



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

Bovel  
CH-7304 Maienfeld  
Telefon +41 81 403 33 62  
e-mail walter.kraetli@ibw.ch  
www.fobatec.ch

# Lockergestein als Baustoff

Tagungsunterlagen

2019



Einführung .....	3
Lockergesteine, eine Übersicht.....	4
Von der Entstehung der Lockergesteine .....	4
Beschreibungskriterien .....	5
Eigenschaften ausgewählter Bestandteile und deren bautechnische Relevanz .....	5
Häufige, in der Schweiz vorkommende Lockergesteinszusammensetzungen .....	8
Feldansprache der Eignung.....	11
Verwendungsformen von Gesteinskörnungen bei forstlichen Bauten .....	15
Baugrund.....	15
Schüttungen .....	15
Fundationsmaterial.....	16
Bettungsmaterial .....	16
Stützelemente .....	17
Hinterfüllungen .....	18
Verschleisschichten / Deckschichten .....	18
Drainieren.....	19
Abdichten .....	20
Gewinnung, Aufbereitung und Verbesserung von Gesteinskörnungen (Primärmaterialien), Jacques Grob .....	21
Gewinnung .....	21
Aufbereitung und Verbesserung .....	23
Unterstützende Techniken zur Verbesserung von Erdbaustoffen .....	30
Normierte, ungebundene Gemische ab Werk .....	34
Einsatz von Recyclingbaustoffen im Wald.....	36
Einteilung der Recyclingbaustoffe .....	36
Praktischer Einsatz und Einschränkungen bei Wald- und Güterstrassen .....	38
Materialtechnische Grenzen bei der Verwendung von Recyclingbaustoffen.....	40
Quellen.....	41

## Impressum

Herausgeber:

Fachstelle für forstliche Bautechnik  
Bovel  
CH-7304 Maienfeld  
Telefon +41 81 403 33 62  
e-mail walter.kraettli@ibw.ch  
www.fobatec.ch



Autoren:

Daniel Figi, Büro für technische Geologie, Sargans  
Jacques Grob, Grob Kies AG, Lichtensteig  
Walter Krättli, Fachstelle forstliche Bautechnik (fobatec), ibW Maienfeld

Erstausgabe 2015  
Ausgabe 2019



## Einführung

Praktisch jede Bautätigkeit ist mit Gesteinskörnungen verbunden. Wenn nicht als Bestandteil des Bauteils selbst, dann zumindest als Baugrund, zur Aufnahme der Fundationskräfte. Entsprechend gross sind die Erfahrungen und das Wissen der Menschheit um deren Einsatz. Unterschiedlichste Kombinationen von Gesteinskörnungen mit weiteren Hilfsstoffen wurden entwickelt. Die Baustoffchemie ermöglicht heute eine scheinbar unbegrenzte Beeinflussung der Baustoffeigenschaften.

Früher wurden Lockergesteine meist nahe des Ortes der Verwendung gewonnen oder rückgewonnen und eingesetzt. Die heutige, industrielle Gewinnung und Verarbeitung wie auch, die aus rechtlichen Gründen wichtige Normung führen zu einer immer zentraleren Produktion. Die Ressourcenknappheit wird damit stärker sichtbar. Denn geeignete Lockergesteinsvorkommen sind endlich. In der Folge werden neue Ressourcen gesucht oder alte in Erinnerung gerufen. Ein Feld, das an Bedeutung gewinnt, ist die Gewinnung aus Festgestein (Fels). Ein weiteres die Rückgewinnung und Verwertung verbauter Gesteinskörnungen. Änderungen bei den Ausgangsstoffen haben Folgen für die Baustoffeigenschaften. Beispielsweise führen die ganzen Zusatzstoffe neben ihren positiven Effekten auch zu Herausforderungen bei der Wiederverwendung. Erkenntnisse über die Schädigung eingesetzter Zusatzmittel geben Anlass, auch die Verwertung mineralischer Baustoffe zu standardisieren. Nur so kann gewährleistet werden, dass Schadstoffe aus dem anzustrebenden Stoffkreislauf ausgeschleust werden.

Die Fachtagung will nach Wiederholung von Grundlagen die aktuelle Praxis rund um die Gewinnung und den Einsatz von Gesteinskörnungen aufzeigen und Herausforderungen beleuchten. Durch den hohen Stellenwert von Gesteinskörnungen bei forstlicher Bautätigkeit ein Thema, das an Aktualität nie einbüsst.

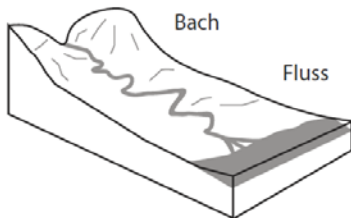


# Lockergesteine, eine Übersicht

## Von der Entstehung der Lockergesteine

Lockergesteine sind weitgehend durch die Verwitterung und Abtrag von Fels entstanden, wobei die Art der Lockergesteine durch den Transportmechanismus vom Abtragungs- zum Ablagerungsort bestimmt wird. Der Transport erfolgt durch Wasser (d.h. fluvial), Eis (glazial), Wind (äolisch) oder auch durch Massenbewegungen (gravitativ). Durch den Transport entsteht eine unterschiedliche Sortierung, Strukturierung und Verdichtung der Gesteinskörner (Abbildung 1). Dabei sind Lockergesteine i.d.R. ein Drei-Phasen-Gemisch aus festem Material (Korn), sowie Luft und Wasser, welche den Porenraum zwischen dem Korngerüst füllen. Neben dem Transport hat häufig auch die geologische Vorgeschichte nach der Ablagerung wie z.B. die Vorbelastung (durch Eis- oder Gesteinsüberlagerung) die Zementation (durch Kalzitausfällung) oder die weiter fortschreitende Verwitterung einen Einfluss auf die Eigenschaften des Lockergesteins. Die Lockergesteine in den Siedlungsgebieten sind häufig vom Menschen künstlich beeinflusst indem sie abgetragen, geschüttet oder verdichtet wurden.

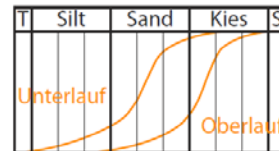
### fluvial



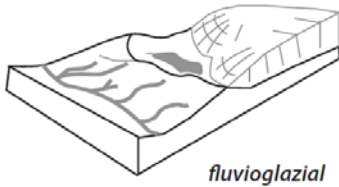
### Beispiele, Eigenschaften

- Bachschutt, Flussschotter
- zunehmende Sortierung
- zunehmende Rundung
- geschichtet

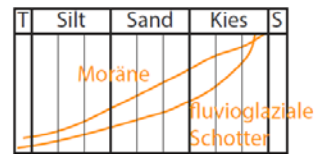
### Charakteristische Sieblinie



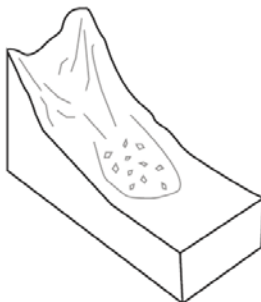
### glazial



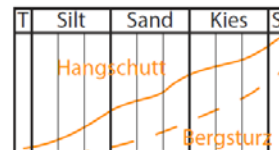
- Moränen
- unsortiert, ungeschichtet
- Fluvioglaziale Ablagerungen
- geschichtet, zunehmende Rundung



### gravitativ



- Bergsturz, Hangschutt
- unsortiert
- ungerundet



### äolisch



- Feinsand, Löss
- sehr gute Sortierung
- Schichtung

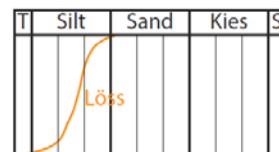


Abbildung 1 Transportarten, Beispiele und Eigenschaften von verschiedenen Lockergesteinen



## Beschreibungskriterien

Die Beschreibung und Klassifikation von Lockergesteinen basiert auf den folgenden

### Bodeneigenschaften:

- Korngrösse und Kornverteilung

Dabei unterscheidet man in erster Linie **grobkörnige** (Kiese und Sande) von **feinkörnigen** (Silte und Tone) Lockergesteinen und ob das Lockergestein **gut gestuft** resp. ungleichförmig (d.h. mit vielen verschiedenen Korngrössen) oder **schlecht gestuft** resp. gleichförmig (d.h. mit wenig verschiedenen Korngrössen) zusammengesetzt ist.

- Kornform (kantig, kantengerundet, angerundet, gerundet)
- Plastizität (Mass für Wasserbindungsvermögen)
- Gehalt an organischem Material

und dem Zustand des Bodens:

- Lagerungsdichte bzw. Konsistenz (Zustandsform von feinkörnigen Lockergesteinen)

Die Korngrössenverteilung eines Lockergesteins kann in einem Erdbaulabor mittels Sieb- (für Kies und Sand) und Schlämmanalyse (für Silt und Ton) bestimmt werden. Steht kein Labor zur Verfügung so kommt die Feldmethode zur Anwendung (vgl. Seite 8). Dabei wird die Kornverteilung der Anteil an grobkörnigen Lockergesteinen visuell geschätzt. Zur Unterscheidung von Feinsand, Silt und Ton wird häufig die Schüttelprobe und Knetprobe angewendet.

