

Erläuterungen einiger geotechnischer Begriffe und Konzepte (mit Skizzen)



FACHSTELLE FÜR FORSTLICHE BAUTECHNIK
CENTRE POUR LE GÉNIE FORESTIER
CENTRO PER IL GENIO FORESTALE
POST SPEZIALISÀ PER TECNICA DA CONSTRUCCIUN FORESTALA

Bund, Kantone und Fürstentum Liechtenstein

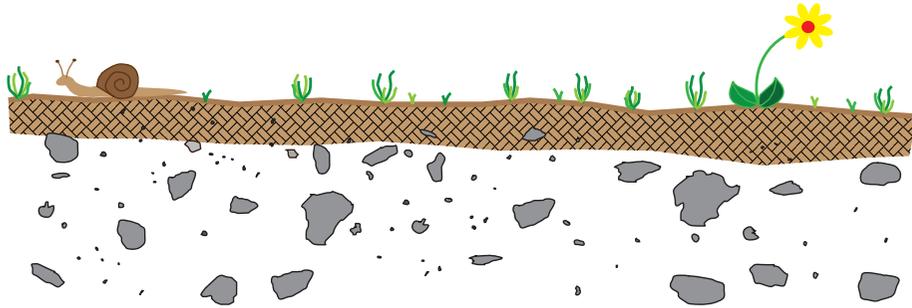
Inhaltsverzeichnis:

1) Grundlegende Begriffe	3
Lockergestein und Fels	4 - 5
Grundwasser	6
Raumgewicht und Lagerungsdichte	7 - 8
Zusammendrückbarkeit	9
Festigkeit	10
- Reibungswinkel	11
- Kohäsion	12
Wasserdurchlässigkeit	13 - 14
Frosteindringtiefe / Frostschäden / Permafrost	15
2) Einige Konzepte anhand „alltäglicher Situationen“	16
Bau in ebenem Gelände	17
- Verwertbarkeit von Aushubmaterial	18 - 19
- Böschungsneigung	20
- Belastete Standorte	21
- Abbaubarkeit	22
- Setzung (Gebrauchstauglichkeit)	23
- Tragfähigkeit	24
Hanganschnitt	25
- Versagensmechanismus	26
- Hangsicherung mit Stützbauwerken	27 - 29
- Hangsicherung mit Rückhaltebauwerken	29 - 31
Schüttungen	32
- Böschungswinkel von Schüttungen	33
- Verdichtung	34
- Konsolidation	35
- Stabilisierung	36
3) Referenzen, weiterführende Literatur	37 - 39

1) Grundlegende Begriffe

Lockergestein und Fels

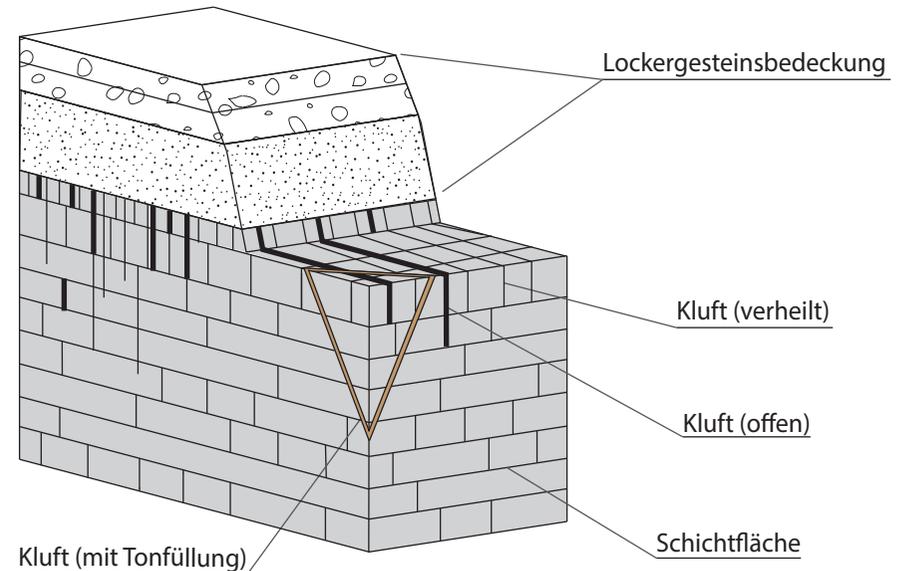
Lockergestein



Lockergestein: Gemenge von Gesteinskörnern, welche nicht oder nur wenig zusammengehalten werden. Lockergesteine bestehen aus Festsubstanz (mineralisch oder organisch) und aus Porenraum, die mit Luft, Gas oder Wasser gefüllt sind. Die mineralischen Körner werden je nach Grösse als Block (> 200 mm), Stein (63 - 200 mm), Kies (2 - 63 mm), Sand (0.063 - 2 mm), Silt (0.002 - 0.063 mm) oder Ton (< 0.002 mm) bezeichnet. Als Kulturerde oder Humus (auch A-Horizont) wird die biologisch aktive Oberflächenschicht mit zersetztem organischem Material bezeichnet.

Lockergesteine haben in der Baubranche eine grössere wirtschaftliche Bedeutung als der Fels. Auf der folgenden Folie werden die Lockergesteine deshalb detailliert beschrieben.

Fels (Festgestein)



Fels: Verband von Gestein einschliesslich Trennflächen (Diskontinuitäten) und Hohlräumen aller Art. Fels weist in den meisten Fällen eine grössere Druckfestigkeit und eine geringere Zusammendrückbarkeit auf als Lockergestein.

Lockergesteine

Es wird zwischen grobkörnigen Lockergesteinen und feinkörnigen Lockergesteinen unterschieden. Diese Unterscheidung ist wichtig, da grobkörnige und feinkörnige Lockergesteine grundlegend andere Materialeigenschaften und ein anderes mechanisches Verhalten aufweisen.

Grobkörnige Lockergesteine

- Kiese, Sande (Steine, Blöcke)
- keine oder nur geringe Anziehungskräfte zwischen den Körnern
- Reibungsmaterial, rolliges Materialverhalten
- bindet nur wenig Wasser an den Körnern (frostsicher)
- Die Materialeigenschaften und das mechanische Verhalten hängen ab von:
 - der Korngrößenverteilung
 - der Kornform
 - der Abstufung:
 - gut sortiert = alle Körner gleich gross = schlecht abgestuft;
 - schlecht sortiert = viele verschieden grosse Körner = gut abgestuft
 - der Lagerungsdichte

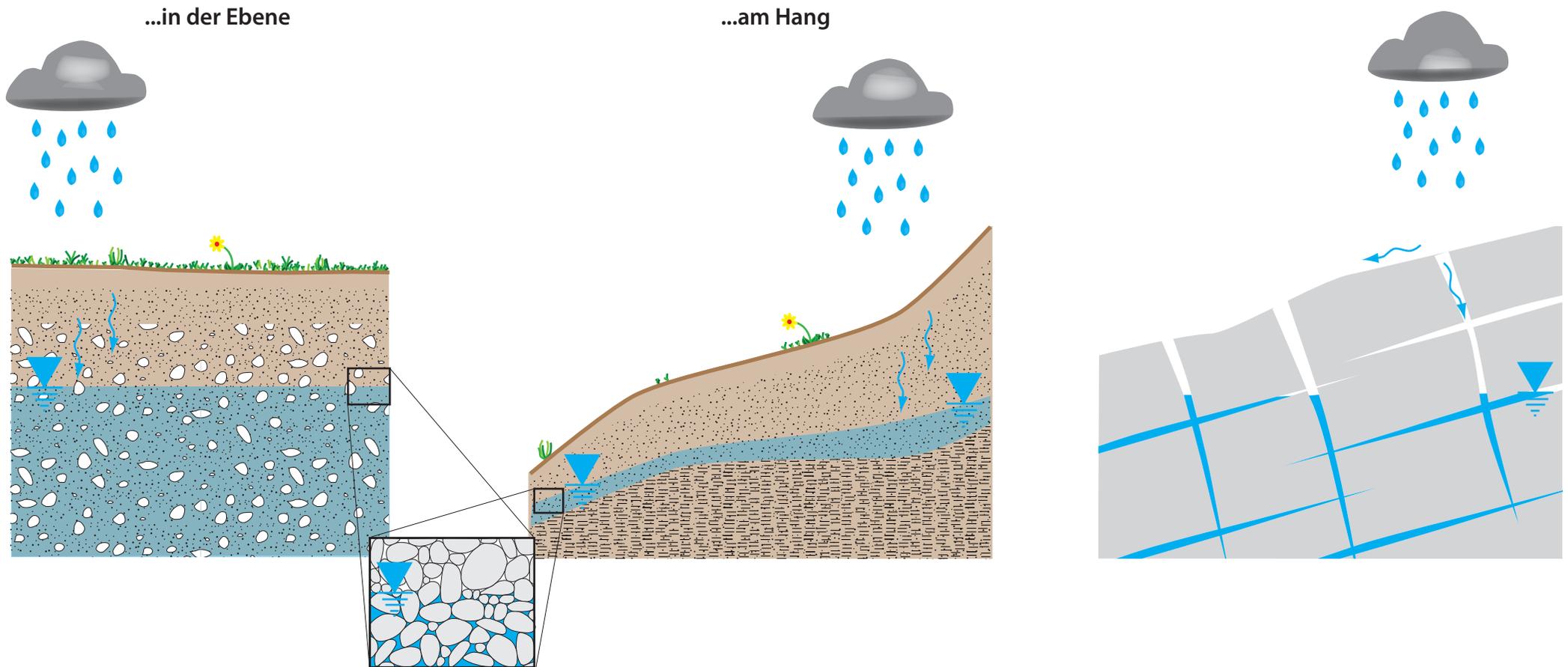
Feinkörnige Lockergesteine

- Silte, Tone
- Anziehungskräfte zwischen den Körnern vorhanden (scheinbare/echte Kohäsion)
- bindiges Material, bindiges Materialverhalten
- bindet viel Wasser an den Körnern (nicht frostsicher)
- Die Materialeigenschaften und das mechanische Verhalten hängen ab von:
 - der Korngrösse
 - der Plastizität
 - dem Wassergehalt (je nach Wassergehalt ist der Zustand des Lockergesteins flüssig, plastisch, halbfest oder fest)

In der Natur tritt meist ein Gemisch aus Kies, Sand, Silt und Ton auf. Bereits ein Feinkornanteil (Silt, Ton) von 5 - 15% verleiht dem Lockergestein leicht bindige Eigenschaften. Spielsand für den Sandkasten hat z. B. ca. 5 - 7% Feinkornanteil (Silt), um den Sand formbar zu machen. Erst ab 15 - 20% Ton und Silt zeigen Lockergesteine ein deutlich bindiges Verhalten [11].

Grundwasser im Lockergestein...

Grundwasser im Fels



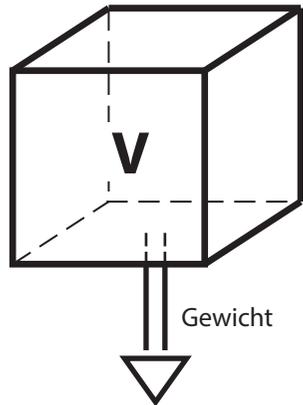
Grundwasser: Wasser, welches Hohlräume (Poren, Klüfte, Karströhren etc.) des Untergrundes zusammenhängend und vollständig ausfüllt. Unter Bergwasser wird umgangssprachlich Grundwasser im Fels verstanden (in Klüften oder Karströhren), unter Hangwasser Grundwasser im Lockergestein am Hang. Der Gesteinskörper (Lockergestein oder Fels), in dem sich das Grundwasser aufhält oder fließt, wird als Grundwasserleiter (Aquifer) bezeichnet.

Raumgewicht und Lagerungsdichte

Raumgewicht = Gewicht pro Volumen

$$\gamma = \frac{G}{V} \equiv \frac{F}{V} \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

10 kN = 1'020 kg \approx 1 to



Der Felsverband weist ein Raumgewicht von $\sim 26 - 27 \text{ kN/m}^3$, selten $> 30 \text{ kN/m}^3$, auf. Lockergesteine weisen normalerweise ein Raumgewicht von $\sim 19 - 22 \text{ kN/m}^3$ auf. Das Raumgewicht ist in erster Linie abhängig vom Porenvolumen des Lockergesteins.

