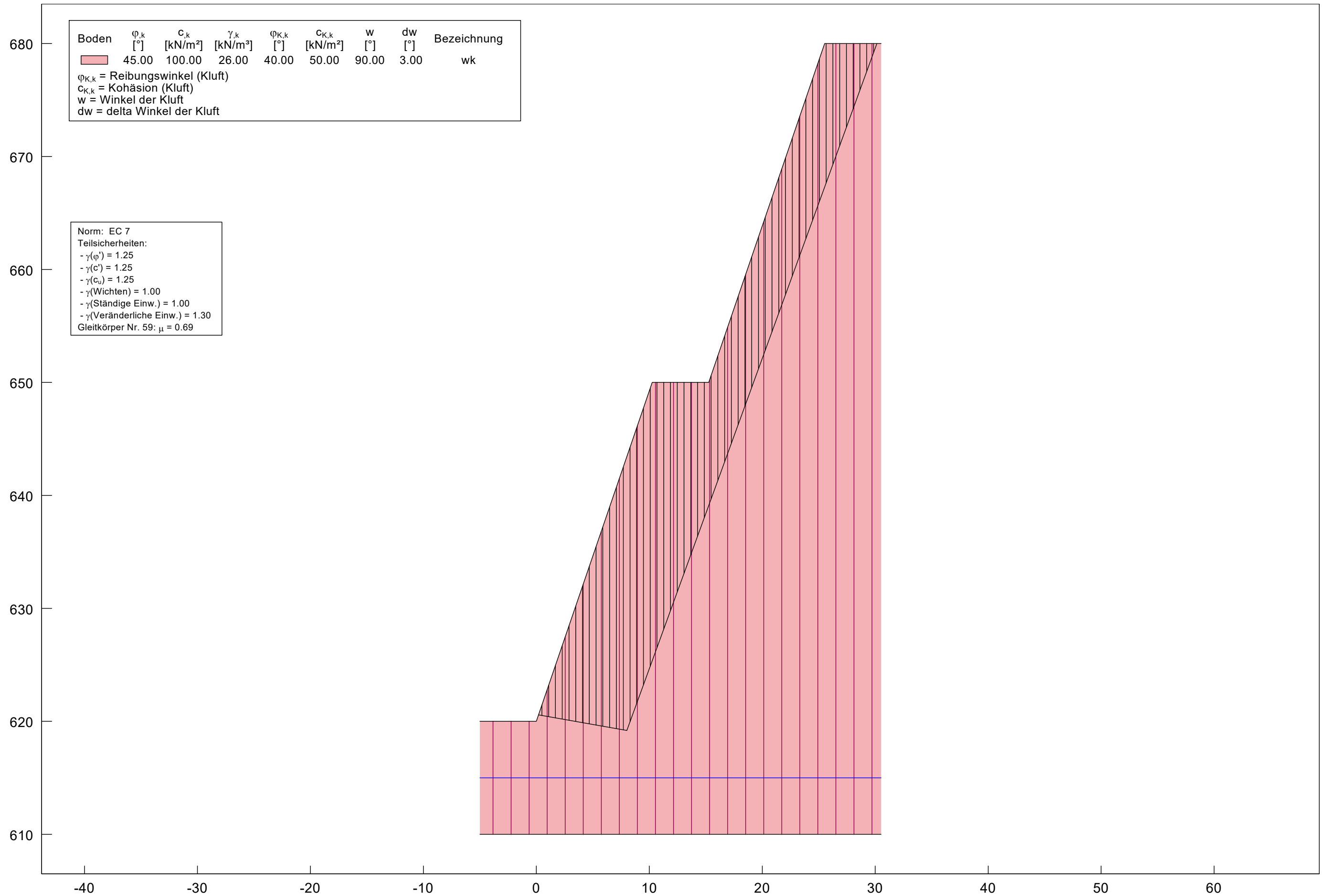