Die Benennung der Fraktionen erfolgt gemäss den angegebenen Korngrössen in nachfolgender Tabelle 1

Tabelle 1 Die Benennung der Fraktionen nach Korngrösse

Bereich	Benennung	Korngrösse [mm]	Vergleich	
Sehr grobkörniger Boden	Grosser Block	> 630	Kopfgrösse	
	Block	> 200 bis 630		
	Stein	> 63 bis 200		
Grobkörniger Boden	Kies	> 2.0 bis 63	Hühnerei	
	Grobkies	> 20 bis 63		
	Mittelkies	> 6.3 bis 20		
	Feinkies	> 2.0 bis 6.3		
	Sand	> 0.063 bis 2.0	Erbse	
	Grobsand	> 0.63 bis 2.0	Griess	
	Mittelsand	> 0.2 bis 0.63		
	Feinsand	> 0.063 bis 0.2	Mehl	
Feinkörniger Boden	Silt	0.002 bis 0.063	Mit Auge nicht erkennbar	bleibt in Fingerrillen zurück
	Grobsilt	> 0.02 bis 0.063		
	Mittelsilt	> 0.0063 bis 0.02		
	Feinsilt	> 0.002 bis 0.0063		
	Ton	< 0.002		Glänzende Reibefläche

## Eigenschaften ausgewählter Bestandteile und deren bautechnische Relevanz

Die Eigenschaften und das bautechnische Verhalten von Lockergesteinen sind bei den **nichtbindigen** d.h. rolligen Lockergesteinen in erster Linie von der Korngrösse abhängig.

Lockergesteine sind nichtbindig, wenn der Gewichtsanteil der Feinfraktion (< 0.06 mm) kleiner als 5 % beträgt. Neben Korngrösse beeinflussen aber auch die Kornform oder die Kornrauigkeit die Eigenschaften solcher Böden. Der Zusammenhalt ist lose und erfolgt durch Reibung des Korngerüsts. Bei nichtbindigen (rolligen) Lockergesteinen werden normalerweise keine Eigenschaftsveränderungen unter Wassereinfluss oder bei Frost festgestellt.

Lockergesteine zeigen ab mindestens 15%-20% Feinanteil ein deutlich bindiges Verhalten. Bei **bindigen** Lockergesteinen gibt es eine Haftung, d.h. eine Anziehungskraft zwischen den verschiedenen Teilchen, welche mit dem Begriff Kohäsion beschrieben wird. Die Eigenschaften bindiger Böden sind abhängig vom Wassergehalt, d.h. von der Konsistenz (fest, halbfest, plastisch, flüssig), dem Tonmineralgehalt und der Tonmineralart.

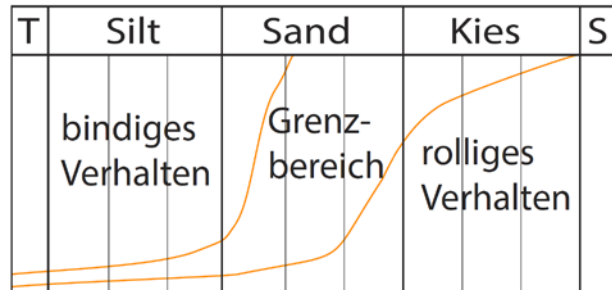


Abbildung 2 Bereiche für bindiges und rolliges Verhalten.

Zwischen den feinkörnigen, bindigen und den grobkörnigen, nichtbindigen Böden gibt es einen Grenzbereich, der den gemischtkörnigen Böden zugeordnet wird (Abbildung 2). Abhängig vom Anteil der einzelnen Kornfraktion verhalten sich solche Böden eher bindig oder rollig. Hangschutt oder Moränen sind typische Beispiele für gemischtkörnige Böden.

Als zusätzliche Lockergesteinsgruppen können die organischen Böden klassifiziert werden. Organische Gemengteile wie Blätter, Wurzeln, etc. können die Eigenschaften von Böden erheblich verändern (i.d.R. negativ). Schon ab 3% organischen Gemengteilen zählt man nichtbindige Lockergesteine zu den organischen Böden, bei den bindigen Lockergesteinen sind es 5%. Torf wird ebenfalls zu den organischen Böden zugeordnet, dabei wird zusätzlich noch der Zersetzungsgrad unterschieden.

In Tabelle 2 sind die Eigenschaften von einzelnen Bestandteilen des Lockergesteins aufgeführt. Es ist zu beachten, dass diese nur in sehr seltenen Fällen in reiner Form, sondern üblicherweise in Mischformen auftreten.

Tabelle 2 Eigenschaften und Anwendungshinweise für Bestandteile von Lockergesteinen.

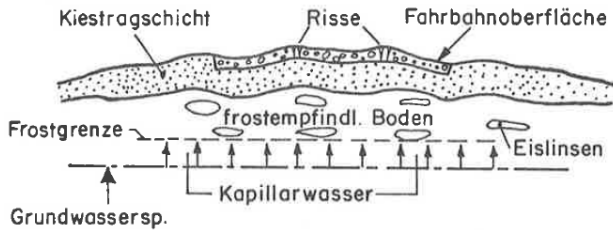
Bestandteil des Lockergesteins	Eigenschaft	Zu verwenden	Zu vermeiden
Steine, Blöcke,	Hohe Tragfähigkeit, schlecht verdichtbar, inhomogen	-Stützelemente, -Sickerpackungen	-Bettung -Hinterfüllung -Deckschichten
Kies	Gut tragfähig, nicht setzungsempfindlich, hohe Durchlässigkeit, gut entwässerbar, rollig, gut verdichtbar (ungleichförmig)	-Als Trag- /Foundationsschichten, als Drainage- und Filterschichten	
Sand	Gut durchlässig, frostempfindlich (Feinsande)	-Bettung von Leitungen, von gesetzten Bodenplatten und Pflastersteinen	-Schüttungen
Silt	Setzungsempfindlich, frostempfindlich (siehe unten)	-	-Fundationsmaterial
Ton	Bindet Wasser oder saugt Wasser an und auf, dichtet ab (wasserundurchlässig) -wasserempfindlich -stark setzungsempfindlich -kaum verdichtbar	-Als Stau- und Lenkschicht bei Entwässerungen oder Quellfassungen (Abdichten), -Als Bindemittel in Verschleisschichten	-In Fundationsmaterialien Anteil < 0.063mm ≤ 3.0 Gew-% (SN 670 119-NA), -Hinterfüllungen -Drainieren -Schüttungen -Bettungsmaterial

Zur Frostempfindlichkeit der Böden und Frostdimensionierung des Strassenoberbaus ist die SN 670 140b anzuwenden. Grundsätzlich können grobkörnige Lockergesteine als frostunempfindlich bezeichnet werden, da während des Gefrierens des Porenwassers keine Hebung und somit Verminderung der Tragfähigkeit entsteht. Frostempfindlich sind hingegen feinkörnige Lockergesteine, insbesondere feinsandige bis tonige Silte, welche durch Gefrieren und Auftauen von Eislinsen geschädigt werden und ihre Tragfähigkeit verlieren. Die Norm zeigt auf, wie die Frostempfindlichkeit (4 Klassen) und die Frosttiefe (Abhängig von klimatischer Zone) bestimmt werden kann. Grundsätzlich sind frostempfindliche Schichten oberhalb der Frosttiefe zu vermeiden.



Für das schweizerische Mittelland beträgt die Frosttiefe 80 bis 120 cm. In Höhenlagen und im Gebirge sind Erfahrungswerte massgebend. Als erste Abschätzung kann dort folgende Faustregel angewendet werden:  $m.ü.M / 1000 = \text{Frosttiefe in m}$ . Nachfolgend werden typische Probleme mit Frost illustriert.

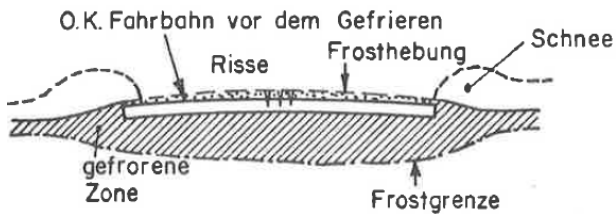
### Problem in frostempfindlichen Materialien:



### Frostlinsen

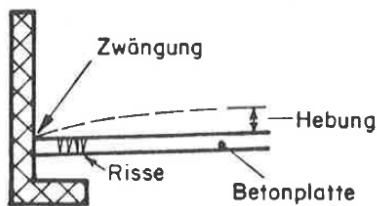
Abbildung 3 Inhomogener Boden führt zu örtlichen Hebungen – Risse bilden sich (Dietrich K. 1986)

### Probleme bei Winteröffnung:



### Frosthebungen

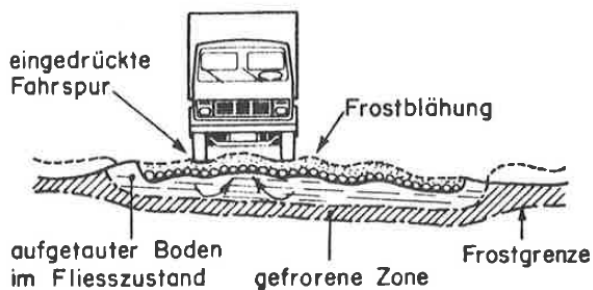
Abbildung 4 Frost dringt verschieden tief ein – ungleiche Hebungen in Querrichtung (Dietrich K. 1986).



### Zwängungen

Abbildung 5 Entlang von frostsicher fundierten Kunstbauten kommt es zu Zwängungen (Dietrich K. 1986).

### Problem beim Befahren in der Auftauphase



### Zerdrücken

Abbildung 6 Hoher Wassergehalt aus den allmählich schmelzenden Frostlinsen vermindert die Tragfähigkeit. Schon einzelne, schwere Fahrten genügen zur Schädigung (Dietrich K. 1986).