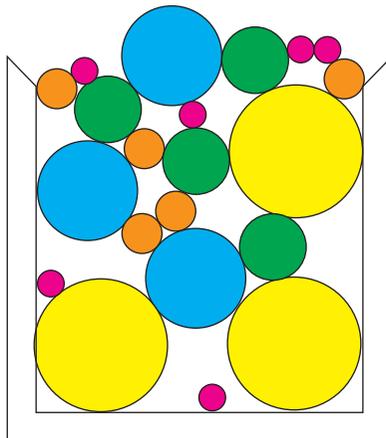
Gesamtporenanteile typischer Lockergesteine:

<i>Sand, Kies, schlecht abgestuft:</i>	<i>25 - 50 %</i>
<i>Sand, Kies, gut abgestuft:</i>	<i>20 - 40 %</i>
<i>Silt, Ton:</i>	<i>20 - 70 %</i>

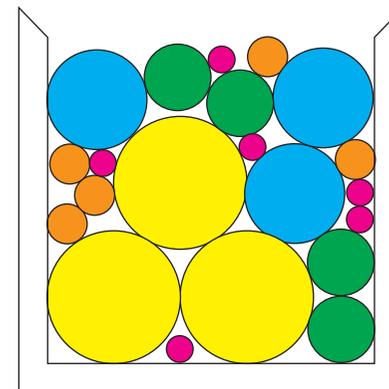
Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte beruht auf einem Vergleich zwischen der vorhandenen Lagerungsdichte und dem maximalen (dichteste Lagerung) und dem minimalen (lockerste Lagerung) Wert. Die lockerste Lagerung wird durch vorsichtiges Einfüllen in ein Gefäß erreicht. Die dichteste Lagerung wird z. B. durch Einwalzen, Einstampfen oder Einrütteln des Lockergesteins erreicht.

Lockere Lagerung

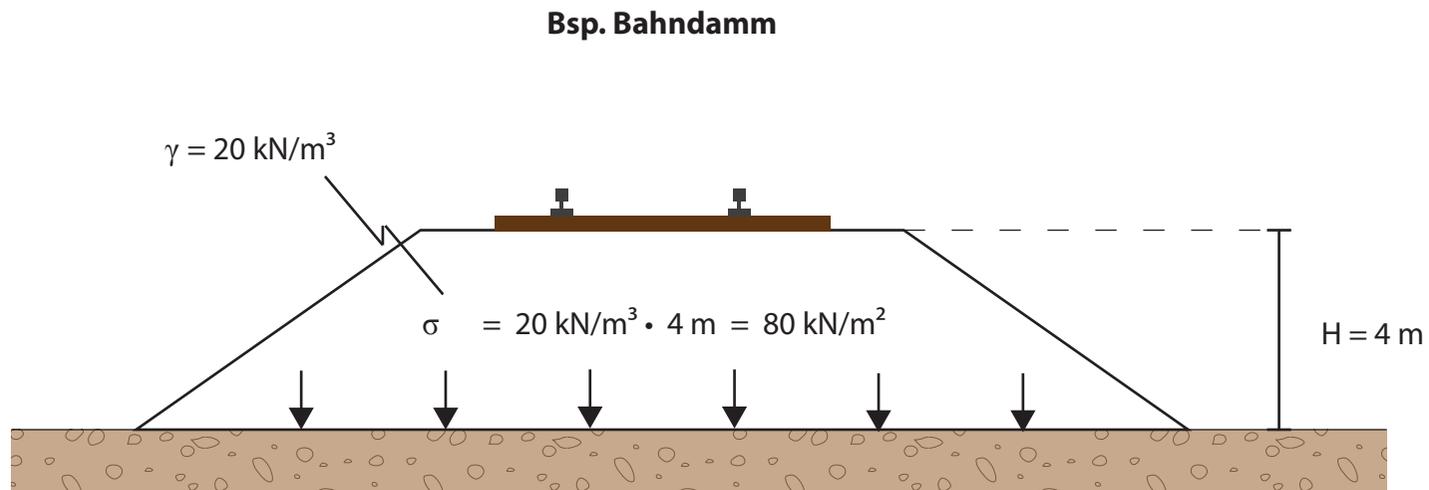


Dichte Lagerung



À propos:

Die Dimension resp. Einheit des Raumgewichts (siehe Folie 7) ist besonders praktisch bei gängigen 2D-Berechnungen ("Typ Querschnitt"). Je nach Mächtigkeit des betrachteten Lockergesteinspaketes (Bsp. Damm) resultiert an dessen Basis direkt eine Spannung, die dann für weitere erdstatische Berechnungen verwendet werden kann.



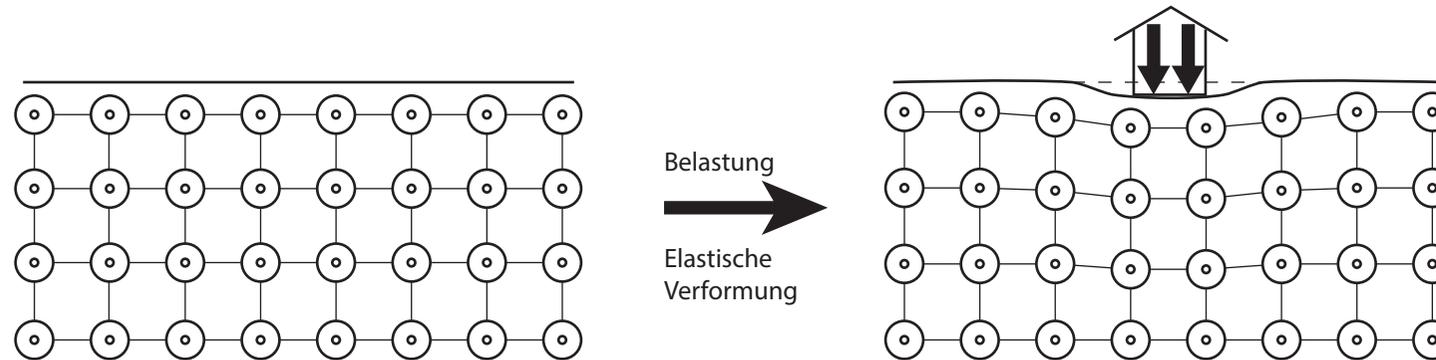
H = Höhe

γ = Raumgewicht

σ = Spannung (Gewicht pro Fläche)

Zusammendrückbarkeit

Wird auf ein Locker- oder Festgestein eine Spannung aufgebracht, tritt eine überwiegend elastische Verformung auf. Bei der Spannung handelt es sich um eine Kraft pro Fläche, z.B. das Gewicht eines Gebäudes oder einer Dammschüttung. Bei der elastischen Verformung treten keine Brüche auf. Die einzelnen Körner werden nicht aneinander vorbeigeschoben, sondern sie rücken bloss näher zusammen (Abnahme des Porenvolumens).



Wie viel Verformung durch eine bestimmte Spannungsänderung auftritt, ist in erster Linie abhängig von der Zusammendrückbarkeit des Locker- oder Festgesteins. Die Zusammendrückbarkeit eines feinkörnigen Lockergesteins ist in der Regel deutlich grösser als diejenige eines grobkörnigen Lockergesteins. Fels weist eine sehr geringe Zusammendrückbarkeit auf. Treten im Boden elastische Verformungen aufgrund einer aufgegebenen Spannung auf, spricht man von Setzungen.

In der Schweiz wird die Zusammendrückbarkeit mit dem ME-Wert (Zusammendrückungsmodul) beschrieben. Dieser trägt die Dimension einer Spannung. Ein 1 m mächtiges, nicht vorbelastetes Lockergesteinspaket mit einem ME-Wert von 20'000 kN/m² setzt sich nach einer Belastung mit 200 kN/m² annäherungsweise so:

$$s = \frac{\sigma \cdot z}{ME} = \frac{200 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m}}{20'000 \text{ kN/m}^2} = 1 \text{ cm}$$

s: Setzung
 σ: aufgebrauchte Spannung
 z: Mächtigkeit Lockergesteinspaket
 ME: Zusammendrückungsmodul

Bei detaillierten Setzungsabschätzungen werden fallweise gewählte Bodeninkremente und -schichten, Wiederbelastung (ME2), Grundwasserabsenkung etc. berücksichtigt. Eine besondere Art von Setzung ist die Konsolidation (siehe Folie 35).

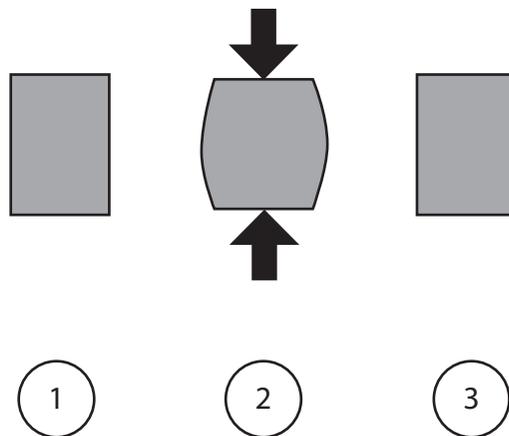
Festigkeit

Die Festigkeit eines Materials entspricht derjenigen Spannung, bei der das Material bricht. Ist die Spannung, die auf das Material wirkt, grösser als als dessen Festigkeit, so wird das Material zerbrochen. Dabei verschieben sich die einzelnen Körner gegeneinander. Der Boden verformt sich plastisch. Man spricht dabei von einem Scherbruch.

Je höher die Spannung ist, die aufgebracht werden muss, um ein Material zu zerbrechen, desto grösser ist dessen Festigkeit. Fels z. B. weist eine deutlich höhere Festigkeit auf als Ton.

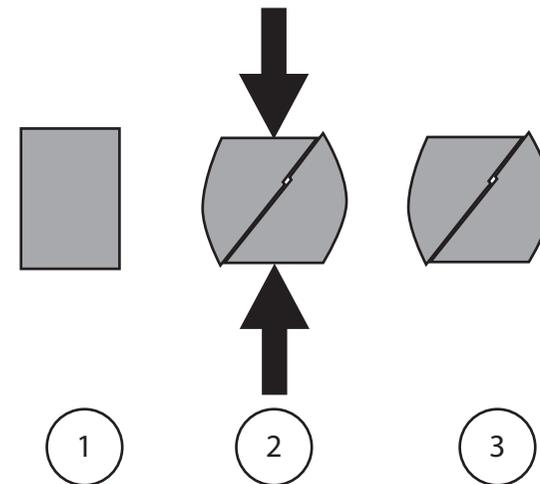
In der Geotechnik am weitesten verbreitet ist das Mohr–Coulomb–Bruchkriterium, bei dem die Festigkeit mittels der beiden Materialeigenschaften Reibungswinkel (siehe Folie 11) und Kohäsion (siehe Folie 12) beschrieben wird.

Elastisches Materialverhalten



- 1: Probekörper
- 2: Belastung
- 3: Belastung wird entfernt

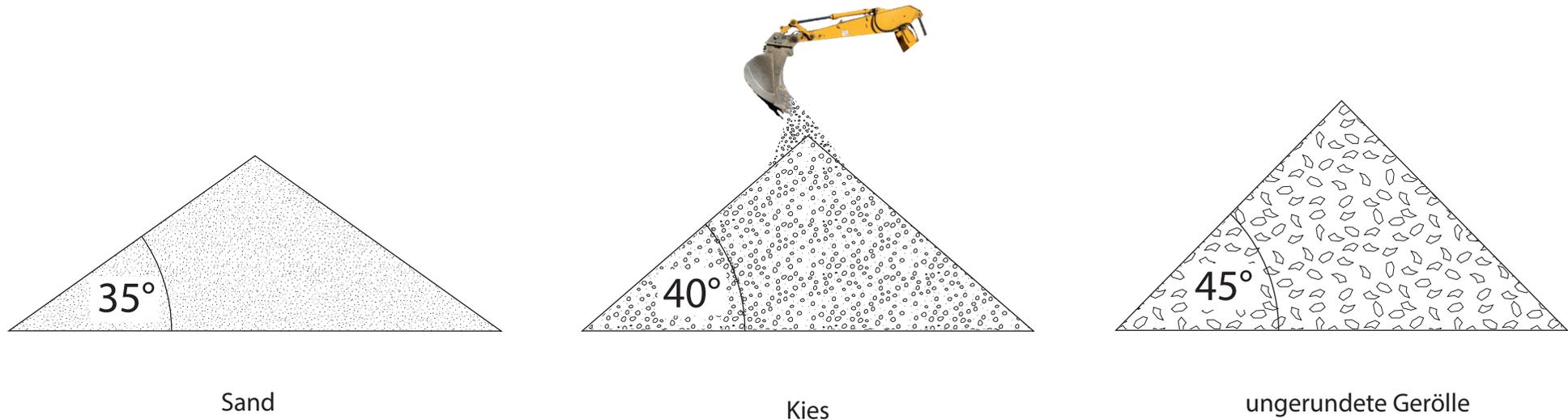
Plastisches Materialverhalten (Scherbruch)



- 1: Probekörper
- 2: Belastung
- 3: Belastung wird entfernt

Festigkeit: Reibungswinkel (φ)

Bei den Reibungsmaterialien (Kies, Sand) ist die Festigkeit in erster Linie vom Reibungswinkel φ abhängig. Veranschaulichend ausgedrückt, entspricht der Reibungswinkel dem natürlichen Böschungswinkel, der sich einstellt, wenn ein Material lose auf einen Haufen geschüttet wird.

