GEOGRAPHISCHE INSTITUTE DER
RHEINISCHEN FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN

Spezialseminar A 7963
Gravitative Massenbewegungen
Dozent: Dr. Thomas Glade
Sommersemester 2000

Methoden der

Hangstabilitätsanalyse

vorgelegt von:
cand. geogr. Malte Hövel
5. Semester
HF: Geographie
NF: Politische Wissenschaft, Bodenkunde
XXX
XXX
XXX
(Tel: XXX)
eMail: XXX

Inhaltsverzeichnis

Seite

Einleitung

Hang: natürlich entstandene, geneigte Fläche. (Künstlich:Böschung)

Kohäsion erlaubt steilere Böschungen

Operationalisierung und Relevanz des Themas

Das Untersuchungsobjekt: Hänge, Böschungen, potentielle Rutschungen

Zum Referat

Die potentielle Scherfläche

Rutschungen geschehen auf sog. Scherflächen. Scherflächen sind die Grenzflächen zwischen dem sich bewegenden und dem weiter stehenden Material. Meist ist die Scherfläche identisch mit einer geologischen Schicht, die eine lokale Schwächezone darstellt.

Besonders rutschungsanfällig sind Schichtungen, bei denen gut wasserwegsame Schichten über toniger Unterlage liegen[1]. Tonige Schichten bieten eine hohe Gleitfähigkeit. Zudem stauen sie Wasser und sorgen so in den hangenden Schichten für eine episodische Wassersättigung, die als Agens für eine Rutschung dienen kann. Aber auch andere Schichtungen können potentiell Rutschungen fördern.

Entsprechend wichtig ist es bei Hangstabilitätsanalysen, zunächst Lage und Form der Gleitfläche zu kennen.

Stark gekrümmte, oft kreisförmige Gleitflächen finden wir meist in tiefreichend homogenen Böden. In Verwitterungsböden dagegen sind abgeflachte Gleitflächen häufiger. Auch in Schichtgesteinen sind Gleitflächen meist eben, da hier die potentielle Bruchlinie entsprechend der Gesteinsstruktur entlang der Schichtung verläuft.[2]

Zur Ermittlung der Scherfläche werden in der Literatur oft Methoden aufgeführt, um bereits bestehende Scherflächen nach dem Rutschungsereignis zu kartieren. Wichtiger ist jedoch für die Hangstabilitätsanalyse das Auffinden potentieler Scherflächen, an denen ein Bruch auftreten könnte. Eine solche Analyse ist deutlich aufwendiger. Sie wird mit Hilfe des Sicherheitsbeiwertes durchgeführt (s. d.).

---

[1] H. Prinz, S. 247.

[2] Prinz, S. 254.

Gleichgewichtsberechnungen

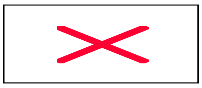
Sicherheitsbeiwert

Der Sicherheitsbeiwert (factor of safety) ist ein Maß für die Standsicherheit eines Hanges. Er errechnet sich wie folgt[3]:

$$F = \frac{\text{aktuelle Scherspannung}}{\text{Grenzscherspannung}}$$

bzw. als Quotient der rückhaltenden und der abschiebenden Momenten[4].

Diese Gleichung läßt sich wie folgt weiter aufschlüsseln:



Hierbei bedeuten:

F = Sicherheitsbeiwert
c = Kohäsionswirkung
ϕ = Winkel der inneren Materialreibung
σ = Normalspannung der Rutschungsoberfläche
τ_{eq}= Grenzscherspannung

Die Grenzscherspannung ist genau dann erreicht, wenn sich die hangabwärts gerichteten Kräfte mit den widerständigen (hangaufwärts gerichteten) Kräften die Waage halten, ein Zustand also, in welchem gerade eben keine Massenbewegung zustande kommt[5].

Sicherheitsbeiwerte, die deutlich den Wert eins überschreiten, gelten als Bestätigung für die Standfestigkeit eines Hanges. Erst bei Unterschreiten dieses Wertes kann eine Rutschung stattfinden. Da die rechnerischen Werte aber wegen nötiger Vereinfachungen nicht genau mit den natürlichen Bedingungen übereinstimmen, kann ein Hang erst dann als rutschungssicher gelten, wenn der Sicherheitsbeiwert deutlich über eins liegt.