## Häufige, in der Schweiz vorkommende Lockergesteinszusammensetzungen

Das heutige Landschaftsbild der Schweiz ist ein Produkt aus Tektonik (Hebung, Faltung, Überschiebung) und Erosion durch Wasser und Eis. In Bezug auf die Lockergesteine, die einen Grossteil der Siedlungsgebiete, insbesondere in den Regionen des Mittellandes bedecken, wurde das Material hauptsächlich von den Gletschern geliefert. Zwischen und nach den Eiszeiten wurde das ursprünglich glaziale Material, von Wasser, Wind oder durch gravitative Prozesse überprägt und verändert. Zusätzlich zu den Transportarten ist die Zusammensetzung der Lockergesteine auch abhängig vom jeweiligen Liefergebiet. Eine Übersicht der lithologisch-petrographischen Gliederung der Schweiz, und somit der möglichen Liefergebiete von Lockergesteinsmaterial ist im Profil und der Karte der Abbildung 7 ersichtlich.

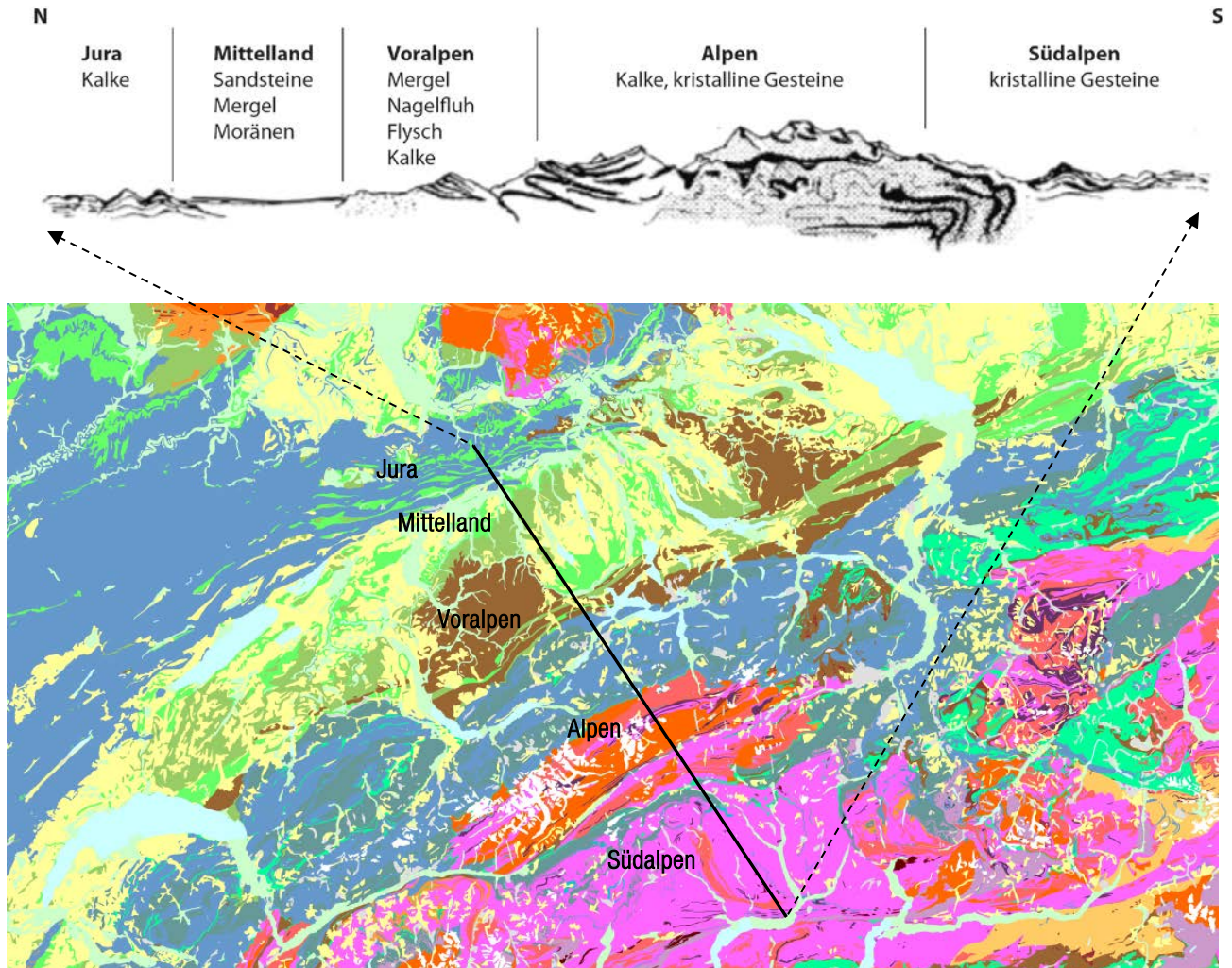


Abbildung 7 Geotechnische bzw. lithologisch-petrographische Karte der Schweiz. Die Gesteine werden nach den Kriterien Entstehung, mineralogischer Zusammensetzung, Korngrösse und Kristallinität in 25 Gruppen unterteilt. Die hellgelben (Tone, Sande, Silte) und hellgrünen (Sande, Kiese, Gerölle) Gebiete im Bereich des Mittellandes und den Alpentälern werden überwiegend, von teils bis zu mehreren 100 m mächtigen Lockergesteinen überlagert. In den Voralpen sind Konglomeraten (Nagelfluh), Brekzien und Tongesteine weit verbreitet (Brauntöne), die nördlichen Alpen werden von Kalken (blau) dominiert. Ein Grossteil der Zentral- und Südalpen werden von kristallinen Lithologien (granitische und basische Gesteine, metamorphe Gestein wie Gneise, Schiefer etc.) aufgebaut (Rottöne).

So enthalten beispielsweise Lokalmoränen aus den nördlichen Alpen vor allem kalkige Komponenten, während die Moränen der grossen Talgletscher normalerweise polymikt (d.h. aus verschiedenen Gesteinen) aufgebaut sind. Hangschutt und Bergsturzablagerungen in den Voralpen sind vorwiegend aus tonigen, mergeligen Gesteinen, die im Jura überwiegend aus kalkigen Gesteinen aufgebaut.

Mit Ausnahme der See- und Flussablagerungen, die im forstlichen Bau eher weniger Bedeutung haben, werden im Folgenden die wichtigsten in der Schweiz vorkommenden Lockergesteinszusammensetzungen beschrieben.



## Moränen

Moränen sind glaziale Ablagerungen, die vom Gletscher transportiert und in direktem Eiskontakt abgelagert wurden. Moränenablagerungen kommen auch im Mittelland vor, das während des Höhepunkts der letzten grossen Eiszeit vor ca. 24'000 Jahren fast komplett vergletschert war (Abbildung 8).



Abbildung 8 Luzern zur Eiszeit vor dem Alpenpanorama mit Pilatus und Rigi. Gemälde von Ernst Hodel (1892-1902).

Typischerweise sind die Gesteinskomponenten in der Moräne in Bezug auf ihre Grösse nicht sortiert, das heisst, dass neben hausgrossen Blöcken auch Steine, Kies, Sand, Silt und Ton vertreten sind. Die Kornformen (eckig bis abgerundet) und das Material der Komponenten (Granite, Gneise, Kalksteine, Sandsteine etc.) sind oft nicht einheitlich, zudem zeigen Moränen im Gegensatz zu vielen anderen Lockergesteinen keinen geschichteten Aufbau.

Üblicherweise unterscheidet man zwischen Grund- und Obermoränen. Bei den **Grundmoränen** werden die teilweise polierten oder gekritzten Kies- und Steinkomponenten von einer massigen Matrix aus Ton bis Feinsand allseitig umschlossen. Aufgrund der glazialen Vorbelastung ist die Grundmoräne sehr dicht gelagert und kann lokal (z.B. in Bacheinschnitten) als mehrere Meter hohe, felsähnliche Anschnitte aufgeschlossen sein. Infolge des grundsätzlich hohen Anteils an Feinmaterial sind Grundmoränen als Rohstoff weniger interessant, zudem besteht bei Wasseraufnahme die Gefahr von Rutschungen.

**Obermoränen** sind oft als Wallmoränen (Seiten-, Mittel- oder Stirnmoränen) ausgebildet und im Gelände als solche erkennbar (Abbildung 9). Im Vergleich zu den Grundmoränen sind sie bezüglich Kornverteilung und Lagerung heterogener aufgebaut. Wegen des geringeren Feinanteils sind sie zur Kiesgewinnung geeignet.



Abbildung 9 Seitenmoränen beidseits des zurückschmelzenden Vadret da Tschierva, Engadin (links) Endmoräne bei Möhlin, Aargau (rechts).

## Fluvioglaziale Ablagerungen

Fluvioglaziale Ablagerungen entstehen als vorwiegend grobkörnige, kiesig-sandige Schmelzwasserablagerungen im Vorland von Gletschern. Vor allem die gletschernahen fluvioglazialen Ablagerungen sind oft mit Moränenablagerungen verzahnt, und können eine „moränenähnliche“ Struktur aufweisen, sind aber immer geschichtet (Abbildung 10). Die gletscherfernen fluvioglazialen Ablagerungen sind durch einen geringeren Anteil an Feinanteilen und einer besseren Sortierung und Rundung gekennzeichnet. Die im Mittelland vorhandenen, während den Eiszeiten gebildeten, gletscherfernen fluvioglazialen Ablagerungen gehören zu den ausgedehntesten und wichtigsten Rohstoffvorkommen für den Abbau von Kies und Sand.

Als Deckenschotter bezeichnet man ältere, früheiszeitliche fluvioglaziale Ablagerungen. Die Komponenten (Kies, Steine) können aufgrund des höheren Alters stärker verwittert und von Lösungserscheinungen betroffen sein, andererseits führte diese in der Matrix zu einer teils starken Verkittung und Verfestigung. Deckenschotter wurden früher in zahlreichen kleinen Gruben ausgebeutet, die meisten Vorkommen können nicht im grösseren Stil genutzt werden, da sie Grundwasserträger und von Wald bedeckt sind [1].



Abbildung 10 Rezente fluvioglaziale Ablagerung am Berninapass (Lago Bianco).