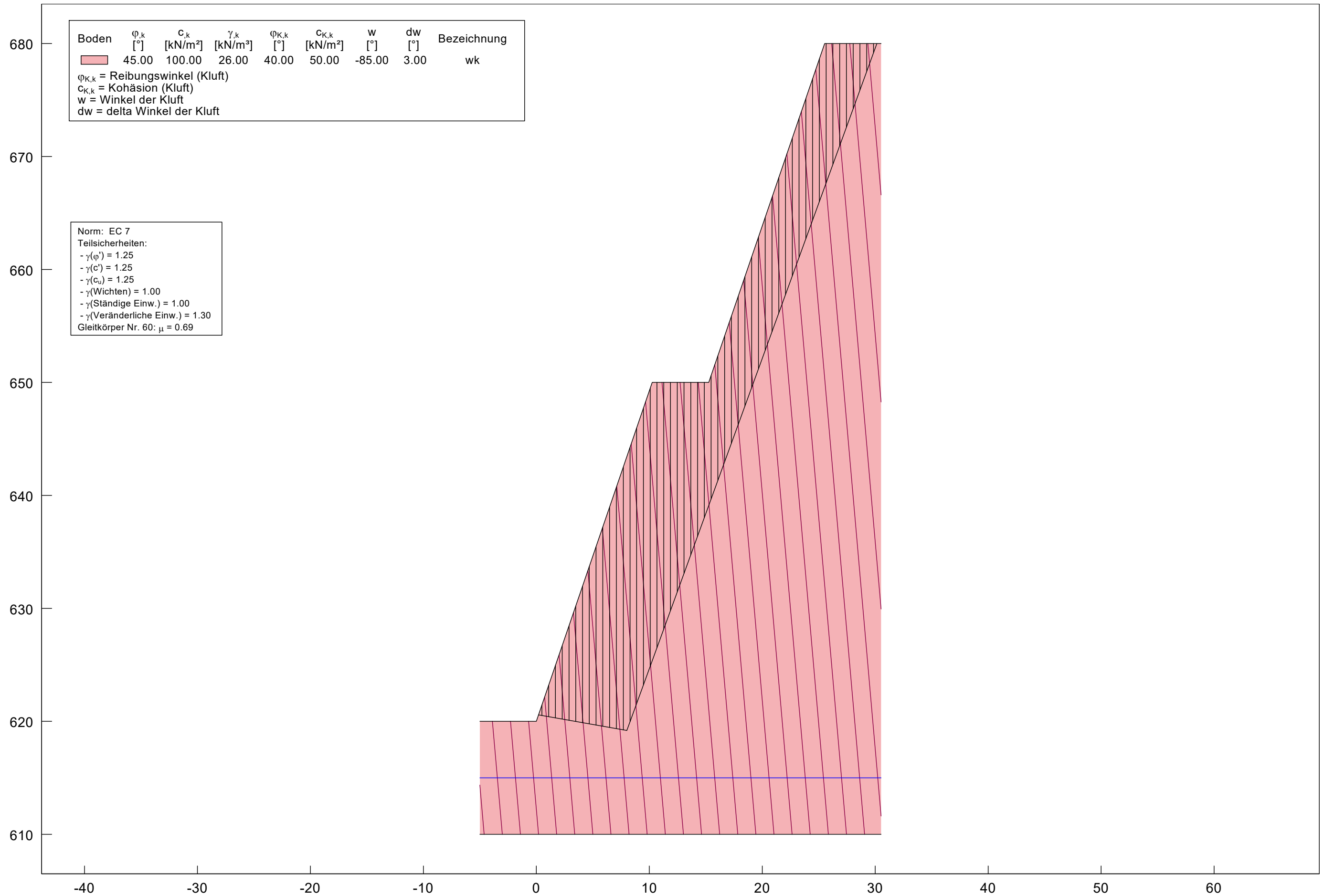


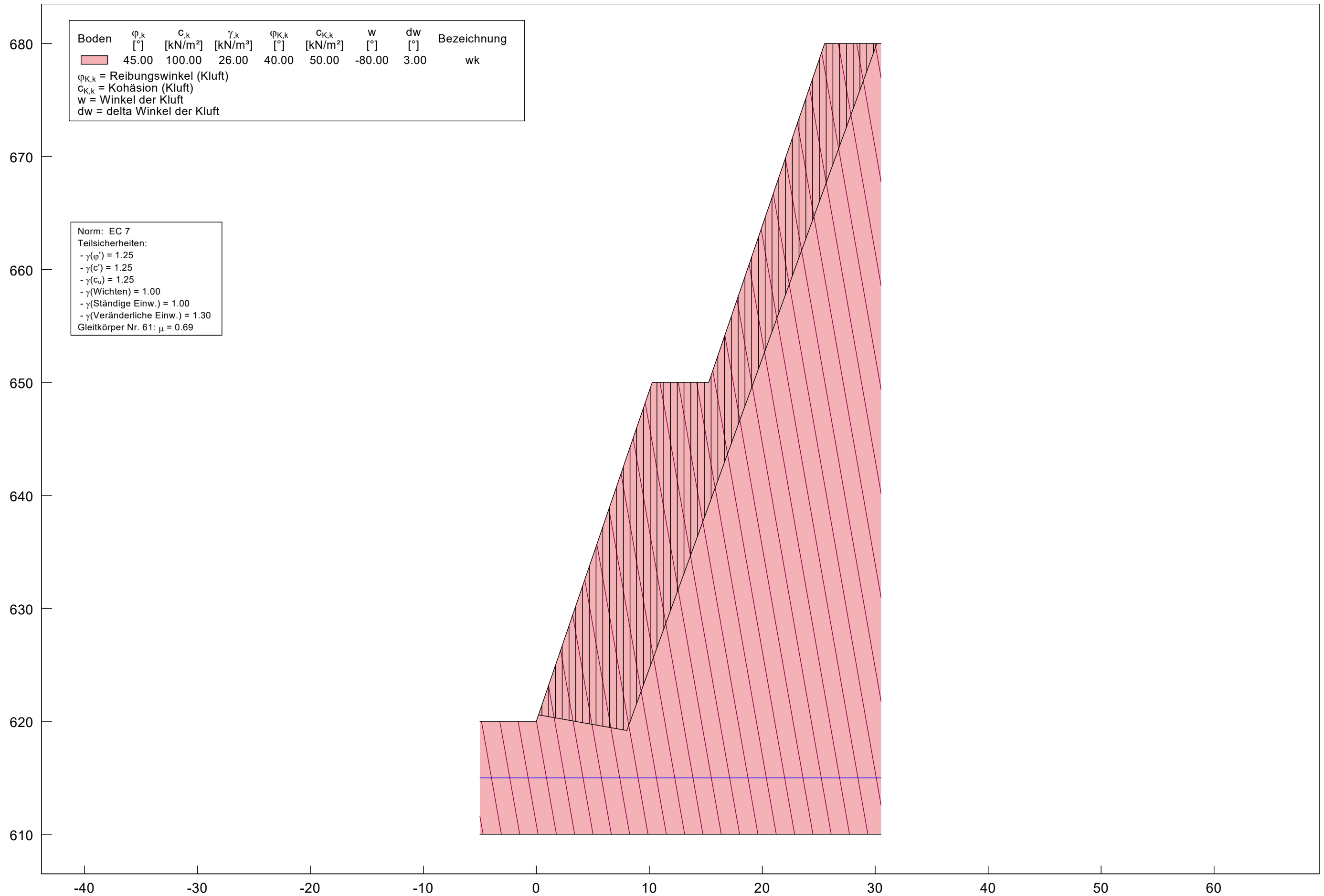