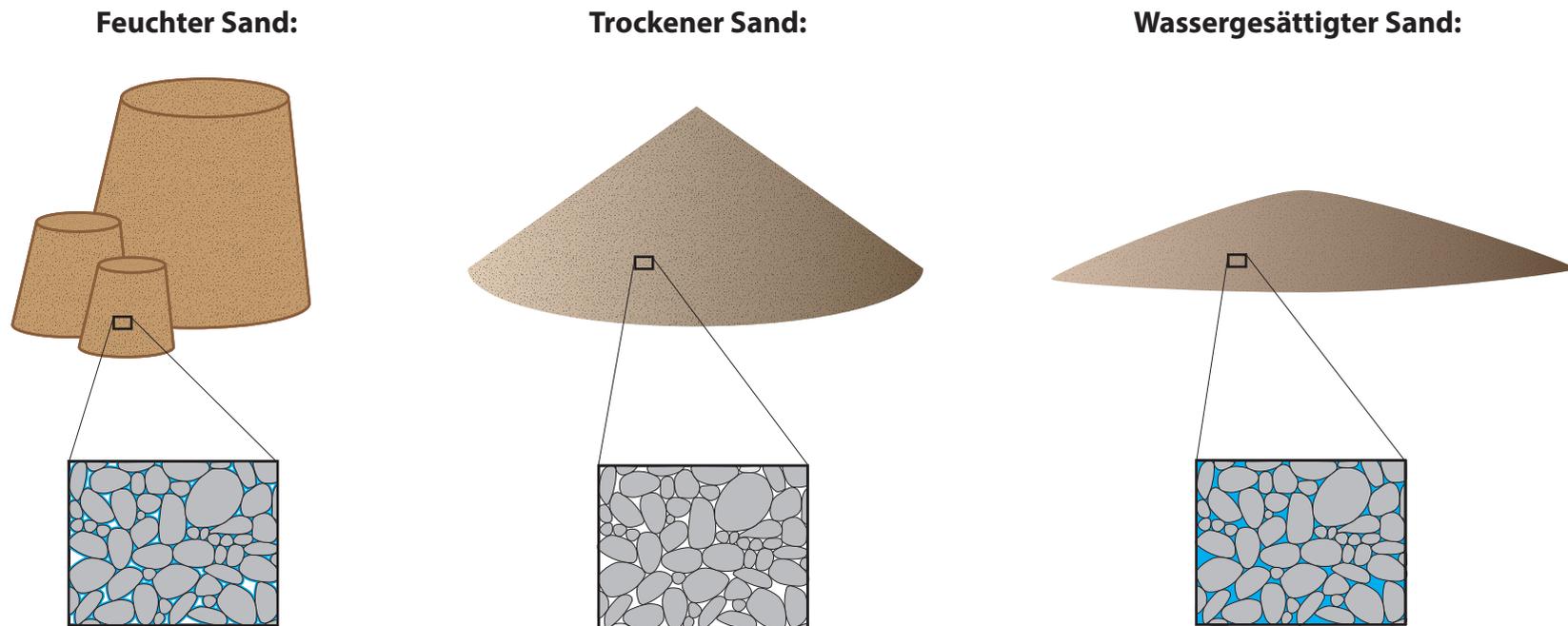


Der Reibungswinkel eines Materials ist abhängig von dessen Korngrößenverteilung, Kornform und Lagerungsdichte.

Festigkeit: Kohäsion (c)

Unter Kohäsion versteht man die zusammenhaltenden Kräfte, welche zwischen den einzelnen Körnern wirken. Man kann sich die Kohäsion als Kitt vorstellen. Im feinkörnigen Lockergestein wirken die zusammenhaltenden Kräfte zwischen den Tonmineralien. Im Fels wirkt die Kohäsion zwischen den einzelnen Mineralkörnern. Die Kohäsion im Fels ist sehr viel grösser als diejenige zwischen den Tonpartikeln.

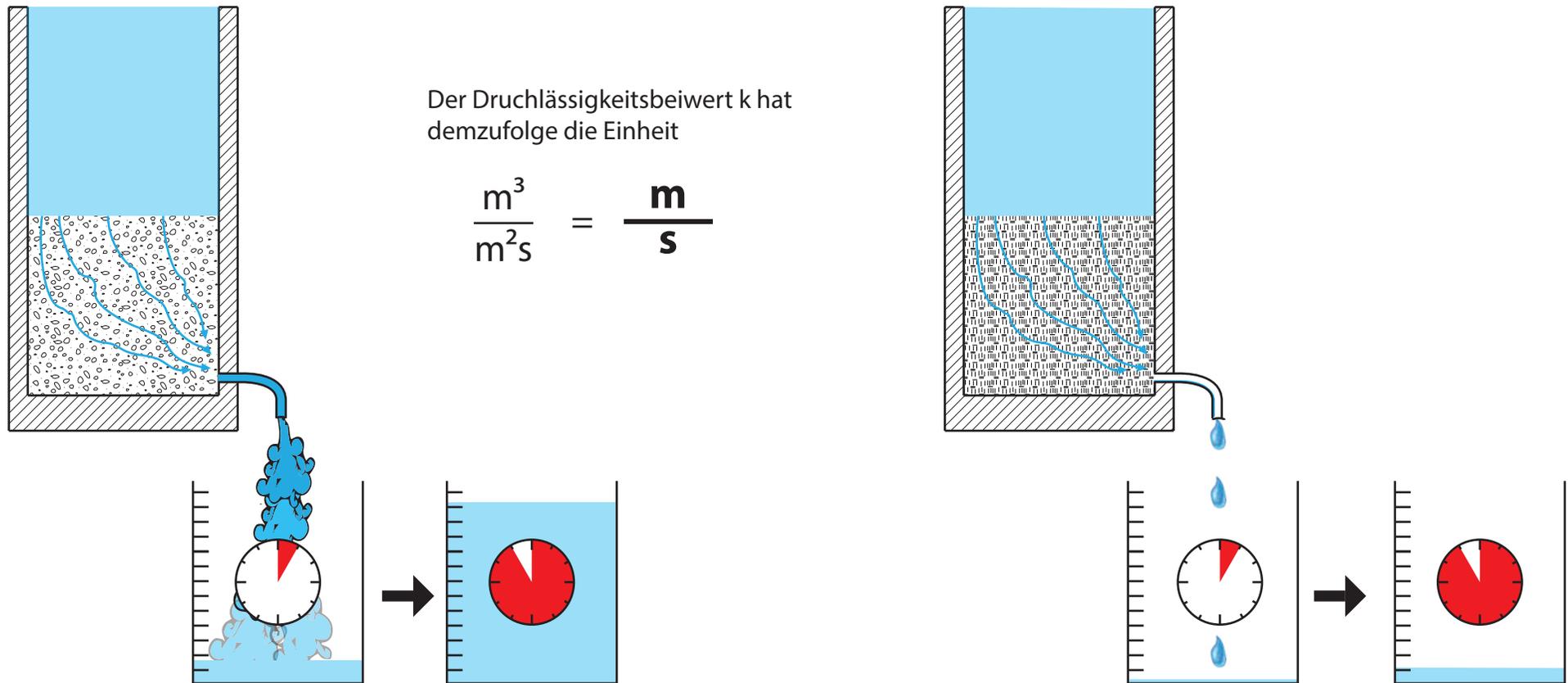
Eine besondere Form der Kohäsion ist die scheinbare Kohäsion. Die scheinbare Kohäsion ist keine Materialeigenschaft, sondern zustandsabhängig und darf darum für geotechnische Berechnungen im Normalfall nicht berücksichtigt werden. Feuchter Sand hat z. B. eine scheinbare Kohäsion. Er wird durch Kapillarkräfte zwischen den Sandkörnern zusammengehalten. Der feuchte Sand ist formbar, das Bauen von Sandburgen ist möglich. Sobald der Sand trocken oder wassergesättigt ist, besitzt er keine scheinbare Kohäsion mehr. Seine Festigkeit ist auf den Reibungswinkel reduziert resp. er beginnt beinahe zu fließen. Der Sand ist nicht mehr formbar. Das Bauen von Sandburgen ist nicht mehr möglich.



Wasserdurchlässigkeit

Im Fels ist die Wasserdurchlässigkeit abhängig von Klüften und Kartsröhren. Wo, wann und wie viel Wasser fließt, ist in solchen Systemen sehr schwierig zu prognostizieren.

Im Lockergestein ist die Wasserdurchlässigkeit abhängig vom Porenanteil und davon, ob die Poren zusammenhängen oder nicht. Im Lockergesteinsgrundwasser wird oft das vereinfachte Modell eines homogenen Fließens verwendet. Die Wasserdurchlässigkeit drückt aus, welches Wasservolumen [m³] pro Zeiteinheit [s] durch eine bestimmte Querschnittsfläche [m²] im Untergrund strömt.



Strömt in einer gewissen Zeit eine grosse Menge Wasser durch das Lockergestein, weist es eine hohe Durchlässigkeit auf (Bild links). Strömt während dieser Zeit nur eine kleine Menge Wasser durch das Lockergestein, weist es eine tiefe Durchlässigkeit auf (Bild rechts).

Wasserdurchlässigkeit

Typische Werte der Wasserdurchlässigkeit k reichen von ca. 1×10^{-2} m/s (gut durchlässige Kiese) bis ca. 1×10^{-8} m/s (schlecht durchlässige Tone).

Wertebereich k

Sauberer Kies	10^{-1} bis 10^{-3} m/s	sehr hohe Durchlässigkeit
Sauberer Sand	10^{-3} bis 10^{-5} m/s	hohe Durchlässigkeit
Silt	10^{-5} bis 10^{-8} m/s	tiefe Durchlässigkeit
Ton	10^{-8} bis 10^{-10} m/s	sehr tiefe Durchlässigkeit

zu beachten: Die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens ist optisch sehr schwierig einzuschätzen, denn Faktoren wie Verkittungen oder eine dichte Lagerung können einen grossen Einfluss haben. Werden zuverlässige Angaben über den örtlichen k -Wert benötigt, sind geeignete Abklärungen, z. B. Versickerungsversuche einzuleiten.

Frosteindringtiefe / Frostschäden / Permafrost

Die Frosteindringtiefe beschreibt die maximale Eindringtiefe des Frostes (0°C - Isotherme) unter Oberkante Terrain (OKT). Die Eindringtiefe des Frostes hängt von den örtlichen klimatischen Bedingungen ab. Die Frosteindringtiefe kann mit folgender Faustformel grob geschätzt werden:

$$\text{Frosteindringtiefe [m]} = \text{Kote [m.ü.M]} / 1000$$

Exakter kann die Frosteindringtiefe über den Frostindex der Luft und die Sonneneinstrahlung bestimmt werden [14].

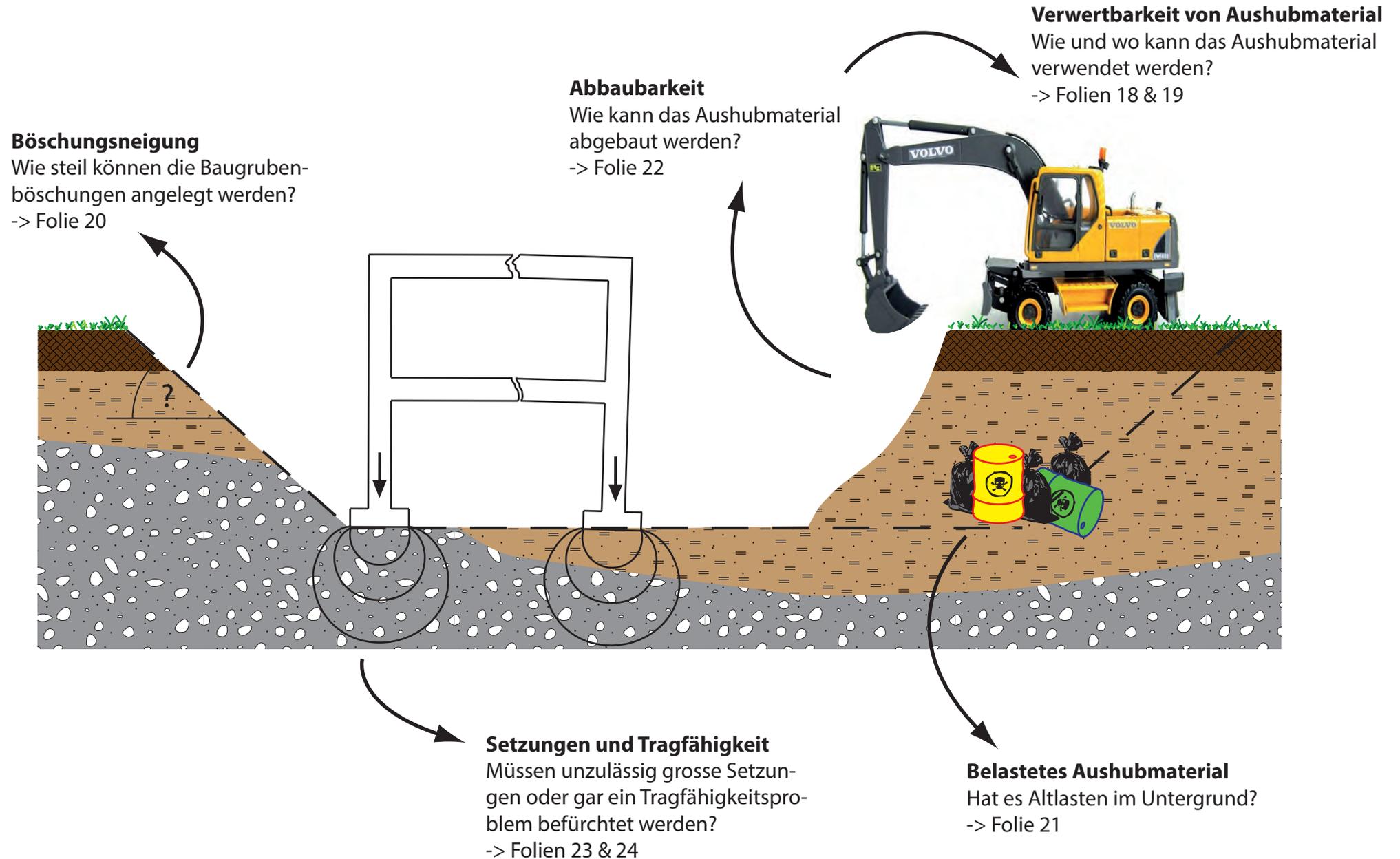
Gefriert das Porenwasser im Untergrund bilden sich Eislinen. Durch Eislinen entstehen Hebungen an der Oberfläche. Man spricht von Frosthebungen. Um Frosthebungen zu verhindern, wird im Strassenbau und unter Fundamenten bis in Frosttiefe ein nicht frostempfindliches Material eingebracht. Grobkörnige Lockergesteine mit einer hohen Wasserdurchlässigkeit können meist als nicht frostempfindlich betrachtet werden. Feinkörnige Böden mit Porenwasser, das aufgrund der tiefen Durchlässigkeit nicht entweichen kann, sind frostempfindlich und unter anderem auch darum nicht als Fundationsmaterial geeignet. Frosthebungen sind aber nicht die einzigen Frostschäden. Frostschäden können auch durch eine Tragfähigkeitsverminderung während des Auftauens entstehen.