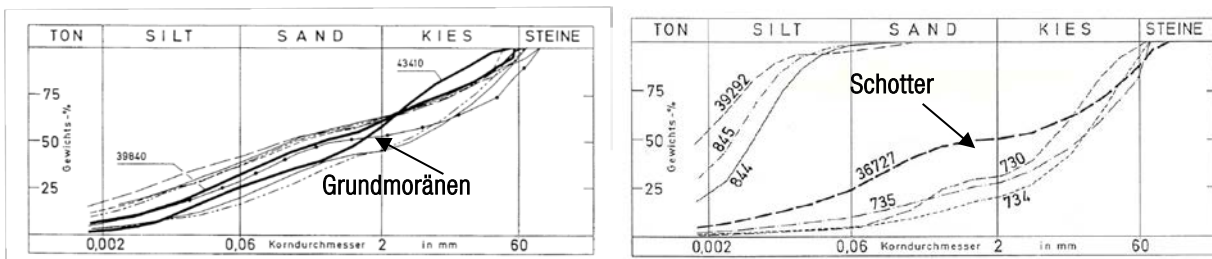


Abbildung 11 Typische Siebkurven für Grundmoränen (links) und fluvioglaziale Schotter (rechts).

### Bach- und Murgangablagerungen

Bach und Murgangablagerungen sind vorwiegend in den Alpen und Voralpen am Fuss von Wildbächen und kleinen Flüssen anzutreffen. Sie bilden dabei teils mächtige Schuttkegel (Abbildung 12) und bestehen aus grobkörnigen, eher schlecht gerundeten Komponenten aus Gesteinen aus dem näheren, relativ beschränkten Einzugsgebiet. Oft handelt es sich dabei um schlecht sortierte, siltige Kiessande mit einem beträchtlichen Anteil an Steinen und Blöcken, in Murgangablagerungen sind oft auch Holzreste eingelagert. Die Ablagerungen werden oft in Kiessammlern gesammelt und eignen sich je nach Qualität des Ursprungsgesteins auch als Rohstoff.



Abbildung 12 Bachschuttkegel des Illgraben bei Leuk, als Ansicht (links) und Luftbild (rechts).

## Bergsturablagerungen

Viele grössere Bergstürze ereigneten sich am Ende der letzten Eiszeit (z.B. Flims, Klöntal) als sich die Gletscher zurückzogen. Aber auch aus historischer Zeit (Goldau 1806, Elm 1881) oder aus neuerer Zeit (Randa 1991) sind Bergsturzeignisse bekannt, die das Landschaftsbild meist nachhaltig verändert haben (Abbildung 13). Bergsturzeblagerungen sind bezüglich Korngrössen sehr heterogen zusammengesetzt, oft kommen grosse Blöcke bis felsartige Kompartimente vor, die in einer teils feinkörnigen Matrix aus Sand und Silt schwimmen. Da es sich um natürlich gebrochenes Material handelt sind die Komponenten meist kantig bis kantengerundet, petrographisch sind sie auf das Ausbruchgebiet beschränkt.



Abbildung 13 Die Bergsturzeblagerungen des Flimser Bergsturzes werden bei Versam abgebaut (links). Bergsturz von Randa (rechts).

## Gehängeschutt

Gehängeschutt ist in den Alpen weit verbreitet und bilden sich aus der Verwitterung und dem Abtrag von Gesteinsmaterial aus höher liegenden Felswänden. Im Vergleich zu den Bachablagerungen erfolgt der Transport nicht hauptsächlich vom Wasser (fluvial) sondern gravitativ, was sich an den meist kantigen Komponenten widerspiegelt. Gehängeschutthalden sind vor allem aus Blöcken, Steinen und Kies aufgebaut, wobei die Hohlräume mit feinerem Material gefüllt werden. In Regionen mit tonhaltigen Gesteinen im Einzugsgebiet (z.B. Voralpen, Bündnerschiefergebiete) besteht die Füllmasse meist aus wenig Sand, aber reichlich Silt und Ton. Zur Gewinnung eignen sich solche Ablagerungen nur bedingt. Besser geeignet sind hingegen Schutthalden aus Gebieten mit ausschliesslich Karbonatgesteinen, wie Kalkstein und Dolomit aber auch Regionen mit Sandsteinen oder Graniten, hingegen sind metamorphe Gesteine mit einem hohen Anteil an Schichtsilikaten (Glimmer, Chlorit) eher ungünstiger.

### SN 670 009: geologische Terminologie der Lockergesteine

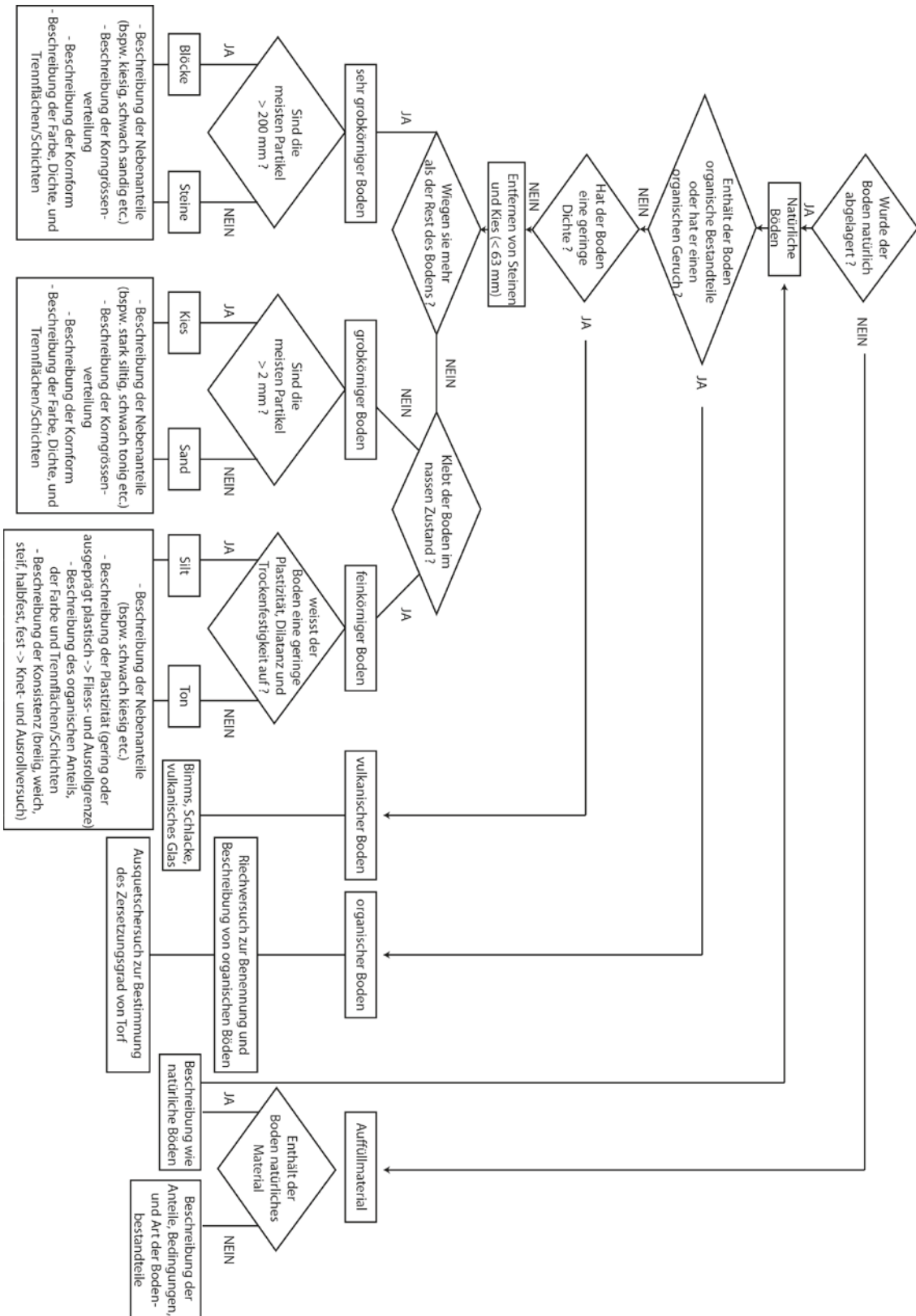
Die Terminologie der Lockergesteine ist gemäss SN 670 009 geregelt, diese weicht geringfügig von der hier bisher verwendeten Nomenklatur ab. Es werden auch weiter hier nicht im Detail beschriebene Lockergesteine wie bspw. Gehängelehm (feinkörnige Ablagerung am Hangfuss), Seekreide (Ausfällung und Ablagerung von Planktonresten in kalkreichen Gewässern) oder Löss (von Wind transportiertes Material) aufgeführt. Die oberste, dem eigentlichen Lockergesteine überlagernde, humose Schicht wird wie üblich in einen Oberboden (A-Horizont) welcher aus Humus und Kulturerde besteht, und einem Unterboden (B-Horizont), aufgebaut aus feinkörnigem Boden mit organischen Bestandteilen, unterteilt. Die bodenkundliche Beurteilung des Bodens hinsichtlich A- und B-Horizont wird in der SN 640 581a detailliert behandelt. Baustoffgewinnung geschieht praktisch nur aus dem C-Horizont.