Als variable Komponenten enthält der Sicherheitsbeiwert die Reibung und die Kohäsion. Mit Hilfe des Sicherheitsbeiwertes läßt sich also grob errechnen, bei welchen Werten für Kohäsion und Materialreibung ein Hang kollabieren würde.

Der Sicherheitsbeiwert ist lokaler Art und somit für eine Hangmasse nicht als Kontinuum zu verstehen. An unterschiedlichen Punkten des Hanges können auch unterschiedliche lokale Sicherheitsbeiwerte vorliegen. Ein Kollabieren des Hanges wird also bevorzugt entlang von Schwachflächen zu erwarten sein, die relativ niedrige Sicherheitsbeiwerte aufweisen. Diese sind die potentiellen Scherflächen. Zu finden sind sie

[3] Duncan, in: Turner/Schuster (1996).
[4] H. Prinz (1991)
[5] Ahnert.

meist in Schwächezonen des Ausgangsmaterials, zum Beispiel bei einer Schichtgrenze einer geologischen Schichtung.

Oftmals enthält ein Hang mehrere Flächen mit geringen Sicherheitsbeiwerten. Die wahrscheinlichste Bruchfläche ist dann diejenige Fläche mit dem geringsten Sicherheitsbeiwert. Standsicherheitsberechnungen bzw. Ermittlungen des Sicherheitsbeiwertes müssen daher für jede potentielle Scherfläche einzeln ermittelt werden.

Standsicherheitsberechnungen

Die konkrete Berechnung der Standsicherheit kann auf vielerlei Art erfolgen. Die Berechnungsmethoden gliedern sich vor allem nach der Form der Scherfläche. Wir unterscheiden hier folgende Scherflächentypen:

- gerade Scherfläche: der einfachste Fall.
- gebrochene Scherfläche: die Scherfläche besteht aus einem Kreisbogenstück am Anriß und einer geraden Fläche an der Basis.
- gekrümmte bzw. kreisförmige (konkave) Scherflächen.

Ist die Scherfläche bekannt, fragen wir nach dem Zustand des Hanges im Vergleich zum Grenzgleichgewicht. Das Grenzgleichgewicht ist der Zustand, bei dem die beteiligten Kräfte sich genau die Waage halten, sich also das Material gerade eben nicht bewegt.

Hangstabilität bei gerader Scherfläche[6]

Das Rutschungspotential einer Scherfläche ergibt sich aus dem Zusammenspiel verschiedener Kräfte. Über einer geraden Scherfläche finden wir folgende Kräfte (s. Abb.):

Die Gewichtskraft G stellt die Auflast dar, die der Rutschungskörper auf den Untergrund ausübt. Sie ergibt sich aus dem Produkt von Querschnitt A des Rutschungskörpers und seiner Wichte (Wichte = Produkt aus Dichte und Erdbeschleunigung). G greift am Schwerpunkt des Rutschungskörpers an.

Die Kraft G kann wiederum unterteilt werden in die Normalkraft N, welche senkrecht zur Scherfläche wirkt, und die treibende Kraft T, welche hangabwärts wirkend die Rutschung auslöst, wenn keine Kräfte entgegenwirken. Hierbei ist $T = G * \sin \beta$ und $N = G * \cos \beta$. Die Normalkraft ist wesentlich verantwortlich für das Zustandekommen einer Reibung.

Je größer der Neigungswinkel β wird, desto kleiner wird N und desto größer wird T, desto wahrscheinlicher wird also das Abrutschen eines Hanges.

[6] Kuntsche, S. 153f

Druck erzeugt Gegendruck. Daher steht der Kraft G eine Gegenkraft K entgegen. Auch K läßt sich wieder untergliedern in zwei Komponenten: in die Normalkraft, senkrecht von unten auf den Hang wirkend, und die Haltekraft H, hangaufwärts gerichtet. Die Haltekraft H verhindert, daß die treibende Kraft T den Hang in Bewegung setzen kann.

Die Fähigkeit des Materials, T eine Kraft H entgegenzusetzen, ist allerdings vom Material selbst abhängig. Sie wird begrenzt durch die mittlere Scherfestigkeit τ_f der Scherfläche.

Nach dem Schergesetz (Ableitung siehe z. B. Kuntsche 1999, S. 98f) errechnet sich τ_f wie folgt:

$\tau_f = \sigma' * \tan \varphi' + c'$

mit:

σ' = Druckspannung

φ' = effektiver Reibungswinkel

c' = effektive Kohäsion.