Als Permafrost wird Boden und Fels bezeichnet, dessen Temperatur ganzjährig unter 0°C liegt. Permafrostboden liegt unter einer Deckschicht, welche bei hohen Temperaturen auftaut und mehrere Meter dick sein kann. An der Oberfläche ist Permafrost deshalb weder direkt sicht- noch messbar. Sein Vorkommen und seine Eigenschaften werden in erster Linie durch Klima, Topographie und Untergrundeigenschaften bestimmt. Oberhalb der Waldgrenze muss in der Schweiz generell mit Permafrost gerechnet werden. Mithilfe der Hinweiskarte zur potentiellen Permafrostverbreitung können Gebiete erkannt werden, in denen der Boden möglicherweise ganzjährig gefroren ist [15].

2) Einige Konzepte anhand „alltäglicher Situationen“

Bau in ebenem Gelände

Im Idealfall schon in der Planungsphase, spätestens aber bei Baubeginn, werden Fragen im Zusammenhang mit der Baugrube aktuell.



Bau in ebenem Gelände: Verwertbarkeit von Aushubmaterial

Das Aushubmaterial soll wenn immer möglich wiederverwertet werden. Grobkörniges Lockergestein kann oft als Schüttmaterial verwendet oder zu Fundationsmaterial im Strassenbau oder zu Gesteinskörnungen für Beton und Asphaltbeläge aufbereitet werden. Feinkörniges Lockergestein kann im Normalfall höchstens für Schüttungen mit geringen Anforderungen verwendet werden, oft muss es auf Aushubdeponien entsorgt werden. Zur Beurteilung der Verwertbarkeit von Aushubmaterial muss man die Anforderungen kennen, die an das Material am Verwendungsort gestellt werden.

Für Schüttmaterial (Dämme) gilt beim Tiefbauamt Graubünden z. B. die Anforderung $\varphi \geq 34^\circ$ [19]. Ein unkorrigierter Wert $\varphi(0)$ lässt sich aus der Summationskurve (Korngrößenverteilung, siehe nächste Folie) ermitteln. Hierfür sind Sieb- und Schlämmanalysen nötig. Damit der effektive Wert auf der Baustelle erreicht wird, muss zusätzlich eine Anforderung an die Verdichtung, z.B. $ME1 \geq 30 \text{ MN/m}^2$ erreicht werden (siehe Folie 34). Die Kontrolle dieses Wertes geschieht mittels Plattendruckversuchen auf der Baustelle.

Für Fundationsmaterial im Strassenbau (UG 0/45, „Koffer“) gelten höhere Anforderungen. Nebst einer bestimmten Form der Summationskurve sind auch Anforderungen an die Kornform und an den Widerstand gegen Zertrümmerung zu erfüllen.

Gesteinskörnungen für Beton und Asphalt müssen zusätzlich petrografische Anforderungen erfüllen (z.B. maximalen Anteil an Schwefel- oder chloridhaltigen Mineralien, verwitterten Mineralien, porösen Mineralien und Schichtsilikaten).



Foto: Plattendruckversuch mit LKW als Gegengewicht

Korngrößenverteilung (Summationskurve)

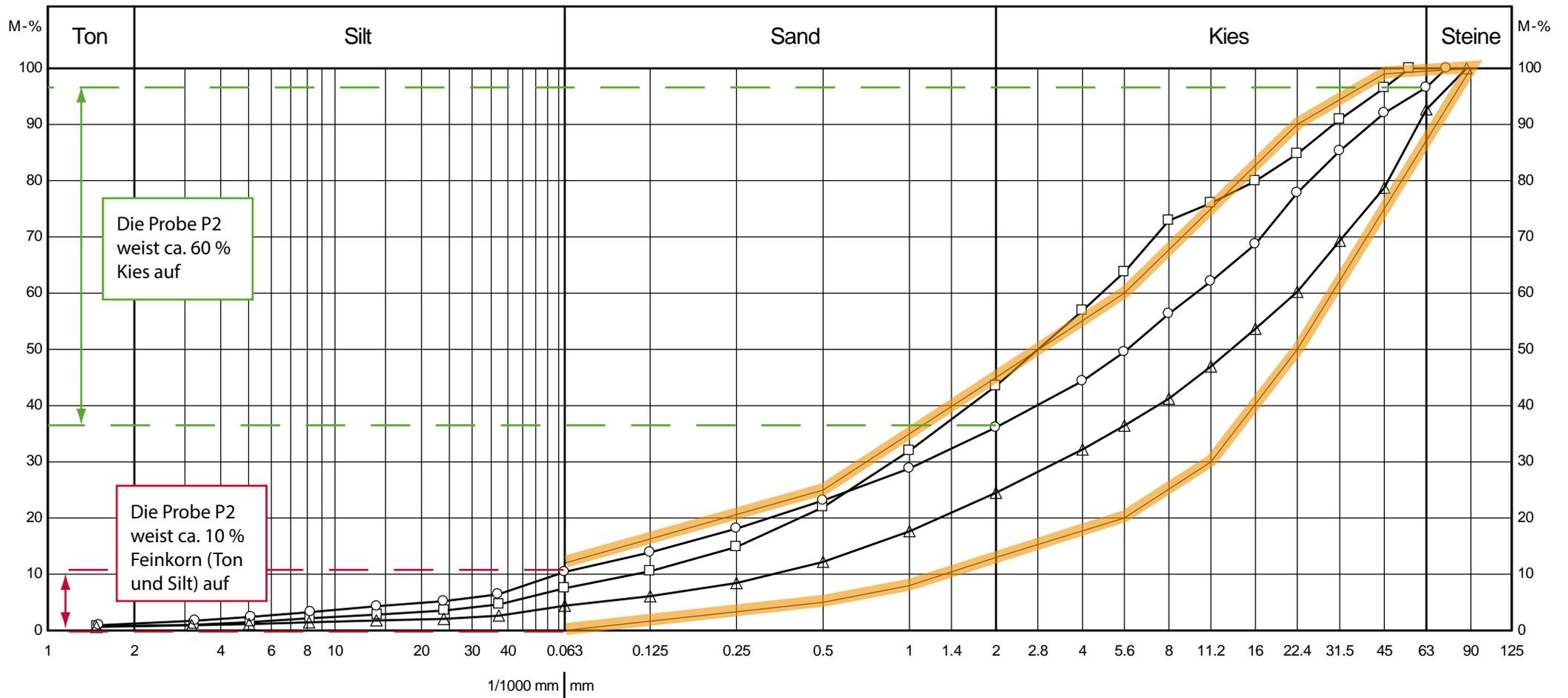
Labor Nr. Muster
 Fundations-/
 Baugrundproben

Proben P1 - P3

P1 □ 24.06.2014 P513: Foundation S1 0.025
 P2 ○ 24.06.2014 P514: Foundation S1 km 0.025
 P3 △ 24.06.2014 P515: Untergrund S1 km 0.025

— Sieblinienbereich
 UG 0/45
 SN 670 119-NA Allgemein

Bei einem UG 0/45
 müssen die Sieblinien
 in diesem Bereich liegen



Bau in ebenem Gelände: Böschungsneigung

Im Lockergestein sind die Standfestigkeit respektive -sicherheit abhängig von Reibungswinkel, Kohäsion und untergeordnet vom Raumgewicht. Im Fels sind die Orientierungen und Festigkeitseigenschaften der Trennflächen von zentraler Bedeutung.

Die Böschungsneigungen sind der Standfestigkeit des Baugrundes anzupassen. Bis 4 m hohe, unbelastete Böschungen dürfen gemäss Bauarbeitenverordnung in normal feuchtem Material visuell eingeschätzt werden (bis 2:1, also 63.4°), bei abweichenden Bedingungen muss ein Sicherheitsnachweis erbracht werden [27].

Kann die geforderte Standsicherheit im natürlichen Baugrund nicht erreicht werden, müssen geeignete Sicherungsmassnahmen ergriffen werden (siehe Folien 27 - 31).



Böschungsbruch bei Meliorationswegbau (2014)



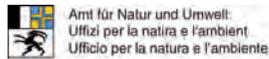
Böschungsbruch in Baugrube (2010)

Bau in ebenem Gelände: Belastetes Aushubmaterial

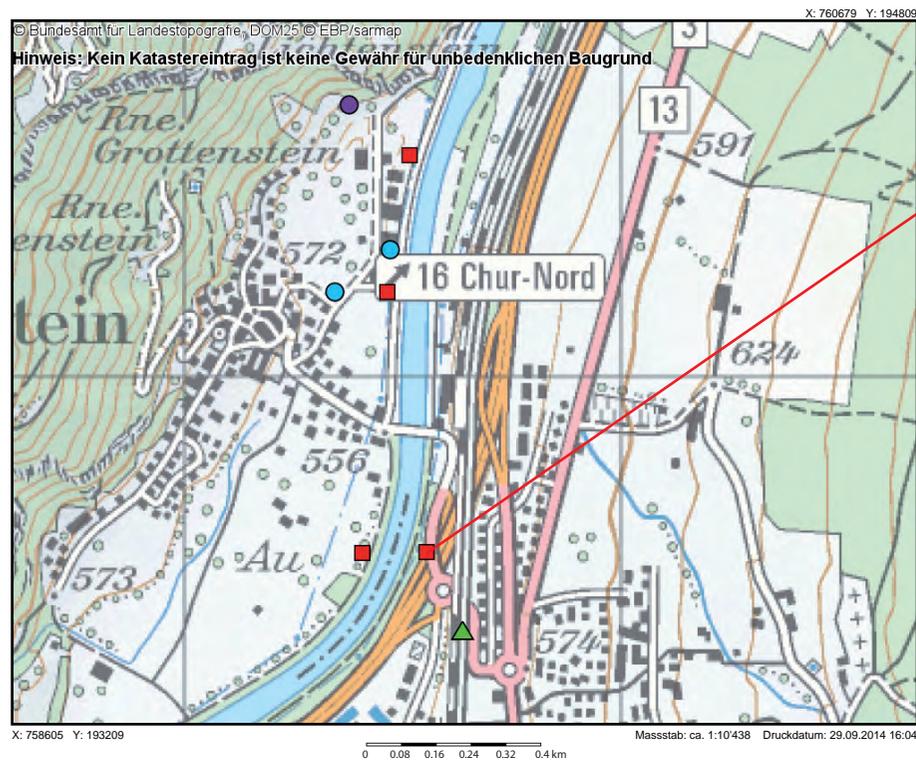
Ein Aspekt, den man bezüglich Aushub idealerweise schon früh in der Planungsphase berücksichtigt, ist derjenige von belasteten Standorten und belastetem Aushubmaterial.

Als kurze Vorabklärung, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, kann ein Blick auf den Kataster der belasteten Standorte dienen. Die Kataster werden von kantonalen Behörden geführt, laufend aktualisiert und im Internet publiziert (siehe Beispiel unten). Bezüglich Vorgehen und Entsorgungsmöglichkeiten bei belastetem Aushubmaterial sind die Aushubrichtlinie und die technische Verordnung über Abfälle zu beachten. Wichtig beim Bauen an belasteten Standorten ist auch Art. 3 der Altlastenverordnung (AltIV), welcher besagt, dass belastete Standorte durch Bauten nur verändert werden dürfen, wenn:

- sie nicht sanierungsbedürftig sind und durch das Vorhaben nicht sanierungsbedürftig werden; oder
- ihre spätere Sanierung durch das Vorhaben nicht massgebend erschwert wird, oder wenn gleichzeitig saniert wird.