## Feldansprache der Eignung

Bei der Feldansprache der Lockergesteine, wird auf Laboruntersuchungen verzichtet, das Material wird aufgrund der visuell abgeschätzten Haupt- und Nebenanteile klassifiziert. Als Hauptanteil wird bei den grobkörnigen Böden (Kies, Sand) immer die Kornfraktion mit den meisten Massenprozenten bezeichnet, bei gemischtkörnigen Böden (Lockergesteine mit Kies, Sand, Silt und Ton) gilt das ebenfalls solange der Feinkornmassenanteil das Verhalten des Bodens nicht bestimmt. Die Nebenanteile werden von den weniger stark vertretenen Fraktionen gebildet. Die Benennung folgt dabei einem einfachen Muster: Der Hauptanteil wird als Nomen vorangestellt, die Nebenanteile, in der Reihenfolge ihres Massenanteils werden als Adjektive beigefügt. Dabei können die Nebenanteile noch gewichtet werden. Die sehr grobkörnigen Komponenten (Steine, Blöcke) werden am Schluss angehängt: Bsp.: Kies, stark sandig, schwach siltig mit wenig Steinen (Lockergestein mit 0% Ton, 11% Silt, 32% Sand, 47% Kies und 10% Steinen). Die Feldansprache ist gemäss SN 670 004-1b geregelt (Abbildung 14). Beispiele von Lockergesteinszusammensetzungen sind in der Abbildung 15 und Abbildung 16 gegeben.



Abbildung 14 Flussdiagramm zur Benennung und Beschreibung von Böden gemäss SN 670 004-1b.





Feldansprache (geotechnische Beschreibung):  
Kies, stark sandig, teilweise schwach siltig, mit vielen Steinen und einzelnen Blöcken bis  $\varnothing$  0.3 m, polymikte, kantige bis vorwiegend angerundete Komponenten

Identifikation: Moräne

Bautechnische Verwendung: Als Trag- und Foundationsschicht, für Schüttungen und Hinterfüllungen, als ungebundene Gemische verwendbar (nach Aufbereitung).



Feldansprache (geotechnische Beschreibung):  
Kies, stark sandig, siltig, schwach tonig mit Steinen und Blöcken bis  $\varnothing$  0.5 m; Komponenten kantig bis angerundet, monomikt (Bündnerschiefer)

Identifikation: Bachschutt

Bautechnische Verwendung:  
Als Trag- und Foundationsschicht, für Schüttungen und Hinterfüllungen, als ungebundene Gemische verwendbar (nach Aufbereitung).

Abbildung 15 Beispiele von Lockergesteinszusammensetzungen



Profil oben:

Feldansprache (geotechnische Beschreibung):  
Feinsand, stark siltig, tonig

Identifikation: Deckschicht,  
Überschwemmungsablagerungen

Bautechnische Verwendung:  
Als Stau- und Lenkschicht bei Entwässerungen oder  
Quellfassungen (Abdichten), als Bindemittel in  
Verschleisssschichten (Zumischung)

Profil unten:

Feldansprache (geotechnische Beschreibung):  
Kies, sandig, mit Steinen ( $\varnothing$  max = 0.15 m), lokal schwach  
siltig; Komponenten polymikt, gerundet

Identifikation: Rheinschotter

Bautechnische Verwendung:  
Als Trag- und Fundationsschicht, für Schüttungen und  
Hinterfüllungen,



Feldansprache (geotechnische Beschreibung): Silt, tonig,  
schwach organisch

Identifikation: Stillwasserablagerungen

Bautechnische Verwendung:  
Je nach Gehalt an organischem Material nicht  
verwendbar, allenfalls als Stau- und Lenkschicht bei  
Entwässerungen oder Quellfassungen (Abdichten), als  
Bindemittel in Verschleisssschichten

Abbildung 16 Beispiele von Lockergesteinszusammensetzungen



# Verwendungsformen von Gesteinskörnungen bei forstlichen Bauten

## Baugrund

Die resultierenden Spannungen von Bauwerken müssen vom Baugrund aufgenommen und getragen werden. 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. Die Tragfähigkeit des Bodens ist durch den **Reibungswinkel, die Kohäsion und das Raumgewicht des Bodens** festgelegt. Nach Norm SN 640324 werden die Bodenarten in fünf Tragfähigkeitsklassen unterteilt (Abbildung 17). Die Spannung hängt von der Last und der Geometrie des Bauwerkes ab.

Tritt ein Bruch ein spricht man von **Tragsicherheitsproblem**. Sind nur Setzungen die Folge, das heisst Deformationen ohne Bruch, liegt je nach Anforderung ein **Gebrauchstauglichkeitsproblem** vor. Bei forstlichen Bauten treten in der Regel Tragsicherheitsprobleme vor Gebrauchstauglichkeitsproblemen ein. Denn die Toleranz gegenüber Verformungen und Verkippungen ist relativ hoch. Die Tragsicherheit oder Grundbruchsicherheit wird nach Norm SIA 267 und 267/1 nachgewiesen.

Bodenart	Mögliche Tragfähigkeitsklassen
kohäsive, quellende Böden (z.B. Mergel)	Abklärung durch Spezialuntersuchung
feinkörnige Böden (Silte und Tone)	S0...S2
mittelkörnige Böden (Sande)	S2...S3
grobkörnige Böden (Kiese)	S3...S4

Abbildung 17 Tragfähigkeitsklassen in Abhängigkeit der Bodenart nach SN 640 324.

## Schüttungen

Zu tief liegendes Terrain und Unebenheiten werden mit Materialschüttungen ausgeglichen. Verwendet wird häufig das vor Ort vorhandene Erdmaterial aus Abtrag oder Aushub. Genauer abzuklären sind die entstehenden Böschungswinkel, die zu erreichende Tragfähigkeit und Setzungsempfindlichkeit. Je nach Anforderungen an die spätere Nutzung sind unterschiedliche Vorgehensweisen zu verfolgen.

Jeder Schüttung voraus geht die Verzahnung mit dem gewachsenen Terrain durch Ausbildung von Stufen (Böschungsfüssen) (NPK 211.611). Die Endneigung der entstehenden Böschungen muss dem Reibungswinkel des verwendeten Materials bei mitteldichter Lagerung entsprechen. Bewährt haben sich 34° oder eine Neigung von 2:3. Bei genügender Verdichtung und direktem Oberflächenschutz sind auch Neigungen bis 4:5 standfest. Die Eignung der Bodenmaterialien zeigt folgende Zusammenstellung (Byland 2013):

- Geeignete Böden nicht bindige bis leicht bindige Böden (Kiese und tonige Sande und Sande mit Silt)
- Bedingt geeignete Silte, Silte mit Sand oder Kies (wassergehalt entscheidend)
- Nicht geeignet Oberboden, organische Böden, Holzbeimengungen

Hohe Tragfähigkeit und minimale Setzungen, wie beim Erstellen einer Wegtrasse gefordert, erreicht man mit dem Einbau in Schichten und geeigneter Verdichtung (siehe Kapitel ‚Verdichten‘). Man bezeichnet dies als Dammschüttung (NPK 211.614). Der Einbau grosser Komponenten (bspw. >300mm) sollte bei diesen Anforderungen wegen Problemen bei der Verdichtung vermieden werden. Häufig ist dies bei der Ausschreibung explizit festgelegt. Handelt es sich beim vorhandenen Material um feinkörniges, bindiges Material ist die Verdichtung durch das schlechte Entweichen des Bodenwassers praktisch nicht möglich. Bei genügender Zeit bleibt die Möglichkeit vor weiterem Gebrauch die Schüttung durch Auflast vorzubelasten. Das Entweichen des Wassers und die damit verbundenen Setzungen (Konsolidation) können jedoch Jahre dauern. Eine weitere Möglichkeit ist die Einarbeitung stabilisierender Zusatzmittel wie Kalk oder Zement, die das vorhandene Bodenwasser bei ihrer Umwandlung an sich binden (NPK 211.813).

Bei Schüttungen sollten folgende Grundsätze immer eingehalten werden (Byland 2013):

- Oberboden entfernen (A-Horizont)
- Ausführung nicht auf Schnee oder gefrorener Unterlage
- Stufen zur Verzahnung mit dem gewachsenen Untergrund
- Planumsgenauigkeit für den Trassenbau +/- 4cm, 4% Querneigung

Wird die Schüttung nur zu untergeordneten Zwecken erstellt (bspw. Geländeanpassungen), kann der Einbau auch durch ‚Transport auf Kippstelle Bauherr‘ (NPK 211.711) und anschliessender Böschungsplanie (NPK 211.621) erfolgen. Durch das fehlende Verdichten stellen sich dort immer Setzungen ein.



Weitere Informationen zu Schüttungen sind im Webdokument ‚Erläuterungen einiger geotechnischer Begriffe und Konzepte‘ auf [www.fobatec.ch](http://www.fobatec.ch) zu finden.

## Fundationsmaterial

Ein Fundament als Tragwerksteil des ganzen Bauwerks überträgt die Bauwerkseinwirkungen gleichmässig und deformationsfrei in den Baugrund. Gesteinskörnungen in der richtigen Zusammensetzung und Verdichtung können diese Zwecke erfüllen. Vorwiegend Strassen aber auch Sport- und Spielplätze werden so fundiert. Dabei müssen die Auflasten über lange Zeit kontinuierlich gestützt und verteilt werden. Das Zusammenwirken feiner und grober Bestandteile bestimmt dabei im Wesentlichen die Güte. Erreicht werden muss die Tragfähigkeit und bei aktueller, forstlicher Nutzungsweise auch die Frostsicherheit. Um die Wasserempfindlichkeit klein zu halten ist nach Norm die Einhaltung von maximal 3 Masse-% Feinanteil ( $<0.063\text{mm}$ ) vorgeschrieben.