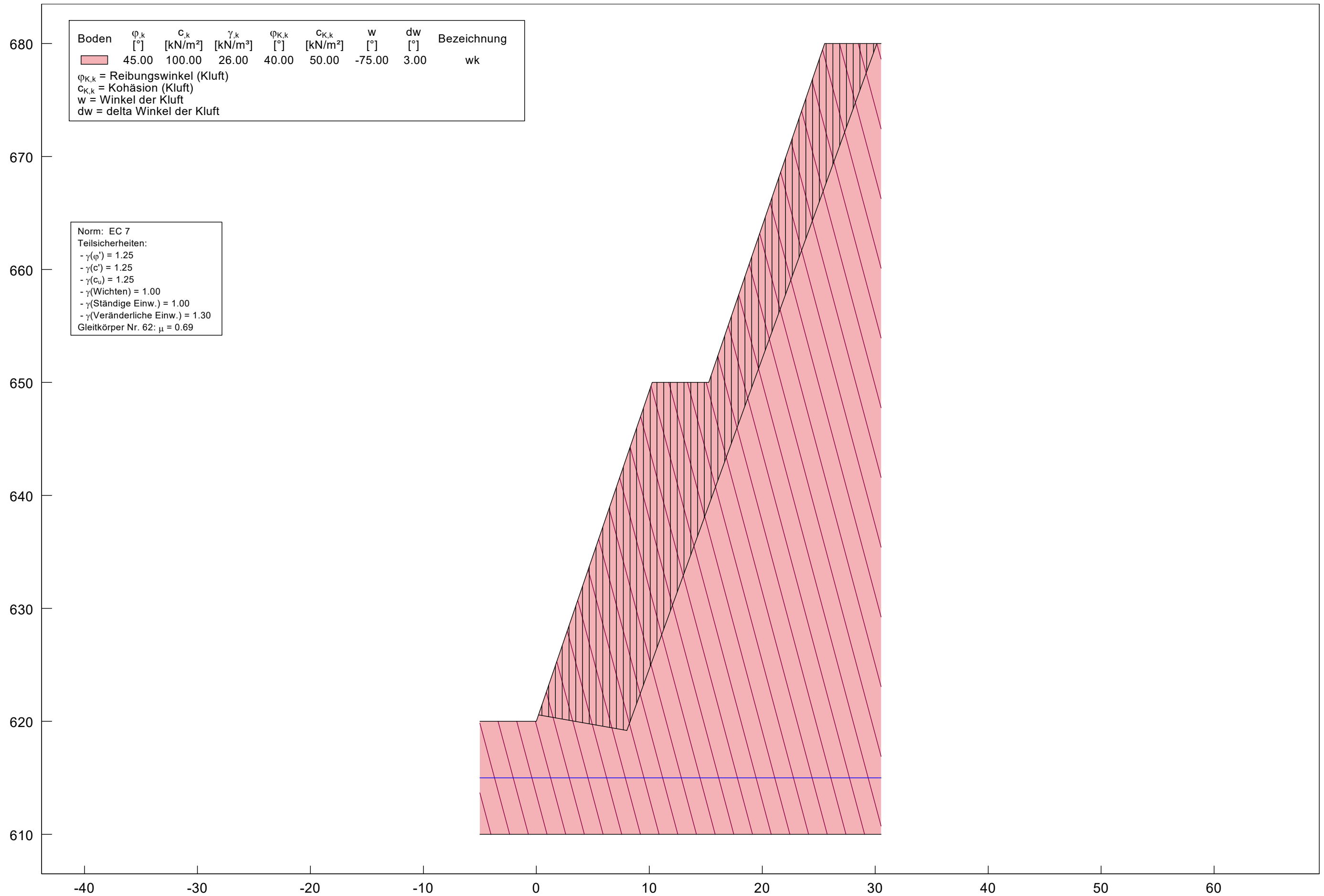