Kataster belasteter Standorte (KbS) Graubünden



Zusätzliche Informationen zu Standort

Objekt Nummer	3901-20
x-Koordinate	759557
y-Koordinate	193600
Parzellennummer	815
Bezeichnung	Ehemalige Kehrichtdeponie Nr. 2
Adresse	Bettlerchuchi
Ort	Chur
Gemeinde	Chur
Standorttyp	Abfallablagerung
Branche	Abfallablagerung, Deponie
Betrieb von	1953
Betrieb bis	1958
Katasterstatus	Katastereintrag
Bearbeitungsstufe	keine Standortuntersuchung
Vorgehen	nicht definiert
Deponieinhalt	Hausmüll
Deponievolumen	50000
Deponieablagerung von	1953
Deponieablagerung bis	1958

- Belastete Standorte
- Ablagerungsstandorte
 - Betriebsstandorte
 - Betriebsstandorte
 - Schiessanlagen
 - Schiessanlagen
 - ▲ Unfallstandorte
 - ▲ Unfallstandorte

Basisinformationen
Landeskarte 25000
Landeskarte 25'000

Bau in ebenem Gelände: Abbaubarkeit

In der Norm zu den Erdarbeiten [31] wird die Abbaubarkeit in fünf Gruppen unterteilt.

Abbaubarkeit	Baugrund, Beispiele	Benötigte Maschine, Ausrüstung
wenig tragfähiger Boden	Torf, vernässter Ton	Bagger mit Moor-Raupen oder Baggermatrizen
normal baggerfähiger Boden	Kies, Sand	normaler Bagger
schwer baggerfähiger Boden	Grundmoräne mit vielen Blöcken	schwerer Bagger, evtl. mit Reisszahn
ripperbarer Fels	verwitterter oder stark geklüfteter Fels	schwerer Bagger mit Abbauhammer oder Reisszahn
Sprengfels	harter Fels mit wenigen Klüften	Sprengungen (allenfalls schwerer Bagger mit Fräskopf)



Bagger mit Abbauhammer
(Quelle: www.eberhard.ch)



Bagger mit Reisszahn
(Quelle: www.spessartit.de)



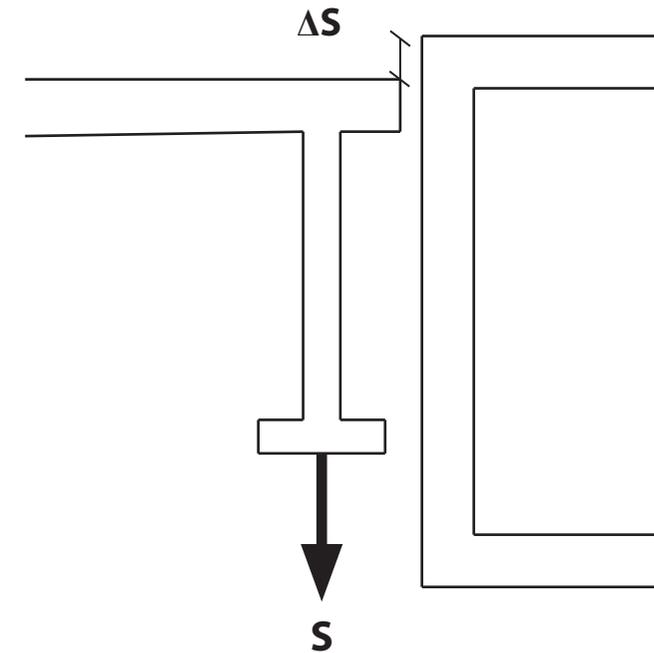
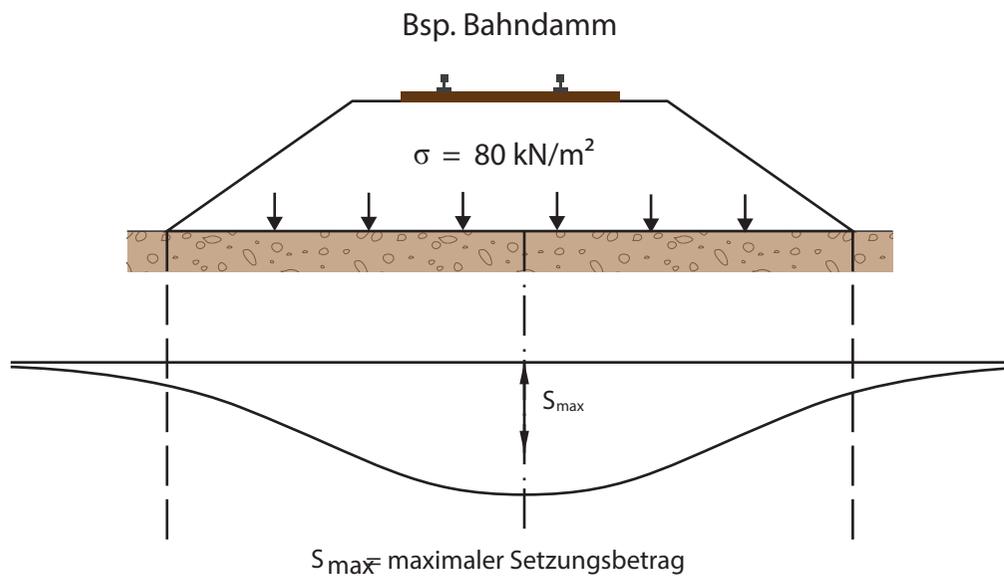
Fräskopf an Bagger
(Quelle: www.tecnopart.ch)

Bau in ebenem Gelände: Setzung (Gebrauchstauglichkeit)

Im Zusammenhang mit dem Aufbringen von Lasten auf den Untergrund ist zwischen zwei grundlegenden Aspekten zu unterscheiden: Tragfähigkeit und Setzung (Gebrauchstauglichkeit).

Setzungen können zu Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden führen. Setzungsdifferenzen zu angrenzenden Bauteilen (ungewollte „Absätze“) oder Verkippungen von Gebäuden sowie Rissbildungen sind typische Beispiele.

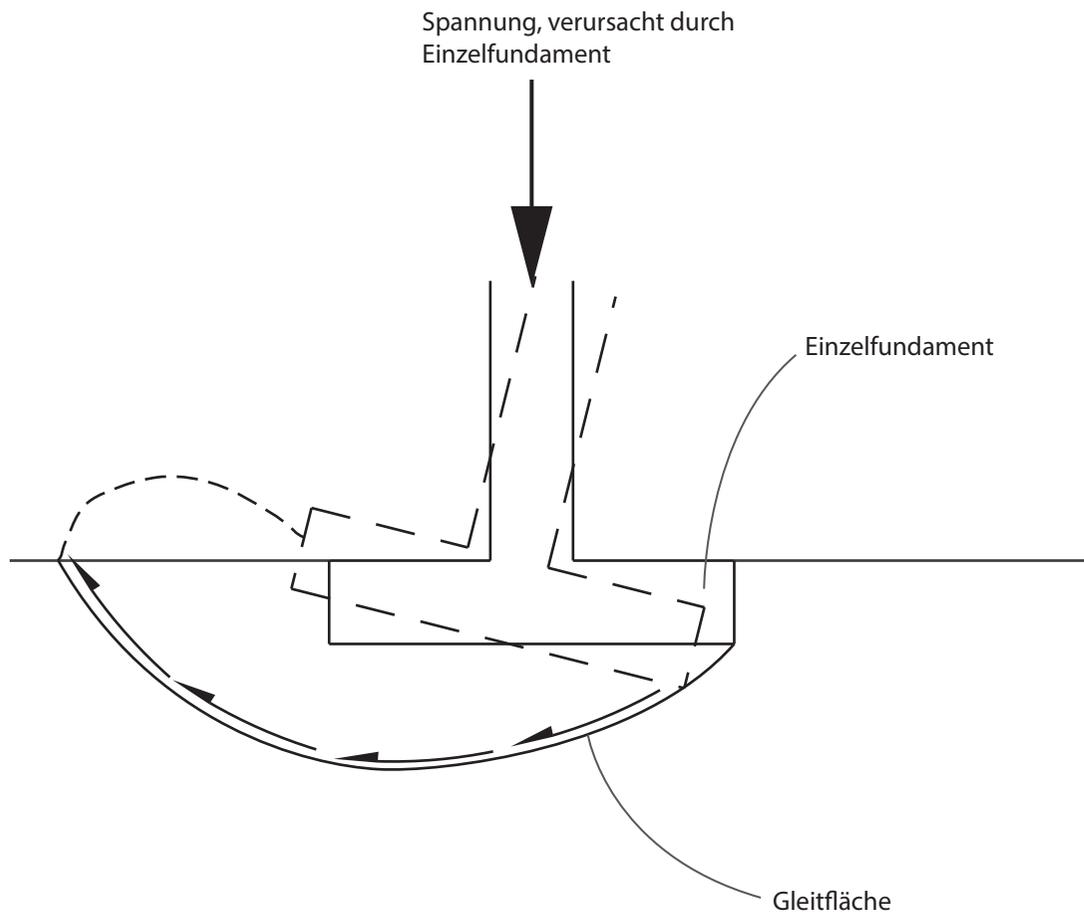
Zu beachten ist, dass die Setzungen unter einem Gebäude oder Fundament in Form einer Setzungsmulde erfolgen, die seitlich über den Grundriss der Last hinaus gehen. Es gilt zu verhindern, dass benachbarte Gebäude in Mitleidenschaft gezogen werden.



Wie grosse Setzungen oder Setzungsdifferenzen toleriert werden können, ist objektspezifisch zu beurteilen.

Bau in ebenem Gelände: Tragfähigkeit

Unter Tragfähigkeit wird die Sicherheit gegen einen statischen Grundbruch verstanden. Während Setzungen zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden führen können, kann eine ungenügende Tragfähigkeit des Untergrundes den Einsturz eines Gebäudes verursachen. Der rechnerische Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Untergrundes gegeben ist, wird mit dem Tragsicherheitsnachweis erbracht.



Beispiel Einzelfundament:

Erreichen die Spannungen im Boden dessen Festigkeit, kommt es zu Bruchvorgängen. Unterhalb des Einzelfundamentes bildet sich eine Gleitfläche aus. Man spricht dann von einer Überschreitung der Tragfähigkeit des Bodens.

Massgebende Faktoren, ob die Tragfähigkeit überschritten wird, sind u.a. die Last, die auf das Einzelfundament wirkt, die Geometrie des Einzelfundamentes sowie der Reibungswinkel, die Kohäsion und das Raumgewicht des Bodens.

Hanganschnitt

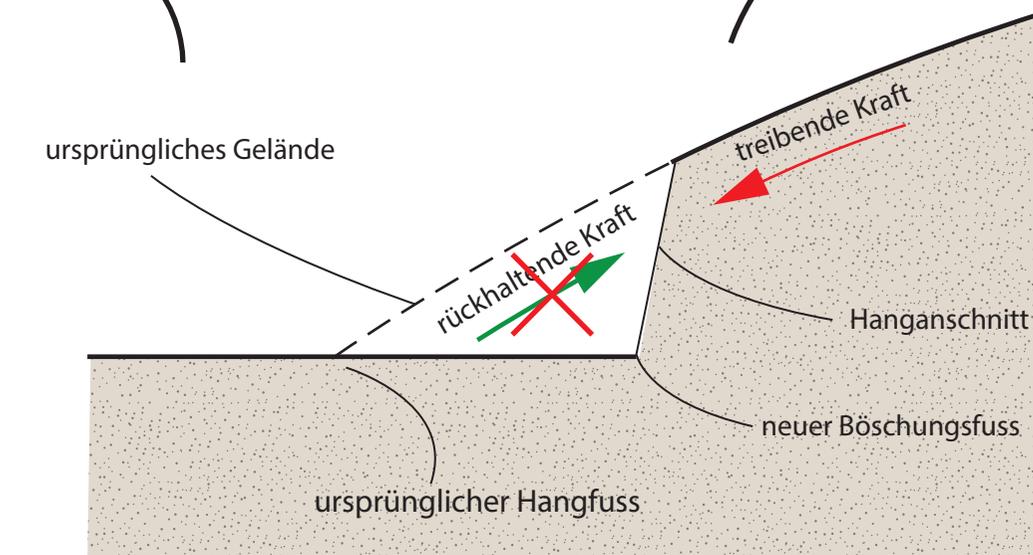
Beim Bau in steilem Gelände muss oft ein Hang angeschnitten werden z. B. um ein Kellergeschoss zu erstellen oder um einen Waldweg anzulegen. Durch den Ansschnitt wird der „Fuss“ des darüberliegenden Hanges entlastet, die rückhaltenden Kräfte werden reduziert, was zu einer Abnahme der Stabilitätsreserve führt. Kann die geforderte Standsicherheit im natürlichen Baugrund nicht erreicht werden (siehe Folie 20), müssen geeignete Sicherungsmassnahmen ergriffen werden.