Material nach SN 670 119 NA (siehe Kapitel Normierte, ungebundene Gemische ab Werk) erfüllen garantiert höhere Anforderungen bezüglich Tragfähigkeit und Frostsicherheit und sind aus qualitativen und mehr noch aus rechtlichen Gründen bei Asphaltbetonstrassen (Belagsstrassen) einzusetzen (NPK 221.111). Zudem bringen sie Vorteile in der Verarbeitung mit wie Homogenität und gute Verdichtungseigenschaften. Die Einzelkomponenten unterschiedlicher Korngrösse werden bei der Herstellung gezielt gemischt. Die Eigenschaften sporadisch geprüft. Sie sind als Primärmaterialien (natürliche Gesteinskörnungen) oder als Sekundärmaterialien (Recyclingbaustoffe) erhältlich. Zum Einsatz von Recyclingbaustoffen mehr im Kapitel ‚Einsatz von Recyclingbaustoffen im Wald‘.

Alternativ können auch nicht normierte Kiesgemische (Ungebundene Gemische nicht normiert (früher Kies ab Wand)) eingesetzt werden (NPK 221.112). Sie erfahren bei der Gewinnung häufig eine Siebung oder Aussortierung des Überkorns (zu grosse Komponenten) oder werden direkt eingesetzt. Die Eigenschaften sind entsprechend nicht homogen. Wasser- und Frostempfindlichkeit sind in der Regel höher und die Verarbeitung ist schwieriger. Schlecht zu vermeidende Hohlräume können zu Verlagerungen von Feinanteilen und Nachsetzungen führen. Für ungebundene Oberbauten ohne Winterbefahrung sind nicht normierte ungebundene Gemische jedoch häufig ausreichend. Sind Winteröffnungen vorgesehen, lohnt sich die vorgängige Prüfung der Frostsicherheit oder sicher die Durchsetzung von Fahrverboten in Tauphasen.

Bei der Handhabung der Gesteinskörnungen zu Fundationszwecken ist ein Entmischen der unterschiedlichen Korngrössen zu verhindern. Insbesondere Gesteinsmischungen in trockenem und nassem Zustand sind dafür anfällig. Daher sind folgende Punkte zu beachten:

- Abwurfhöhe minimieren
- Transportgeschwindigkeit anpassen
- Befeuchten
- Leiteinrichtungen benutzen
- keine Kegelschüttung
- Einbau vor Kopf mit Einbaugerät und nicht direkt gekippt (evtl. sogar Fertigeinbau)

Ebenso ist die Verschmutzung von Fundationsmaterialien zu verhindern. Daher ist das Befahren des Planums zu vermeiden und minimale Schichtstärken sind einzuhalten. Zur Trennung kann ein Geotextil sinnvoll sein. Es verhindert die Durchmischung und gleicht Stellen unterschiedlicher Tragfähigkeit im Planum etwas aus.

Schichtdicke für den Einbau	minimal doppelte maximale Korngrösse, maximal 50 cm (bei geeignetem Verdichtungsgerät)
Verdichtung	$ME \geq 100 \text{ MN/m}^2$ (Verkehrslastklasse T2); mehr siehe Kapitel Verdichten
Planiegenauigkeit	$\pm 10 \text{ mm}$

## Bettungsmaterial

Eine Bettung soll bei gleichmässiger Druckaufnahme Bauteile formschlüssig stützen und vor punktueller Druckbelastung schützen. Zudem soll es wasserdurchlässig und gegenüber der umgebenden Tragschicht filterstabil sein. Das heisst, eine Verlagerung in die Tragschicht sollte nicht möglich sein. Baustoffgemische, die in ihren Einzelkomponenten wesentlich kleiner als das zu bettende Bauteil sind, wirken formschlüssig und können punktuelle Lastzunahmen ausgleichen. Die Verwendung einer relativ engen Korngrössenverteilung ist förderlich. Der Feinanteil unter  $0.063\text{mm}$  soll 5 Masse-% nicht überschreiten und liegt in der Praxis häufig tiefer.

Beispiel zu stützender Bauteile sind Rohre, Platten, Pflastersteine und Formbetonteile wie Schächte oder Stufenelemente. Zum Einsatz gelangen meist industriell hergestellte, feine Körnungen 0/2 bis 0/8 und verschiedenste Zwischenstufen. Bei massigeren Bauteilen sind auch gröbere Körnungen einsetzbar.



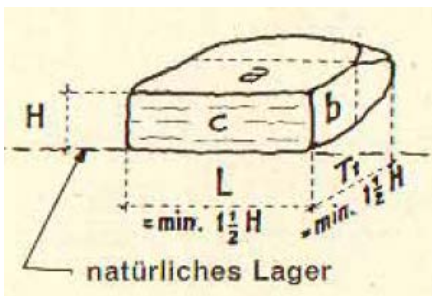


Abbildung 18 Bettung von Kabelschutzrohren in Sand 0/4

## Stützelemente

Stützelemente tragen äussere Einwirkungen über ihre innere, steife Struktur vorwiegend senkrecht in Fundamente und letztendlich in den Boden ab. Steine und Blöcke unterschiedlicher Grösse und im Verband (Mauern) haben eine hohe Dichte und sind form- und verwitterungsbeständig. Durch ihr hohes Eigengewicht sind sie bei entsprechender Form lagestabil, brauchen jedoch sicheren Baugrund. Sie können mit ihrem Schwergewicht oder als Teil eines Tragwerkes wirken und übertragen in der Regel Druckkräfte.

Forstlich werden Steine und Blöcke stützend im Strassenbau, im Rutschungs- und Bachverbau und im Lawinenverbau als Mauerwerksverband eingesetzt. Sie müssen eine statisch passende Form aufweisen. Die Bezeichnungen der Stein-/Blockflächen geschieht wie folgt (SUS, 2013):



### Steindimensionen

L Steinlänge  
 H Steinhöhe  
 T Steintiefe

### Steinflächen

a Lagerfläche (natürliches Lager)  
 b Stossfläche  
 c Sichtfläche (Haupt, Gesicht)

Abbildung 19 Bezeichnungen der Steinflächen (SUS 2013)

Es wird nach der Grösse zwischen Bruchstein- (max. 80cm, von Hand noch setzbar, grob behauen) und Blocksteinmauern unterschieden (Figi H, 2010). Beim Setzen im Verband ist vorwiegend Kraftschluss aber auch Formschluss wichtig. Daher sind Steine ohne weitere Bearbeitung nur selten geeignet. Eine möglichst genaue Ausschreibung und das Durchsetzen gleich bei der ersten Lieferung ist sehr wichtig. Angewandt werden dafür die Kapitel 181 oder 241 der Normpositionen.

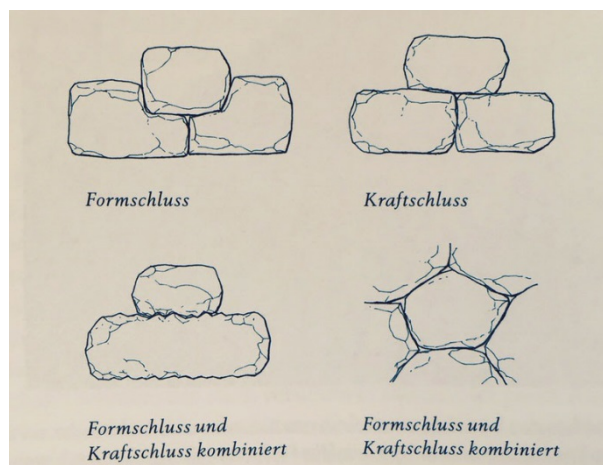


Abbildung 20 Im Mauerwerksverband werden nötiger Form- und Kraftschluss häufig erst durch Behauen der Steine erreicht (SUS 2013).



Je nach vorhandenen Steinen und Konzept werden unterschiedliche Bauweisen angewandt. Es wird grob unterschieden zwischen schichtartigem (durchgehende Lagerfugen), unregelmässigem und zyklischem (polygonales Gesicht) Mauerbild (SUS. 2013). Beim Versetzen geschichteter Steine ist auf die Ausrichtung der Schichtung zu achten (liegend).

## Hinterfüllungen

Im Terrain eingebundene Bauteile müssen nach dem Setzen (Fertigteile) oder dem Erstellen vor Ort hinterfüllt werden. In der Regel genügt dafür das vorhandene Aushubmaterial. Ein paar wenige Punkte sind dennoch zu beachten (SN 640 383A).

- Wasserstau an den Bauwerken sollte verhindert werden. Dafür soll sickerfähiges Material eingebracht werden (Geröll, Sickerplatten, etc.). Bei Verzicht sollte zumindest das Hinterfüllungsmaterial genügend sickerfähig sein (möglichst rollig). Steinpackungen sind bis zur Oberfläche zu führen.
- Punktueller Druck ist zu vermeiden. Steine oder Blöcke sollen nicht direkt in die Hinterfüllung gekippt, sondern sorgfältig mit Abstand hinterlegt werden.
- Die Verdichtung hinter den Bauwerken muss dem Hinterfüllungsmaterial entsprechend möglich sein. Das heisst Einbau in Schichten und mit geeignetem Verdichtungsgerät mit genügend Platz zur sicheren Bedienung der Verdichtungsgeräte (siehe auch Kapitel Verdichten).
- Die Schichtoberflächen sind zur Drainage hin geneigt.
- Die Hinterfüllung von Verbundkonstruktionen soll besonders sorgfältig verdichtet werden. Die gleichmässige Kraftübertragung auch langfristig ist das Ziel.

## Verschleisschichten / Deckschichten

Eine Fahrbahn erhält in den meisten Fällen eine Deck- oder Verschleisschicht. Sie soll einerseits der Trasse anforderungsgemäss Ebenheit verleihen, die Foundation schützen und je nach Fall ein Versickern des Fahrbahnwassers zulassen oder eben verhindern. SN 640 741 unterscheidet die Verschleisschichten oder Deckschichten ungebundener Oberbauten in tonige und kalkmergelige (ohne Versickerung, bis 12% Längsgefälle günstig in Bau, Erhalt und Rückbau) oder Kiesrasen (Versickerung, nur wenig belastete Strassen).