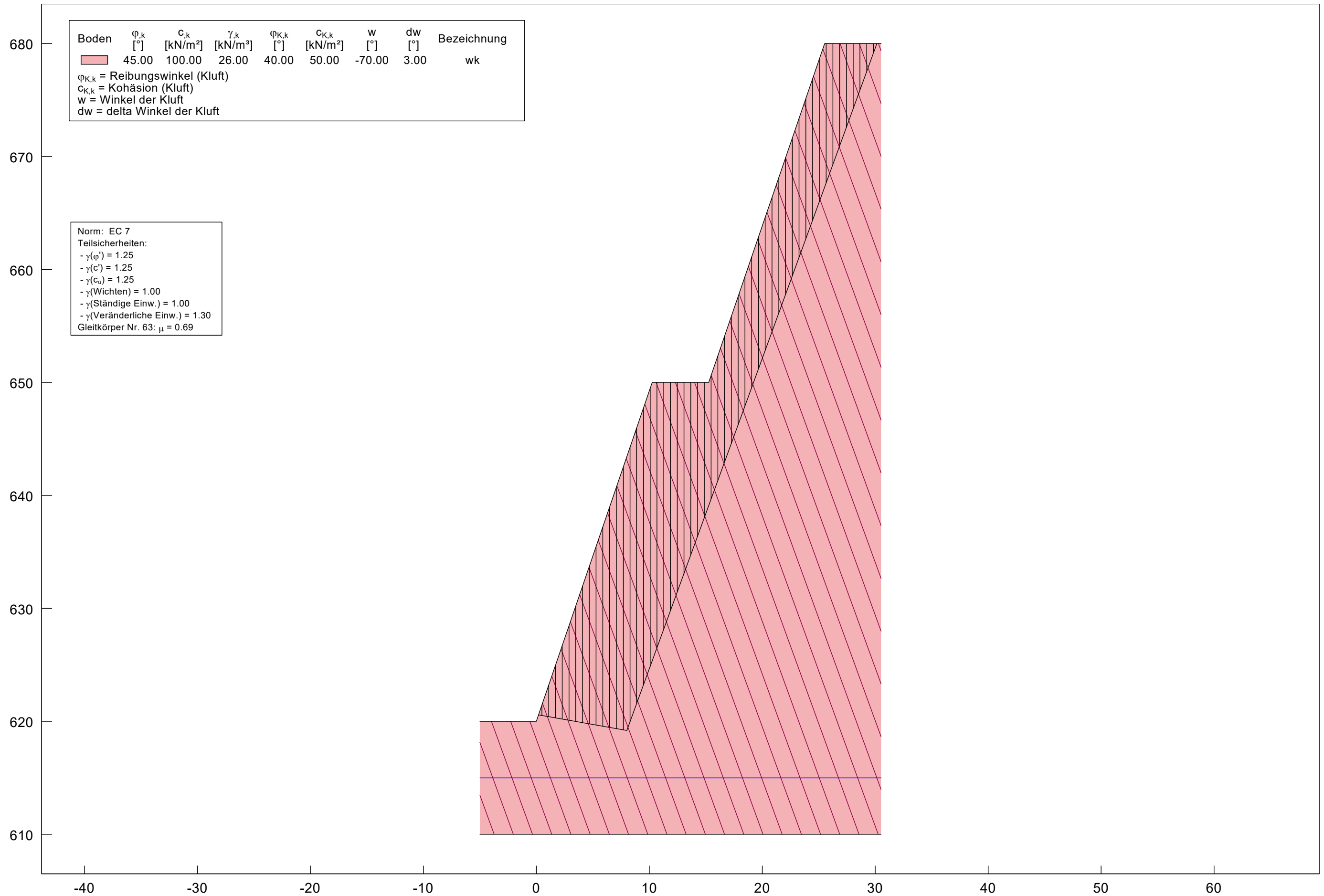


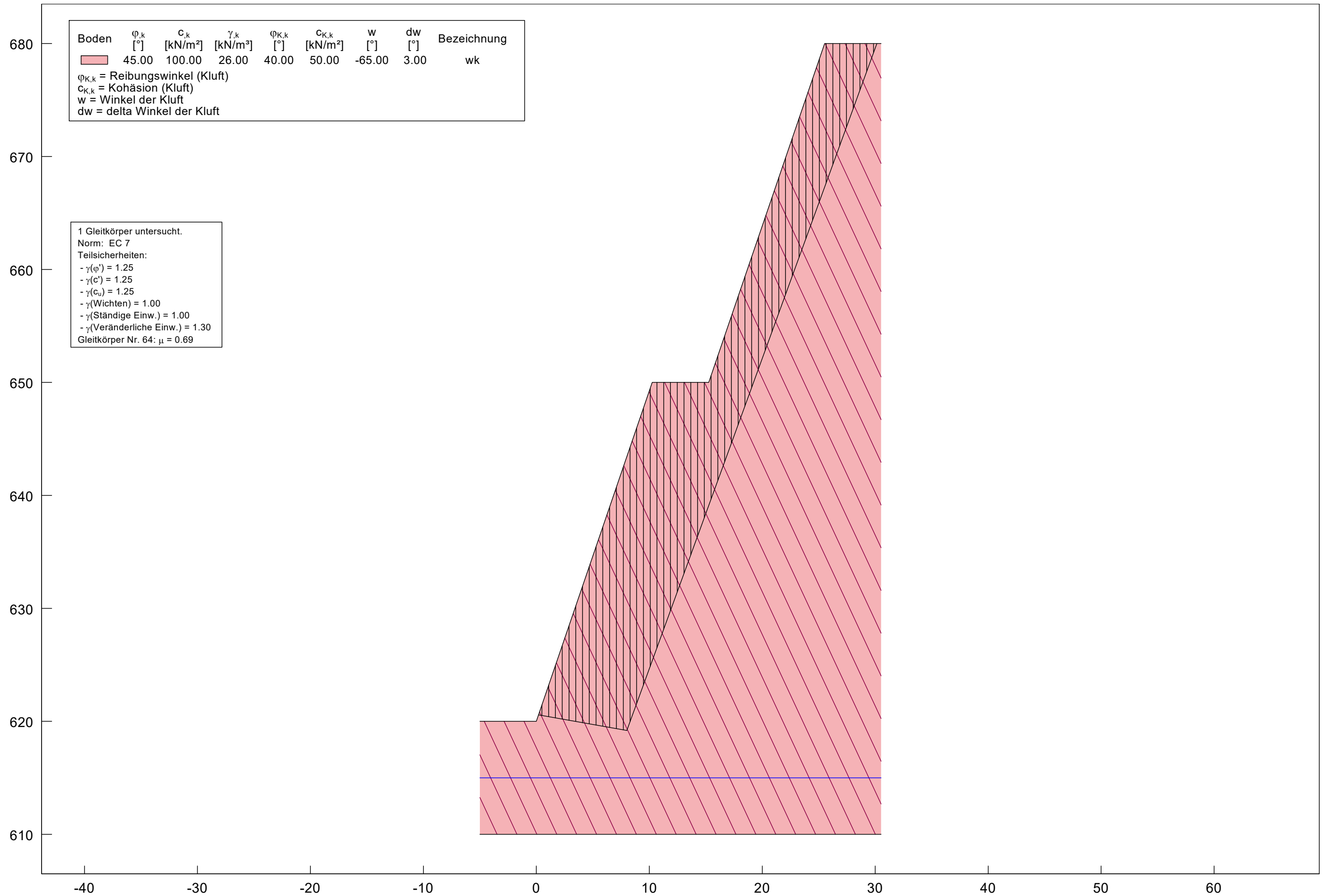