Versagensmechnismus

Was geschieht bei einem Böschungsbruch?
-> Folie 26

Hangsicherung mit Stützbauwerken

Was gibt es für Möglichkeiten, einen Hanganschnitt zu sichern?
-> Folien 27 & 28



Hangsicherung mit Rückhaltebauwerken

Was gibt es für Möglichkeiten, einen Hanganschnitt zu sichern?
-> Folien 29 - 31

Hanganschnitt: Versagensmechanismus

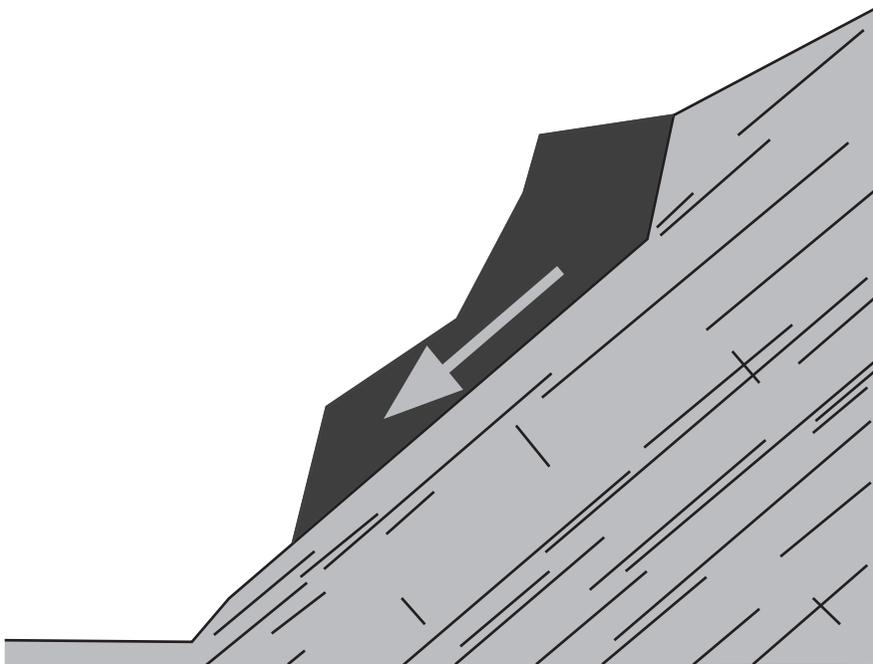
Ist keine Stabilitätsreserve mehr vorhanden, bedeutet das, dass die treibenden Kräfte gleich gross geworden sind wie die rückhaltenden. Übersteigen die treibenden die rückhaltenden Kräfte, tritt im Boden ein Scherbruch auf (siehe auch Folie 10).

Der Versagensmechanismus bezeichnet die Art, wie ein Bruchzustand eintritt. Beim Planen von Sicherungsmassnahmen muss man daher wissen, mit welchem Versagensmechanismus zu rechnen ist. Nur so können die Massnahmen gezielt eingesetzt werden.

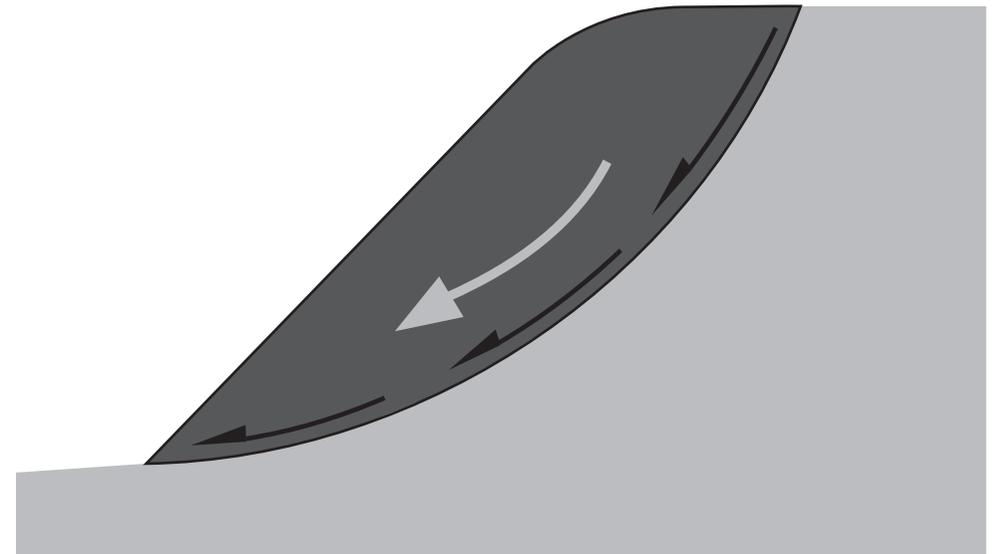
Im Fels verlaufen die Bewegungen oft entlang von ebenen Schicht- oder Kluftflächen (planare Gleitfläche/Translationsgleiten, Bild links). Ist Wasser im Spiel, muss dies unbedingt beachtet werden.

Im Lockergestein sind Rotationsbewegungen entlang von kreiszylindrischen Gleitfugen typisch (Bild rechts). Kommen feinkörnige oder nasse Schichten vor, erfolgt der Bruch allenfalls auch entlang von diesen. Auf der Höhe des Böschungsfusses wirken die resultierenden Kräfte bei Rotationsbewegungen oft ungefähr horizontal.

Translationsgleiten (planare Gleitfläche)



Rotationsgleiten (kreiszyklindrische Gleitfläche)



Hanganschnitt: Hangsicherung mit Stützbauwerken

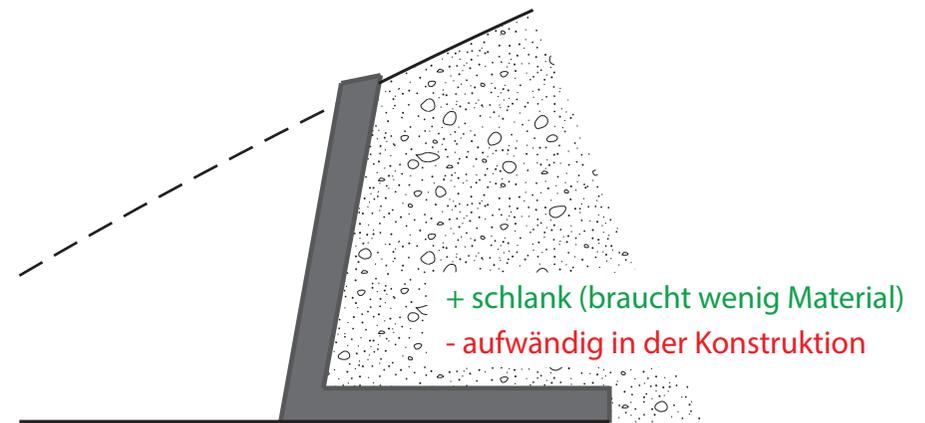
Mit der Sicherung eines Anschnittes werden in mechanischem Sinn rückhaltende Kräfte aufgebracht, die gegen die treibenden Kräfte des Bruchversagens wirken. Bei der Bemessung von Stützmauern gilt es, die Sicherheit gegen drei Versagensmechanismen nachzuweisen: Kippen, Gleiten und Grundbruch. Bei deren Bemessung sind nebst den charakteristischen Baugrundwerten die massgebenden Einwirkungen zu berücksichtigen (z. B. Wohnhaus, Verkehrslast).

Unbedingt zu beachten ist, dass hinter den Stützbauwerken kein Stau des Hangwassers entsteht. Die Stützbauwerke sind entweder zu drainieren oder zu perforieren.

Grundsätzlich ist zwischen temporären und permanenten Sicherungen zu unterscheiden. Temporäre Sicherungen finden meist in Baugruben Anwendung oder bei Anschnitten, die anschliessend permanent gesichert werden. Typische Beispiele für permanente Hangsicherungen sind Stützmauern. Grundsätzlich kann zwischen Schwergewichts- und Winkelstützmauern unterschieden werden:

Schwergewichtsmauern nutzen ihr Eigengewicht zum Stützen.

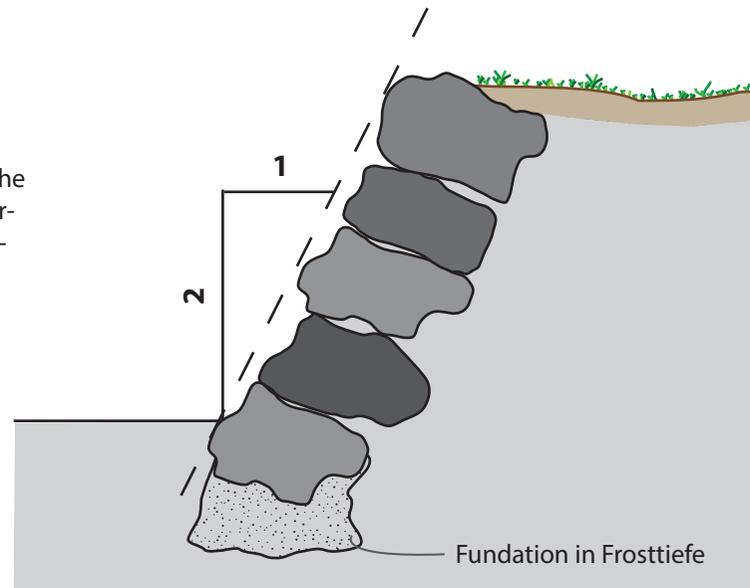
Winkelstützmauern transformieren treibende Kräfte in rückhaltende.



Hanganschnitt: Hangsicherung mit Stützbauwerken

Nicht immer sind starre Stützmauern die geeignetste Massnahme, einen Hanganschnitt zu sichern. Blocksteinmauern z.B. sind ein Typ von Schwergewichtsmauern, welche aufgrund der Blockfugen Hangdeformationen viel besser aufnehmen können als die starren Betonstützmauern. Blocksteinmauern werden darum oft in Rutschhängen gebaut. Blocksteinmauern müssen allerdings mit einem flacheren Anzug gebaut werden als Betonstützmauern (z. B. 5:1 oder besser 3:1 oder gar 2:1).

Ein Anzug von 2 zu 1 bedeutet, dass die Mauerkrone in 2 m Höhe gegenüber dem Mauerfuss um 1 m zurückversetzt ist.



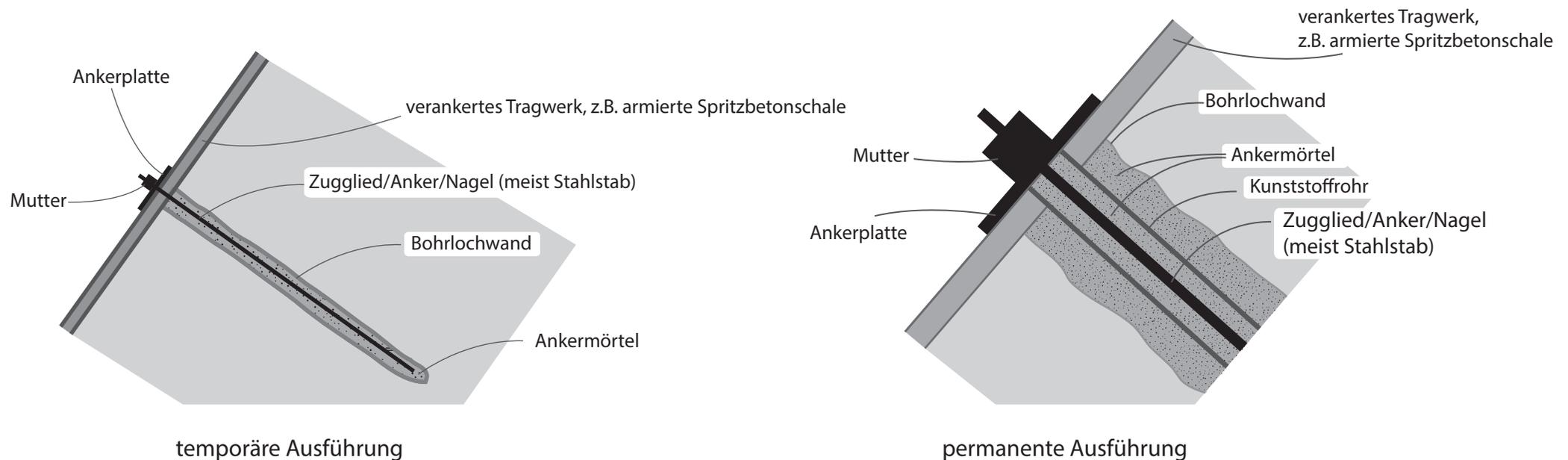
Weitere Beispiele für Stützbauwerke sind:

- bewehrte Erde (TerraMur, Textomur, etc.)
- Holzkasten
- Steinkörbe / Gabionen
-

Hanganschnitt: Hangsicherung mit Rückhaltebauwerken

Bei Rückhaltebauwerken erfolgt die Hangsicherung mittels einer Verankerung. Typische Rückhaltebauwerke sind die Nagelwand (oder Ankerwand) mit Spritzbetonschale, der Ribbert-Verbau oder verankerte Stahldrahtgeflechte. Rückhaltebauwerke können als temporäre oder als permanente Sicherung ausgeführt werden. Für die temporäre Sicherung von Böschungen werden im Tiefbau sehr oft Nagelwände mit Spritzbetonschalen eingesetzt.