Das maximale H ist dann: $H_{max} = \tau_f * l$

wobei l die Länge der Scherfläche in hangparalleler Richtung bedeutet.

Für kohäsionslose Böden errechnet sich, daß β nicht größer werden kann als φ'. In Böden mit Kohäsion lautet die Gleichgewichtsbedingung H = T. In einzelne Komponenten zerlegt heißt das:[7]

$G * \cos \beta * \tan \varphi' + c' * l = G * \sin \beta$.

Hangstabilität bei gebrochener Scherfläche[8]

Gebrochene Gleitflächen sind zusammengesetzt aus einem geraden Teil am Fuß der Scherfläche und einem geraden oder gekrümmten Teil, welcher am Abriß zu finden ist. In diesem Fall läßt sich der Rutschungskörper unterteilen (s. Abb.X) in den Teil über der ebenen Fläche (Dreieck ABD) und einem keilförmigen Reststück (BDF). Der Keil drückt hierbei mit seinem Eigengewicht die Masse in ABD nach außen. Um einen Gleichgewichtszustand zu erreichen, müssen daher die widerständigen Kräfte von ABD groß genug sein, um auch die treibenden Kräfte von BDF mit zu kompensieren.

Physikalisch ausgedrückt übt der Keil BDF eine Kraft E_a auf den benachbarten Block ABD aus. Vereinfachend wird angenommen, daß diese Kraft horizontal wirkt. Sie greift auf einem drittel der Höhe zwischen B und D an.

---

[7] Kuntsche, S. 154.

[8] Prinz, S. 144f.

Dieser Kraft muß eine Kraft entgegenwirken. Diese nennen wir E_p. E_p muß E_a direkt entgegenwirken. Bei einem Grenzgleichgewicht haben E_a und E_p gleiche Größen, aber genau entgegengesetzte Richtungen. Ihre Errechnung ist schon etwas aufwendiger:

Die Ermittlung der abtreibenden Kraft ergibt sich wie folgt:

- Ermittlung eines Hilfskreises. Hierzu wird zunächst der Mittelpunkt des Kreises bestimmt, auf dem BF liegt. Der Radius dieses Kreises ist zu bestimmen. Der später noch notwendige Hilfskreis hat den selben Mittelpunkt, sein Radius ist: r * sin φ_1, wenn r der Radius des Ausgangskreises ist.
- Ermittlung der Gewichtskraft G_1 vom Keil BDF aus dessen Querschnittsfläche und der Wichte γ
- Ermittlung der Schwerelinie von G_1: etwa auf 1/3 der Strecke zwischen D und F
- Ermittlung der Richtung der Kraft Q_1, welche über den Gleitkreis G_1 zu E_a umlenkt: die Richtung ergibt sich aus einer Tangente an den Hilfskreis, welcher durch den Schnittpunkt von G_1 und E_a geht.
- Nun kann E_a mit einem „Krafteck“ ermittelt werden: E_a ist die horizontale Resultierende aus dem Kraftvektor von G_1 und dem Kraftvektor von Q_1, dessen Länge sich aus der Konstruktion des Kraftecks ergibt.

Die Gegenkraft E_p berechnet sich wie folgt:

- Die Richtung des Vektors Q_2 weicht um φ_2 von der Lotrechten zu AB ab.
- Die Kohäsionskraft C_2 ergibt sich aus c*AB (Kohäsion mal Strecke).
- Die Gewichtskraft G_2 des Rutschungsblocks ABD ergibt sich aus dessen Querschnittsfläche und der Wichte γ
- Nun kann E_p mit dem Krafteck aus G_2, C_2 und Q_2 errechnet werden. Die Größe von Q_2 ergibt sich wiederum aus dem Kräftedreieck. Dies ist möglich, weil die Richtung von E_p bereits als horizontal gesetzt ist.

Ein Vergleich der beiden Hauptkräfte genügt bereits den Kriterien der Standsicherheitsberechnung. Der Sicherheitsbeiwert F ergibt sich hierbei wie folgt:

$F = E_p / E_a.$

Um von einem stabilen Hang ausgehen zu können, sollte dieses Verhältnis mindestens 1,4 betragen.