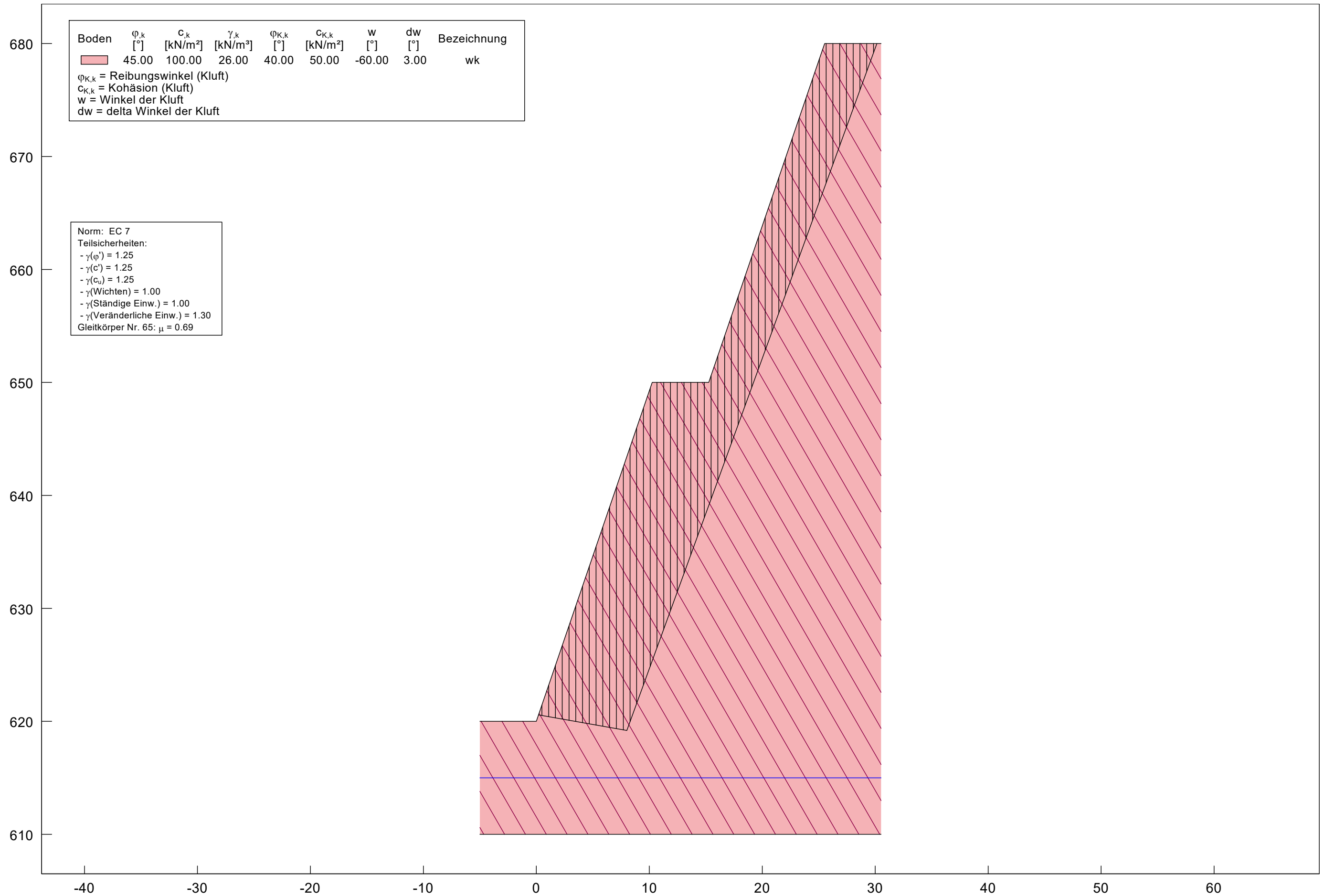