Prinzip Nagelwand mit Spritzbetonschale:



Werden Anker permanent versetzt, ist je nach Bauwerksklasse [36] der erforderliche Korrosionsschutz zu definieren. Je nach Schutzstufe ist der Anker in eine Mörtelhülle einer bestimmten Dicke, bei den höheren Stufen zusätzlich in ein Kunststoffrohr (Hüllrohr) zu verpacken. Je nach Schutzstufe gelten auch bestimmte Anforderungen für den Ankerkopf. Je nach dem muss dieser einbetoniert werden.

Hanganschnitt: Hangsicherung mit Rückhaltebauwerken

Gemäss der Norm SIA 267 sind bei Verankerungen Ausführungskontrollen durchzuführen.

Vorgängig oder zu Beginn der Ankerarbeiten sind Ankerversuche (normalerweise Ausziehversuche) durchzuführen. Die Ausziehversuche dienen der Bemessung der Anker, insbesondere der Ermittlung des in einem bestimmten Untergrundbereich erreichbaren äusseren Tragwiderstandes. Die Versuchsanker sind wie die übrigen Anker, jedoch mit freier Ankerlänge auszuführen. Die Anzahl der Versuchsanker für ein zu verankerndes Bauwerk richtet sich nach der Grösse des Bauvorhabens, dem potenziellen Risiko beim Versagen der Verankerung und den Baugrundverhältnissen. In der Regel sind pro Untergrundbereich mit vergleichbaren geotechnischen Eigenschaften mindestens 3 Ankerversuche auszuführen. In der Norm SIA 267/1 ist detailliert beschrieben, wie die Ausziehversuche durchzuführen sind.

Während oder nach den Ankerarbeiten sind Zugproben durchzuführen. Zugproben dienen der Überprüfung der Ausführungsqualität. Mit den Zugproben ist der einwandfreie und kraftschlüssige Verbund zwischen Anker und Baugrund nachzuweisen. Zugproben werden an etwa 5% aller Anker, mindestens aber an drei Ankern pro Untergrundbereich mit vergleichbaren geotechnischen Eigenschaften durchgeführt. An welchen Ankern eine Zugprobe durchgeführt wird, kann auch erst nach der Ausführung bestimmt werden. In der Norm SIA 267/1 ist detailliert beschrieben, wie die Ausziehversuche durchzuführen sind.

Auch die Beschaffenheit des Ankermörtels ist zu prüfen. Die Anforderungen an den Ankermörtel und dessen Prüfung ist in der Norm SIA 267/1 geregelt.

Verankerte Bauwerke werden in der Regel während der gesamten Nutzungsdauer durch Inspektionen und Verformungsmessungen überwacht.

Für Anker im Lawinenverbau gelten die Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung.



Ankerversuch
(Quelle: www.fp-ankerpruefungen.ch)

Hanganschnitt: Hangsicherung mit Rückhaltebauwerken

Bezüglich der Bohrtechnik unterscheidet man verrohrt gebohrte Anker und Selbstbohranker.

Selbstbohranker:

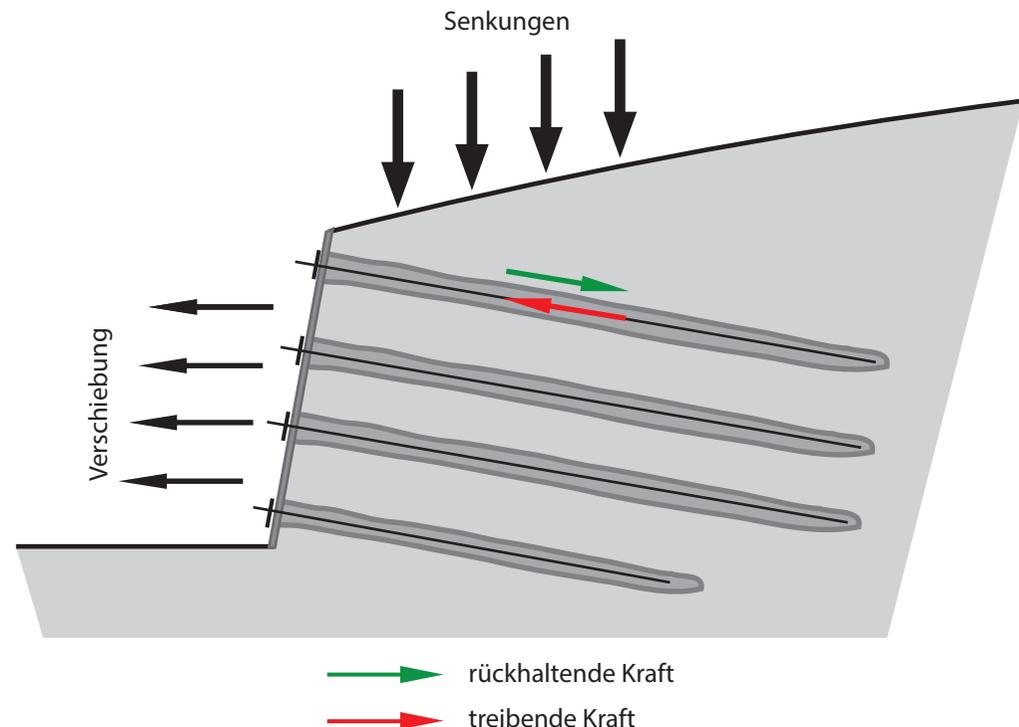
Selbstbohranker sind mit einem Einweg-Bohrkopf versehen und dienen sowohl als Bohrstange, als Injektionsrohr wie auch als bleibende Anker in einem. Er verpresst den Mörtel während des Bohrvortriebs aus Öffnungen am Bohrkopf direkt in den Untergrund. Selbstbohranker sind schneller in der Ausführung, generieren tendenziell einen besseren Verbund mit dem Boden, haben aber auch Nachteile. Sie werden von grossen Blöcken leicht abgelenkt, und man hat keine Kontrolle über den Injektionskörper.

verrohrt gebohrter Anker:

Beim verrohrten Bohrverfahren wird der Anker in ein im Voraus gebohrtes und verrohrtes Bohrloch versetzt. Anschliessend wird die Verrohrung gezogen und das Bohrloch ausinjiziert (mit Mörtel gefüllt). Durch Setzen von Strümpfen in das im Voraus gebohrte Bohrloch kann das unkontrollierte Wegsickern des Mörtels durch hoch durchlässige (allenfalls gar wasserführende) Zonen verhindert werden. Dadurch kann z. B. verhindert werden, dass der Mörtel in das Grundwasser gelangt.

Ungespannte Anker bringen definitionsgemäss keine Vorspannkraft auf das Tragwerk auf. Bis die Anker kraftschlüssig wirken, ist somit ein gewisses „Hineinsitzen“ des gesicherten Untergrundes nötig. Deformationen von einigen Promillen der gesicherten Höhe sind bei ungespannten Ankern zu erwarten. Ab einer gewissen Höhe kommt das System der ungespannten Anker daher an seine Grenzen (zu hohe Deformationen, Verbundlösung zwischen Mörtel und Untergrund).

Falls sensible Infrastruktur exponiert ist, müssen allenfalls vorgespannte Anker verwendet werden. Um die Deformationen unter Kontrolle zu halten, ist eine messtechnische Überwachung zu empfehlen.



Schüttungen

Um Unebenheiten im Terrain auszugleichen, z. B. wenn ein Bahn- oder Strassentrasse angelegt wird, werden oft Schüttungen aufgebaut. Alle Tätigkeiten, die mit Bauten und Gestaltungen aus Lockergestein zu tun haben, werden unter dem Begriff Erdbau zusammengefasst. Dabei sind zwei Dinge zu beachten: Die Stabilität der Böschung sowie allfällige Setzungen innerhalb des geschütteten Materials und auch im Untergrund. Um innere Setzungen zu minimieren, wird das Material nach dem Schütten verdichtet.

Konsolidation

Was geschieht, wenn man feinkörnige Schüttungen verdichtet?

-> Folie 35

Böschungswinkel von Schüttungen

Wie steil können Schüttungen geböschet werden?

-> Folie 33



Verdichtung

Wie können Setzungen in grobkörnigen Schüttungen verhindert werden?

-> Folie 34

Stabilisierung

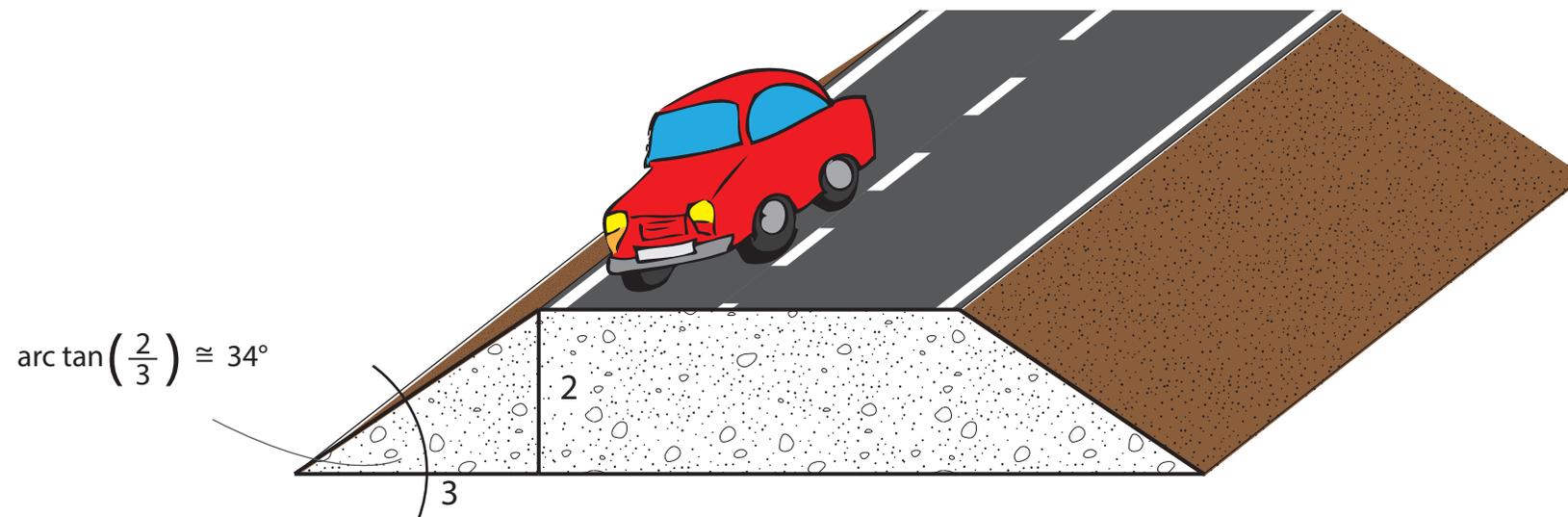
Wie können Setzungen in feinkörnigen Schüttungen verhindert werden?

-> Folie 36

Schüttungen: Böschungswinkel von Schüttungen

Oft werden Dämme (Strassen-, Bahn-) mit einem Anzug von 2:3 geböscht. Warum gerade 2:3?

Grobkörnige Lockergesteine weisen bei mindestens mitteldichter Lagerung meistens einen Reibungswinkel $\geq 34^\circ$ auf. Der Reibungswinkel von feinkörnigen Lockergesteinen ist deutlich kleiner. Eine Böschung mit Anzug 2:3 hat einen Böschungswinkel von ca. 34° . Aus einem Lockergestein mit einem Reibungswinkel $\geq 34^\circ$ können Dämme mit einem Böschungsverhältnis von 2:3 geschüttet werden. Auch ohne Berücksichtigung einer allfälligen Kohäsion sind diese Böschungen permanent knapp stabil. Falls das Lockergestein einen Reibungswinkel $< 34^\circ$ aufweist, muss flacher geböscht werden oder die Böschung ist zu sichern.



Schüttungen: Verdichtung

Falls das geschüttete Material (lockere Lagerung) nicht genügend verdichtet wird (dichte Lagerung), drohen Setzungen innerhalb des geschütteten Materials (siehe Folien 7 und 9). Bei ungenügender Verdichtung drohen unzulässig grosse Setzungen und Schäden, z. B. im Strassenkörper.

Beim Verdichten sind folgende Grundsätze zu beachten:

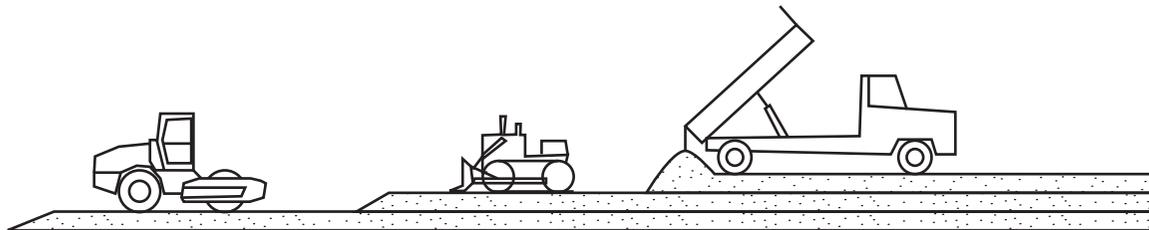
Das zu verdichtende Material ist in Schichten mit einer maximalen Mächtigkeit von 40 cm einzubauen. Die Schichtmächtigkeit sollte zudem nicht kleiner sein als der zweifache maximale Korndurchmesser des Schüttmaterials. Auch ist die maximale Tiefeneinwirkung des Gerätes (Walze, Stampfer) zu beachten. Hohe Anforderungen an die Verdichtung verlangen eine kleine Schichtmächtigkeit.