Standsicherheitsnachweis nach den Lamellenverfahren

Lamellenverfahren werden dann angewendet, wenn die potentielle Scherfläche gekrümmt oder unregelmäßig ist oder aber im Untergrund unterschiedliche Gesteinsschichten mit verschiedenen Materialeigenschaften involviert sind. Die Rutschung wird dabei meist in einzelne Abschnitte (Lamellen) eingeteilt. Breite und Anzahl der Lamellen richten sich bei einheitlichem Untergrund nach dem potentiellen Gleitkreis, der sich aus der Krümmung der Scherfläche ergibt. Ein Zehntel seines Radius wird dann als Lamellenbreite gesetzt. Besteht die Gleitfläche aus mehreren unterschiedlichen Materialtypen, so werden die Lamellen so gewählt, daß jede Lamelle nur je ein Material erfaßt.

Die Literatur bietet eine große Zahl von Methoden nach dem Lamellenverfahren. Die einzelnen Schwerpunkte sind dabei je nach Autor sehr unterschiedlich. Die bekanntesten Methoden sind die vereinfachte Methode nach Bishop für kreisförmige Scherflächen sowie die Methoden von Sarma und Janbu sowie die Keilmethode für anders geformte Scherflächen. Diese Methoden sind in der Praxis beliebt, weil relativ einfach. Durch gewisse Grundannahmen, Prämissen und Vereinfachungen liefern diese Methoden allerdings nur Näherungswerte, welche nah an der Realität, aber mit leichten Fehlern behaftet sind. Genauere Methoden stammen von Morgenstern / Price und von Spencer / Frelund et al.. Diese sind genauer, bedeuten aber einen höheren Aufwand bei der Errechnung des Sicherheitsbeiwertes. Einige Probleme dieser Methoden versuchte Correira mit seiner Methode zu bereinigen.[9]

Im Rahmen dieser Arbeit können nicht alle Methoden ausführlich behandelt werden. Allgemein werden in der Literatur fast ausschließlich die praxisnahen Näherungsmodelle verwendet. Diese Näherungsmodelle seien im Folgenden zusammenfassend beschrieben. Interessierten sei für weitere Einblicke die Lektüre einschlägiger Fachliteratur empfohlen.

Allgemein lassen sich die einzelnen Kräfte für jede einzelne Lamelle getrennt berechnen und anschließend aufsummieren. Hierbei wird, um die Rechnung zu vereinfachen, die Basis der Lamellen (der jeweilige Abschnitt der Gleitfläche) als gerade angenommen. Bei der Bewertung der Ergebnisse sollte diese Vereinfachung bewußt sein, da sie das Ergebnis, wenn auch nur leicht, verändern kann.

In der Natur finden wir oft Gleitkreise, also im Profilschnitt kreisförmige Scherflächen. Deren Sicherheitsbeiwert berechnen wir zunächst aus den Summen der Abschiebenden Momenten (G*x), dem Radius r des Gleitkreises und den rückhaltenden Scherkräften des Gleitkreises, Reibung T und Kohäsionskraft C:

$F = (\Sigma (T + C) * r) : (\Sigma G * x)$. ➔ Abb. Prinz 5.29

[9] Almeida-Teixeira et al.

Konventionelles Gleitkreisverfahren nach Krey[10]

Beim konventionellen Gleitkreisverfahren nach Krey wird für jeden Streifen die Kraft G*x berechnet, die am Schnittpunkt der Schwerelinie mit dem Gleitkreis angreift. Zudem werden berechnet:

- die Normalkraft N. Ihre Richtung ergibt sich aus dem Mittelpunkt des Gleitkreises.

Das gewöhnliche Lamellenverfahren[11]

Beim gewöhnlichen Lamellenverfahren (ordinary method of slices) wird für jede einzelne Lamelle eine Anzahl von Meßwerten tabellarisch aufgenommen: Lamellengewicht W, die Länge der Lamellen auf dem Scherflächenabschnitt l, der durchschnittliche Winkel zwischen der Basis der Lamelle (Scherflächenabschnitt) und der Waagrechten α, der Kohäsion c, der Reibungswinkel ϕ, der Porendruck u und die Werte der Rechengrößen N_1 und N_2.

Hierbei sind die Werte für W, N_1 und N_2 zu errechnen. Das Lamellengewicht W ergibt sich durch: $W = b\ \Sigma\ (\gamma_i * h_i)$ mit b = Breite der Lamelle, γ_i = Wichte des Bodenmaterials i und h_i = Höhe der Erdschicht i, gemessen in der Mitte der Lamelle. N_1 errechnet sich aus $W * \sin \alpha$, $N_2 = (W \cos \alpha - ul) * \tan \phi + cl$.