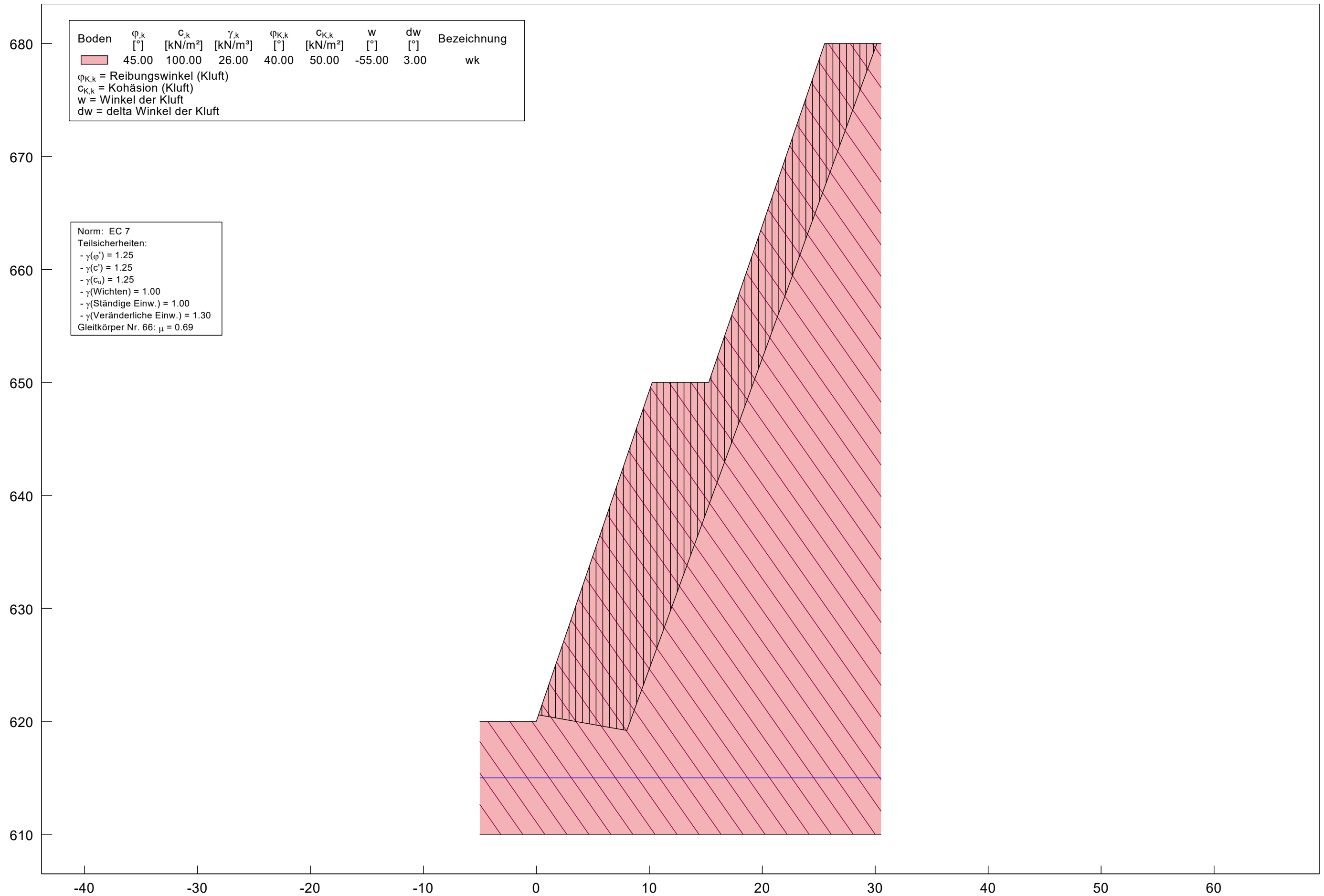












Steinbruch Überfilzen

Geologisch – geotechnischer Bericht

Anlage 6.3.3 Betrachtung der nach Norden einfallenden Böschungen