Recyclingbaustoffe als Verschleisschicht/Deckschicht sind nur noch in einzelnen Kantonen zulässig. Denn die kantonalen Vorgaben sind teilweise restriktiver, als die eidgenössischen. Gemäss gültiger Bundesrichtlinie darf aufbereitetes Asphaltgranulat in einer Stärke von 7cm ohne weitere Deckschicht, fachgerecht eingebaut werden. Recycling-Kiessand P (95%) und B (80%) sind ebenfalls als Deckschicht zulässig, häufig jedoch als solches wenig geeignet. Mehr zum Einsatz von Recyclingbaustoffen im Kapitel ‚Einsatz von Recyclingbaustoffen im Wald‘.



Tabelle 3 Vergleich der Deckschichten von ungebundenem Oberbau nach SN 640 741

	Tongebunden	Kalkmergelgebunden	Kiesrasen	(Asphaltgranulat)
Vorw. bind. Kräfte	Dipol-Dipol Kräfte, Wasserstoffbrücken, Van der Waal'sche Bindungen	Ionenbildung	Wurzelvebund	(Bituminös)
Einbaustärke	50 – 70 mm	50 – 70 mm	-	Max. 70 mm, fachger.
Körnung	0/16, 0/22 bindig	0/16, 0/22	0/63 (Oberfl. Brechen)	0/16 Dmax 22
Feinanteil (Masse % <0.063mm)	5 – 10 %	5 – 10 %	-	-
Erhalt	Ergänzung alle 10 bis 20 Jahre Winterdienst nur in Ausnahmefällen aber nie Schwarzräumung	Ergänzung alle 10 bis 20 Jahre Winterdienst nur in Ausnahmefällen aber nie Schwarzräumung	Reprofilierung alle 10 bis 20 Jahre mit Neuansaat Winterdienst nur in Ausnahmefällen aber nie Schwarzräumung	!?! Winterdienst nur in Ausnahmefällen aber nie Schwarzräumung
Spezielles	Abdichtend	(abdichtend)	Kein Oberbodenmaterial beimischen Befahren erst nach 3 Mt. Laub und Schnittgut entfernen	Verluste im Wald, Einbaubedingungen sind für den Erfolg sehr entscheidend (feucht, warm,

Eine kombinierte Tragdeckschicht ist im Forst sehr häufig anzutreffen. Dabei wird nicht normiertes Kiesgemisch in der erforderlichen Stärke eingebracht und verdichtet. Um oberflächlich genügend Ebenheit und Abdichtung zu erreichen wird vor der Endverdichtung häufig ca. 30 cm mobil gebrochen. Das Material braucht einen gewissen Feinanteil, damit es bindig reagiert, insbesondere oberflächennahe. Dies führt zum Konflikt mit der Stabilität gegenüber Frosteinwirkung. Daher ist das Befahren solcher Oberbauten in Tauphasen schlecht. Es kann beliebig verstärkt und nach erneutem Auftrag wieder gebrochen und reprofiliert werden. Vorteile sind die Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit (kurze Transportwege, kein ortsfremdes Material).

Übergänge unterschiedlicher Deckschichtmaterialien sind schadanfällig, da:

- Die Tragfähigkeit ändert
- Die Traktion ändert
- Es zu Ausschwemmung kommt

## Drainieren

Wasser muss in verschiedenen Situationen gesammelt und abgeleitet werden. So im Strassenbau, im Hangverbau und hinter Bauwerken. Um Wasser zu fassen und abzuleiten muss ein Material von hoher Durchlässigkeit an die wasserführenden Schichten angeschlossen werden. Man gibt bei Gesteinskörnungen die Durchlässigkeit als Geschwindigkeit an, als Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  [m/s]. In Bodenmaterialien sehen die Durchlässigkeiten wie in

Tabelle 4 aufgeführt aus. Bei Drainagen besteht die Gefahr, dass Feinanteile aus dem zu drainierenden Boden in die Poren des Sickermaterials geschwemmt werden. Der Strömungsdruck führt zu Verlagerungen und Kolmation. Besonders gefährdet sind feinkörnige, aber nicht bindige Böden wie Feinsande und Silte. Das Drainagemedium kann ebenso durch Ausfällungen von im Wasser gelösten Stoffen (Versinterung) an Durchlässigkeit verlieren. Gegen die Feinstoffverlagerung können Geotextilien der Funktion Trennen/Filtern (NPK 237 826) eingesetzt werden. Allerdings müssen das Geotextil und das Bodenmaterial, sowie die Fließgeschwindigkeit des Bodenwassers zusammenpassen. Häufig tritt eine Verschlammung am Geotextil selbst ein und fließendes Wasser sucht sich in der Folge einen Weg neben der Drainageeinrichtung.

Tabelle 4 gibt Hinweise zu geeigneten Öffnungsweiten der filternden Geotextilien.



Tabelle 4 Übliche Durchlässigkeitsbeiwerte und Bereich der Öffnungsweiten von Geotextilien in Anlehnung an SN 670 125a.

Lockergestein	k-Wert [m/s]	Öffnungsweiten Geotextil
Reiner Kies	$> 10^{-2}$	2.0 mm
Sandiger Kies	$10^{-2}$ bis $10^{-4}$	0.4 – 2.0 mm
Grobsand	um $10^{-3}$	0.4 – 1.0 mm
Mittelsand	$10^{-3}$ bis $10^{-4}$	0.4 – 1.0 mm
Feinsand	$10^{-4}$ bis $10^{-5}$	0.2 – 0.5 mm
Schluffiger Sand	$10^{-5}$ bis $10^{-7}$	0.2 – 0.5 mm
Schluff, je nach Tongehalt	$10^{-6}$ bis $10^{-8}$	0.2 – 1.0 mm
Ton	$10^{-8}$ bis $10^{-11}$	0.3 – 1.0 mm

} Grobkörniges Sickermaterial genügt, da bindig und wenig heikel

Zur Drainage eignen sich Gesteinskörnungen mit relativ grobkörniger Korngrößenverteilung besonders. Sie haben richtungsunabhängige Leitfähigkeit und sind filterstabil. Bei Drainage von verlagerungsheiklen Böden darf das Sickermaterial insgesamt nicht zu grobkörnig sein, da sonst eine Verlagerung in die Porenräume sehr leicht geschieht. Dennoch muss das Material frostsicher sein. Häufig eingesetzt werden natürliche Gesteinskörnungen 32/50 oder Betonkies 22/32 (NPK 237 812). Je nach Gegend und Geologie sind auch gute Erfahrungen mit Einsatz von Überkorn 140/400 vorhanden (siehe auch Dokumentationen Sickerpackung auf [www.fobatec.ch](http://www.fobatec.ch)). Diese müssen unbedingt genügend mächtig realisiert werden, da die grossen Porenräume im Randbereich zu Anfang mit angrenzendem Material eingeschwemmt werden.

## Abdichten

Immer wieder entstehen Bedürfnisse gegen Wasser abzudichten. Sei es in Brunnenstuben, im Teichbau oder bei der Entwässerung an Sickerleitungen und Grabenabdichtungen. Zur gewünschten Abdichtung können die richtig gewählten Gesteinskörnungen eine naturnahe Lösung bieten. Je tiefer der Porenanteil in Gesteinskörnungen ist, umso schlechter durchlässig ist das Material. Somit bietet Ton den gewünschten, abdichtenden Effekt. Tonprodukte sind in Pulverform oder als plastische Masse erhältlich und bestehen meistens aus einem Gemisch von verschiedenen Mineralien. In der Bautechnik wird häufig Bentonit, ein Tonmineralienmischung mit vorwiegendem Anteil an Montmorillonit eingesetzt. Dieses Mineral bewirkt die starke Wasseraufnahmefähigkeit und Quellsfähigkeit von Bentonit. Als Suspension dient es zur Stützung von Bohrloch- und Schlitzwänden im Spezialtiefbau. Als Pulver in Geotextilien eingearbeitet bietet es abdichtende Wirkung im Teich- und Deponiebau aber auch für Grabenabdichtungen und den Schutz vor Hangwasser bei Wegtrassen. Tonziegel vor dem Brennen können als plastische Dichtmasse in Ziegeleien bezogen und anschliessend bei passender Feuchtigkeit bearbeitet und eingebaut werden.



# Gewinnung, Aufbereitung und Verbesserung von Gesteinskörnungen (Primärmaterialien), Jacques Grob

## Gewinnung

### Rechtliche Voraussetzungen

Der Abbau von Steinen und Erden ist unter verschiedenen Gesetzen bewilligungspflichtig. Man muss dabei von einem speziellen, komplexen Bewilligungsverfahren sprechen, auf welches wir nicht in Einzelheiten eingehen können. Es gibt auch Unterschiede in den Verfahren zwischen den Kantonen. Man kann aber dennoch ein paar grundsätzliche Elemente bezeichnen:

- Als erste Stufe muss eine Abbaustelle raumplanerisch ausgeschieden werden, d.h. **in den kantonalen Richtplan** eingetragen werden. Das ist der politische Entscheid, dass ein bestimmtes Gebiet für den Abbau von Rohstoffen geeignet und vorgesehen ist.
- Als zweite Stufe ist eine raumplanerische **Nutzungsplanung** notwendig (Kantons- oder Gemeindeebene). Diese ist dann in der Fläche, Tiefe, Gestaltung, Etappierung, Erschliessung usw. verbindlich und stellt das Pendant zur Bauzone gleich überlagert mit einem Überbauungs- und/oder Gestaltungsplan.
- Als dritte Stufe folgt dann das **Baubewilligungsverfahren**, in welchem die technischen Details und die Bauten und Anlagen bewilligt werden. Dieses Verfahren kann je nach Kanton mit der zweiten Stufe verbunden werden, wenn die Nutzungsplanung gleich alle Details schon regelt.
- **Ab einer bestimmten Grösse** unterstehen die Abbauvorhaben der Umweltverträglichkeitsprüfungspflicht (**UVP Pflicht**). Die UVP kann mehrstufig auf allen drei Stufen erfolgen, der Schwerpunkt liegt aber in jedem Fall im Baubewilligungsverfahren, wenn alle Details, welche Emissionen bewirken bekannt sind.