Mit diesen Daten läßt sich der Sicherheitsbeiwert errechnen:

$F = \Sigma\ (N_2) / \Sigma\ (N_1)$.

Eine Beispielkalkulation sowie eine Beispielsituation enthalten Abb. X und XI.

Die modifizierte Methode nach Bishop[12]

Die Methode von Bishop ist zunächst dem gewöhnlichen Lamellenverfahren sehr ähnlich. Der Unterschied liegt in der Berechnung des Faktors N_2. Er wird hier wie folgt berechnet:

$N_2 = ((W : \cos \alpha - ul) * \tan \phi + cl) : (1 + \tan \alpha \tan \phi : F_a)$.

Hierbei bedeutet F_a den geschätzten (assumed) Sicherheitsbeiwert. Die Bestimmung des errechneten Sicherheitsbeiwertes F_c läuft wieder über die Gleichung:

$F_c = \Sigma\ (N_2) / \Sigma\ (N_1)$.

Als Schätzwert F_a dient zunächst der Wert, welcher über das gewöhnliche Lamellenverfahren für F ermittelt worden ist. Da sowohl N_2 vom Sicherheitsbeiwert abhängt als auch umgekehrt, sind mehrere Durchläufe des Verfahrens notwendig. Hierbei wird jeweils der vorher errechnete Wert für F_c als neues F_a im nächsten Rechengang verwendet. Die

[10] Prinz, S. 145f.
[11] Duncan, S. 353.
[12] Duncan, S. 353f.

Rechnung ist dann abgeschlossen, wenn in einem Rechengang F_a und F_c übereinstimmen (siehe Beispielrechnung).

Besonders bei hohem Porendruck ergeben sich deutlich höhere Sicherheitsbeiwerte als beim gewöhnlichen Lamellenverfahren. Im angefügten Beispiel (Abb. X – XII) ergibt sich bei der Methode nach Bishop ein sechs Prozent höherer Wert für F als beim gewöhnlichen Lamellenverfahren (1,52 gegenüber 1,43). Je höher der Porendruck, desto stärker ist diese Abweichung. Dies zeigt, daß das gewöhnliche Lamellenverfahren besonders bei hohem Porendruck relativ ungenau ist.

In Einzelfällen kann es bei der modifizierten Methode von Bishop zu numerischen Problemen kommen. Diese können am oberen und am unteren Ende der Scherfläche auftreten, wenn diese besonders steil sind. In diesem Fall liegt der über Bishops Methode ermittelte Sicherheitsbeiwert unter dem Sicherheitsbeiwert aus dem gewöhnlichen Lamellenverfahren. In diesem Fall sollte der Sicherheitsbeiwert aus dem gewöhnlichen Lamellenverfahren verwendet werden.

Kräftegleichgewicht mit konstanter Neigung der Seitenkräfte[13]

Das normale Lamellenverfahren und Bishops modifizierte Methode sind lediglich auf Rutschungen mit kreisförmigem Querschnitt anwendbar. Da aber viele Rutschungen deutlich unregelmäßigere Querschnitte haben, sind auch Methoden konstruiert worden, die auf Situationen mit unregelmäßigen Querschnitten anwendbar sind. Hierzu gehört die Methode zur Ermittlung des Kräftegleichgewichts mit konstanter Neigung der Seitenkräfte oder kurz θ-Methode (bei θ = Winkel der seitlichen Kräfte).

Unter „Seitenkräften“ im Sinne dieses Modells wird diejenige Kraft verstanden, welche von höheren Teilen des Rutschungskörpers auf die darunter liegenden Teile ausgeübt wird (vgl. Abb. X).

Wie bei den zuvor geschilderten Verfahren wird die Rutschung auch bei der θ-Methode in Lamellen eingeteilt. Für diese Lamellen werden wiederum einzeln die selben Werte ermittelt wie bei den bisherigen Lamellenverfahren, mit Ausnahme von N_1 und N_2 (siehe Abb. X). Zusätzlich wird ein Wert für θ angenommen. Aus diesen Werten lassen sich sechs neue Werte errechnen, N_0 bis N_4 und ΔE. Die Formeln hierzu befinden sich in Abb. X. Diese Rechengrößen sind dazu da, den Faktor F zu ermitteln. Die Ermittlung geschieht über Schätzwerte F_a, die in die Formeln von N_x eingesetzt werden. Der Wert für F_a kann dann als

---

[13] Duncan, S. 155ff.

gültiger Sicherheitsbeiwert angesehen werden, wenn die Rechnungen für $\Delta E = 0$ ergeben. F wird also durch Ausprobieren ermittelt.