In der Regel soll der Einbauwassergehalt des Schüttmaterials dem optimalen Wassergehalt entsprechen (nicht ganz trocken, nicht zu feucht). Für kleinere Materialmengen kann der optimale Wassergehalt aufgrund der Zusammensetzung und Eigenschaften des Schüttmaterials geschätzt werden, ansonsten wird er mit dem Proctorversuch betimmt.

Während des Einbauvorganges ist auf eine genügende Neigung der Oberfläche zu achten, um den Regenwasserabfluss zu gewährleisten.

Ist ein vorgeschriebener Verdichtungswert zu erreichen, z.B. $ME1 \geq 30 \text{ MN/m}^2$, ist dieser auf der Baustelle mittels Plattendruckversuchen zu prüfen (siehe auch Folie 18).

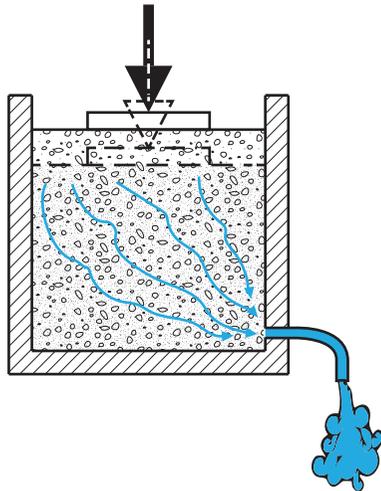
Das geeignete Gerät zur Verdichtung ist abhängig von der Zusammensetzung und Eigenschaften des Schüttmaterials zu wählen. Eine gute Übersicht über die geeigneten Geräte für verschiedenen Schüttmaterialien und die Anzahl der notwendigen Übergänge gibt [21]. Bei drückenden und knetenden Geräten (Glatt-, Gitter-, Igel- und Pneuwalzen) geht die Wirkung hauptsächlich vom statischen Gerätegewicht aus. Bei knetenden Geräten wird der Druck auf den Boden nicht über die ganze Breite abgegeben und somit verstärkt. Bei stampfenden Geräten (Explosionsstampfer, Fallplattenstampfer) wird die Wirkung durch das fallende Gewicht erzielt, also durch niederfrequente Schläge. Die Wirkung der Vibrationsgeräte (Vibrationswalzen, Plattenvibratoren, Vibrationsstampfer) beruht vor allem auf der Vibration. Vibrationsgeräte sind für feinkörnige (bindige) Böden weniger geeignet



Schüttungen: Konsolidation

Insbesondere bei feinkörnigem (bindigem) Lockergestein entstehen Probleme bei der Verdichtung.

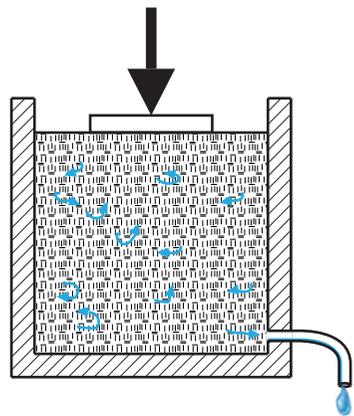
Bindige Böden sind Lockergesteine mit einem hohen, das Materialverhalten bestimmenden Feinanteil. Aber warum „bindig“? „Bindig“ bezieht sich darauf, dass diese Materialien dazu neigen, Wasser zu binden. Während saubere, poröse und gut durchlässige Kiessande rasch drainieren, findet das Wasser aus bindigen Böden „nicht genügend schnell hinaus“.



Verdichten von Schüttungen aus grobkörnigem Lockergestein

- Reibungsmaterial
- gut durchlässig
- Gewicht (z. B. Walze) wird aufgebracht
- Wasser wird verdrängt und entweicht
- Porenanteil wird verringert, Material wird verdichtet
- Mittel- bis langfristig ist, ohne Zusatzlast, keine massgebende Verdichtung (Setzung) mehr zu erwarten.
- gut abgestuftes Material ist besser verdichtbar als schlecht abgestuftes Material (kleine Körner passen in Zwischenräume der grossen Körner)

—> umgangssprachlich: „gut verdichtbares Material“



Verdichten von Schüttungen aus feinkörnigem Lockergestein

- bindiges Material
- schlecht durchlässig,
- Gewicht (z. B. Walze) wird aufgebracht. Man sagt, der Boden „pumpt“.
- Wasser kann nicht entweichen resp. entweicht nur sehr langsam (kann Monate bis Jahre dauern)
- Poren sind mit Wasser gefüllt. Porenanteil kann kaum verringert werden, da Wasser nur sehr langsam entweicht. Das Material kann deshalb nicht verdichtet werden
- Solange Wasser entweicht, ist mit einer weiteren Verdichtung (Setzung) zu rechnen. Diese Setzungen nennt man Konsolidation.
- Um dies zu vermeiden sind Massnahmen zu ergreifen (siehe nächste Folie).

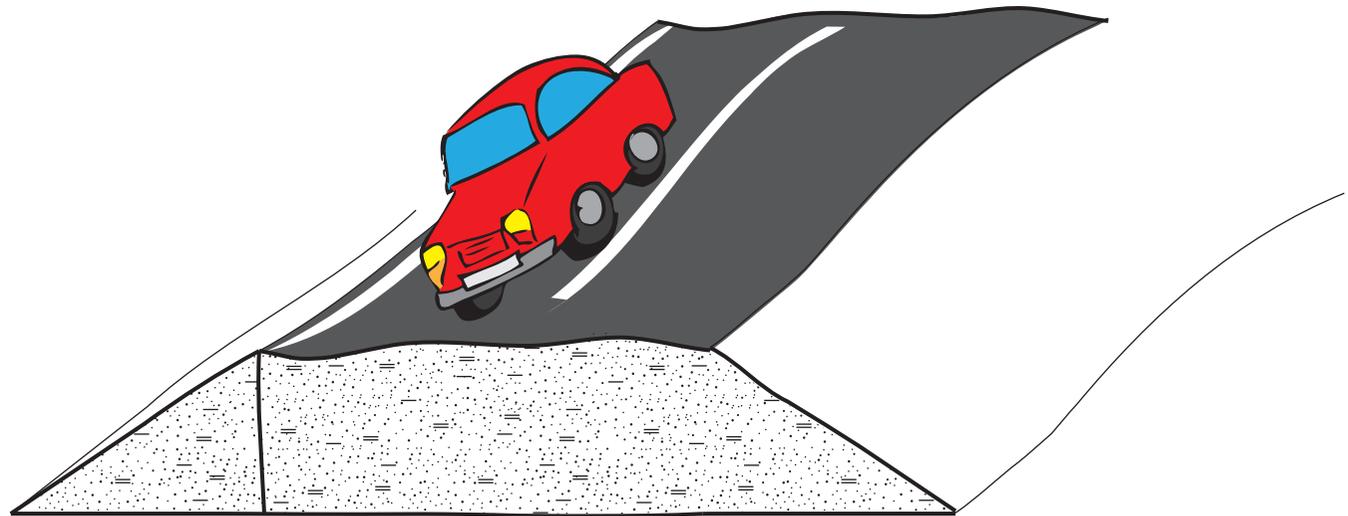
—> umgangssprachlich: „schlecht verdichtbares Material“

Schüttungen: Stabilisierung

Zur vorgängigen Konsolidation von feinkörnigem Baugrund kann, wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, eine Vorverdichtung mittels Überschüttung dienen.

Eine Möglichkeit, einem bindigen Boden das Wasser zu entziehen ist die Stabilisierung. Bei der Stabilisierung wird mit Fräsen Erdbauzement oder Kalk in den Boden eingebracht. Diese Stoffe bauen das Wasser in ihre Kristallstruktur ein, der Boden trocknet ab und wird dadurch besser verdichtbar. Ausserdem wird der Boden deutlich unempfindlicher gegen Frosteinwirkung und Nässe.

Bei jeder Stabilisierung taucht früher oder später die Frage nach der richtigen Dosierung auf. Meist werden pro Kubikmeter Lockergestein einige Zehner bis wenige Hundert Kilogramm Zement oder Kalk eingebaut. Wieviel Bindemittel effektiv benötigt wird, hängt von den Anforderungen ab. Welche Dosierung notwendig ist, um einen bestimmten ME-Wert oder eine bestimmte Festigkeit zu erreichen, wird am besten im Rahmen von Voruntersuchungen ermittelt.



Schadensbilder aufgrund von schlecht verdichteten Schüttungen.

3) Referenzen, weiterführende Literatur

Referenzen, weiterführende Literatur

- 1 SN 670009a, Geologische Terminologie der Lockergesteine
- 2 SN 670008, Klassifikation der Lockergesteine
- 3 SN 670004-2b-NA, Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung
- 4 EN ISO 14688-1, Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden
- 5 EN ISO 14689-1, Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels
- 6 SIA 199, Erfassung des Gebirges im Untertagebau
- 7 FSKB Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie, ABC für Erdarbeiten
- 8 U. Smolczyk, Grundbautaschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen
- 9 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Wegleitung Grundwasserschutz
- 10 H.-J. Lang, J. Huder, P. Amann, A. M. Puzrin, Bodenmechanik und Grundbau
- 11 ETH Zürich, Grundlagen der Ingenieurgeologie, WS 02/03, Löw S.
- 12 SN 670010b, Bodenkennziffern
- 13 Press/Siever, Allgemeine Geologie
- 14 SN 670140b, Frost
- 15 Bundesamt für Umwelt BAFU, Permafrost, Eigenschaften und vorkommen (www.bafu.admin.ch)
- 16 Bundesamt für Umwelt BAFU, Hinweiskarte zur potenziellen Permafrostverbreitung in der Schweiz (www.bafu.admin.ch)
- 17 WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (www.slf.ch)
- 18 SN 670115 Gesteinskörnungen
- 19 Tiefbauamt Graubünden, Besondere Bestimmungen Teil 2, Vorschriften für die Ausführung von Erdarbeiten
- 20 SN 670317b, Plattendruckversuche EV und ME
- 21 SN 640588a, Verdichten, maschinelles Verdichten
- 22 SN 670119-NA, Ungebundene Gemische, Anforderungen
- 23 SN 670902-1, Bestimmung der Korngrößenverteilung von Gesteinskörnungen, Siebverfahren
- 24 SN 670903-2, Bestimmung des Widerstandes von Gesteinskörnungen gegen Zertrümmerung
- 25 SN 670902-3, Bestimmung der Kornform von Gesteinskörnungen, Plattigkeitskennzahl

Referenzen, weiterführende Literatur

- 26 SN 670816, Schlämmanalyse nach der Aräometermethode (mineralische Baustoffe)
- 27 Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung BauAV)
- 28 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Abfall und Altlasten, Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie)
- 29 Technische Verordnung über Abfälle (TVA)
- 30 Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV)
- 31 SN 640575, Bautechnische Einteilung der Böden
- 32 H. Prinz, R. Strauss, Abriss der Ingenieurgeologie
- 33 Tiefbauamt Graubünden: Projektierungsgrundlagen Kunstbauten: Stützmauern
- 34 SN 505266/2 Natursteinmauerwerk
- 35 Rudolf Rügger, dipl. Bauing. ETH/SIA: Baugrundverbesserung durch den Einsatz konstruktiver Elemente - Nägel, Dübel und Mikropfähle (2005)
- 36 SIA 261, Einwirkungen auf Tragwerke
- 37 SIA 267, Geotechnik
- 38 SIA 267/1, Geotechnik, ergänzende Festlegungen
- 39 SN 640576, Aushub- und Schütтарbeiten
- 40 SN 670330-2a, Optimaler Wassergehalt (Proctor)
- 41 SN 640501, Stabilisierte Böden mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln; Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten
- 42 Büchel et al., Taschenbuch für Bauführer und Poliere
- 43 Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF / Bundesamt für Umwelt BAFU, Lawinenverbau im Anbruchgebiet
- 44 SIA 262, Betonbau
- 45 SIA 262/1, Betonbau, ergänzende Festlegungen



FACHSTELLE FÜR FORSTLICHE BAUTECHNIK
 CENTRE POUR LE GÉNIE FORESTIER
 CENTRO PER IL GENIO FORESTALE
 POST SPEZIALISÀ PER TECNICA DA CONSTRUCZIUN FORESTALA

Bund, Kantone und Fürstentum Liechtenstein

Baugeologie und Geo-Bau-Labor AG
 Bolettastrasse 1, 7000 Chur
 Tel +41 81 257 18 60 Büro
 Tel +41 81 257 18 61 Labor
 Fax +41 257 18 66
 info@baugeologie.ch www.baugeologie.ch