Der resultierende Wert von F ist stark von der Wahl eines Wertes für θ abhängig. Je größer θ, desto größer wird F. Ein ausreichend realistischer Wert für θ wird durch die Methode von Spencer ermittelt. Spencer benutzt dabei neben dem Kräftegleichgewicht auch das Momentegleichgewicht. Nach Spencer kann nur ein Wert für θ beide Gleichgewichtsbedingungen erfüllen. Das über diesen Wert ermittelte F ist eine gute Schätzung; sie weicht um nicht mehr als 12% von den Werten ab, die durch weit aufwendigere Methoden ermittelt werden können.

Janbus vereinfachte Methode[14]

Janbu entwickelte 1955 eine Methode zur Berechnung der Hangstabilität bei abgeflachten, spiralförmigen oder geometrisch unregelmäßigen Gleitflächen. Sein Verfahren ist inzwischen in der DIN-Norm 4084 verankert.

Gesucht ist wiederum der Sicherheitsbeiwert des jeweiligen Hanges. Untersucht wird hier mit Hilfe des Kräftegleichgewichts zwischen allen beteiligten Kräften, also mit dem Grenzzustand, in welchem gerade eben keine Rutschung zustande kommt. zunächst wird angenommen, daß die Scherkräfte zwischen den Lamellen gleich Null sind.

Janbu berechnet für jede Lamelle die beteiligten Kräfte unter Einbeziehung der Materialeigenschaften effektive Kohäsion c‘, effektiver innerer Reibungswinkel ϕ‘ und der Wichte γ. Für die einzelnen Lamellen existieren zudem Werte für die Normalspannung σ, die Scherspannung τ sowie den Porenwasserdruck u. Nach dem Schergesetz (s. o.) ergibt sich unter Einbeziehung des Porenwasserdrucks u eine Scherfestigkeit τ_f wie folgt:

$s = c' + (\sigma + u) \tan \phi'$.

Die tatsächlich mobilisierte Scherfestigkeit τ ist dann: $\tau = s/F$ (F = Sicherheitsbeiwert).

Nun errechnen sich folgende auf jede Lamelle einwirkenden Kräfte wie folgt:

Normalkraft $P = \sigma\, l$

Reibungs- und Kohäsionskraft $T = \tau\, l$.

l ist hierbei

Werden die vorherigen Rechnungen in T eingesetzt, so ergibt sich:

$T = l : F * (c' l + (P - ul) \tan \phi')$.

[14] Glade/Preston, S. 60.

Computeranalysen[15]

In jüngerer Zeit werden immer häufiger auch Computer für die Hangstabilitätsberechnung eingesetzt. Mit Computern sind auch weitaus komplexere Berechnungen in kürzerer Zeit möglich. So können Computermethoden Genauigkeiten von bis zu sechs Prozent erlangen.

Sämtliche Berechnungen können mit einfachen PCs ausgeführt werden. Die Ermittlung der kritischen Gleitfläche nimmt selbst mit einem 486er Prozessor nur eine Minute in Anspruch, während sie von Hand Stunden dauern kann.

Entscheidend für die Berechnung ist die Wahl des Computerprogrammes. Es sollte mehrere, auch komplexere Berechnungsmethoden beherrschen, eine effiziente Bedienung ermöglichen und alle möglichen Faktoren einbeziehen.

Computer arbeiten schnell. Genauso schnell arbeiten sie aber auch Fehler mit ein, die etwa bei der Dateneingabe aufgetreten sein könnten. Entsprechend sind Computerergebnisse vorsichtig zu behandeln und ggf. vor Verwendung zu überprüfen.

Die Auswahl an Computerprogrammen ist inzwischen enorm. Eine einfache Recherche im Internet mit gängigen Suchmaschinen ergibt allein für die Begriffe „Geotechnik“ und „Janbu“ eine Auswahl von rund zwei Duzend unterschiedlichen Programmen.[16]

Der Mensch und der Hang – eine Schlußbetrachtung

[15] Duncan.
[16] Nach eigener Recherche des Autors vom 12. Mai 2000.