Für die heutige Tagung muss das genügen, das Verfahren ist in der Regel zu komplex und zu langwierig, als dass es im Zusammenhang mit einem konkreten Bauvorhaben durchgeführt werden kann. Von Bedeutung ist hier der zweite Weg, **die Nutzung von Steinen und Erden im Rahmen eines Bauprojektes**.

In einem Bauprojekt kann ein Abbau im gleichen **Bewilligungsverfahren integriert** werden, sei es, dass das anfallende Aushubmaterial aufbereitet und verwendet wird oder auch, dass geeignetes Material sonst wo gewonnen wird. Einen Hügel oder eine Böschung abtragen, eine Mulde ausheben und mit schlechtem Material füllen, Geländeverbesserungen für die Landwirtschaft, auch Aufbereitungsplätze und temporäre Anlagen sind möglich, Bedingung ist aber:

- dass alle diese Vorhaben im Baubewilligungsverfahren und der Projektierung enthalten sind,
- dass sie für das Bauobjekt notwendig bzw. begründbar sind auch bezüglich der Materialbilanz
- und dass nach dem Abschluss der Baustelle Abbaustellen und Auffüllungen eingestellt werden.

### Lockergesteine (Primärmaterialien)

Darunter fallen die beliebten, sauberen und oft schon vorklassierten Flussablagerungen als Schotterfelder und das Geschiebe von Flüssen und Bächen. Bei den Schotterfeldern gibt es auch Zonen, wo nur Feinmaterial liegt, Stillwassersedimente, diese sind oft so fein, dass sie nicht verwendet werden können.

Mehr Aufwand bereiten die Moränen wegen dem höheren Feinanteil und der starken Verdichtung, oft auch grossen Blöcken. Zu dieser Gruppe zählen kann man auch die Rufen und die Bergsturzegebiete, das ist dann aber bereits der Übergang zu den Festgesteinen. Wir sprechen hier vorwiegend von Lockergesteinen des C-Horizontes. Eine Aufbereitung des verwitterten B-Horizontes birgt höheren Aufwand und höheres Risiko. Einerseits hat die Qualität der Kornfraktionen schon unter der Verwitterung gelitten. Andererseits sind organische Einträge hoch und müssen abgeschieden werden. Mehr zum Charakter der in der Schweiz vorkommenden Lockergesteine im entsprechenden Kapitel ‚Häufige, in der Schweiz vorkommende Lockergesteinszusammensetzungen‘.

Der Abbau geschieht je nach Abbaubarkeit mit Radladern, Bulldozern, oder Hydraulikbaggern. Bei Nassgewinnung aus Flüssen, Seen und Grundwasser werden Schwimmbagger oder Eimerkettenbagger eingesetzt. Die Auflockerung beträgt bei Feinsand 1.1 und bei Kies 1.25.

### Gebrochene Festgesteine

Bei den Festgesteinen muss man aus abbautechnischer Sicht unterscheiden zwischen den schwachverfestigten Gesteinen, und den eigentlichen Felsgesteinen. Hier müssen wir einen Blick zurückwerfen in die ganz frühe Geologie, also in die Entstehung der Erdkruste. Die Erde war eine glühende Kugel, welche abgekühlt und damit aussen erstarrt ist. Die Erdkruste wurde durch tektonische Verschiebungen aufgetürmt, aus dem Innern kam flüssige Lava an die Oberfläche, so bildeten sich Gebirge der verschiedensten Formen. Diese Urgebirge bestanden alle aus erkalteter Lava, man sagt diesen Gesteinen Primärgesteine oder kristalline Gesteine. (kristallisiert durch Abkühlung, Granite, Basalte usw.). Man sagt, die Urgebirge könnten 15'000 oder mehr Meter hoch gewesen sein, aber sicher ist, dass sie durch Erosion abgetragen wurden, es gab Schotterfelder in Meere und Seen.

Über die Jahrmillionen verfestigten sich diese Ablagerungen unter dem hohen Überlagerungsdruck und der Einlagerung von Kalk zu neuen Festgesteinen, die einen stärker, die andern weniger. Aus den feinen, stark verfestigten Ablagerungen wurde die Kalkalpen der Voralpen, Alpstein, Churfürsten, Mythen, Pilatus, Thuner/Brienzersee, oberer Genfersee und der Jurabogen. Die groben stark verfestigten sind die Nagelfluh nördlich davon, Kronberg, Stockberg, Speer, Rigi, Napf.



Nochmals nördlich davon liegen die weniger verfestigten Schichten, weil weniger alt und weniger stark überlagert, als Nagelfluh ein breites Band bis ins Mittelland, mächtig von St. Gallen bis Zürich, Wilkethöhe, Tweralspitz, Hörnli, Bachtel, eingelagert oder daneben, darüber, darunter dann aber oft weiche Sandsteine und Mergel. Sandsteine noch als gut bearbeitbare Steine in historischen Gebäuden (Fribourg, Bern, Zürich, St. Gallen) unter der Umweltbelastung der heutigen Zeit aber nicht sehr langlebig.

Wir haben also nebst den Primärgesteinen, den kristallinen Gesteinen eine riesige Menge von Recyclinggebirgen, welche schon einmal einen geologischen Kreislauf hinter sich haben. Die heutigen Lockermaterialien (Schotter, Moränen), also die Ablagerungen der letzten Eiszeiten sind eine Mischung von Erosionsmaterial von primären und sekundären Gebirgen, je nach Lagerort und Herkunft in unterschiedlicher Zusammensetzung. Man nennt jeweils den Anteil an kristallinen Gesteinen.

Nach diesem Exkurs wieder zum handfesten Abbau. Mit was von all dem müssen wir uns in Zukunft vor allem herumschlagen? Die nutzbaren Lockermaterialien in unserem Land sind entweder überbaut oder neigen sich dem Ende zu. Also gehört die Zukunft dem Festgestein. Der Mittellandgürtel als wichtigster Absatzmarkt liegt auf der schwach verfestigten Molasse, wie Nagelfluh und Mergel. Das qualitativ problemvolle Material liegt also am nächsten beim Markt. Das ist die Herausforderung, das passt gut zum Tagungsthema. Auch wenn man im Güterstrassenbau oft auf gutes Gestein stösst, ist es meistens schwierig, etwas daraus zu machen wegen der beschränkten Möglichkeiten bei ‚kleinen‘ Mengen und engen Platzverhältnissen.

Unter gebrochenen Festgesteinen wird der Rohstoff (Schotter, Kies, Splitt) verstanden, der künstlich, durch Abbau und Zerkleinerung von Fels entsteht. Mit wenigen Ausnahmen (Konglomerate) kennzeichnen sich gebrochene Festgesteine durch überwiegend scharfkantige Komponenten mit wenig Rundflächen. Die Gewinnung erfolgt vor allem im Tagbau, auch wenn der Untertageabbau immer mehr an Bedeutung gewinnt (z.B. Schollberg, Fläsch, Lünten). Die Abbaubarkeit hängt wesentlich von der Gesteinshärte und vom Zerklüftungsgrad (Abstand der Trennflächen) ab. Daneben entscheiden im Weiteren die Umgebung, die hydrogeologischen Verhältnisse und die Weiterverwendung des abgebauten Materials über die Abbaumethode. Sie reichen vom leistungsfähigen Bagger mit Ripperzahn bis zur Abschlagssprengung. Für einen allfälligen Transport oder die Lagerung interessiert noch der Auflockerungsgrad. Nach Norm spricht man von Werten zwischen 1.5 und 1.85, je nach Abbaumethode. Anschliessend wird das Material im Brecher zerkleinert, danach sortiert und entstaubt. Mehr dazu im Kapitel Brechen.

Abhängig von der Petrographie bzw. der Druckfestigkeit des unebrochenen Festgesteins wird zwischen Hartgesteinen und mittelharten Gesteinen unterschieden. Bei den Hartgesteinen handelt es sich vorwiegend um Kieselkalke die am Nordrand der Alpen verbreitet sind. Gebrochene Hartgesteine finden insbesondere als Bahnschotter Verwendung, werden aber auch im Strassenbau als Fundationsmaterial, in Tragschichten, für Beläge oder als Betonzuschlag eingesetzt. Im Vergleich zu Rundmaterialien ergeben gebrochene Hartgesteine i.d.R. eine bessere Tragfähigkeit und Abriebfestigkeit.

Bei forstlichen Bauten haben der Abbau und die Verwendung von Festgestein nur im Rahmen von Bauprojekten eine Bedeutung. Zum Bau oder Ausbau von Forststrassen kann Felsabbau nötig sein und ist in der Regel günstiger und nachhaltiger als die Umfahrung mit teuren Kunstbauten. Für die Ausschreibung der Arbeiten ist neben Angabe der Kubatur auch die Abbaubarkeit und Weiterverwendung zu beschreiben. Das entsprechende NPK Kapitel 211.323 unterscheidet

- Fels leicht (Kompressorspaten),
- Fels schwer (Kompressorspitzeisen, Abbauhammer),
- Ripperfels (Bulldozer horizontales Aufreissen),
- alle Felsarten (hydraulischer Presse, Expansionszement, und
- Sprengfels (Abbauhöhe, Sprengstoffmenge pro Zündstufe)



Abbildung 21 Abbau durch sprengen (links) und Zerkleinerung des Materials mittels Brecher (rechts)

## Ausgewählte Problemfelder bei Gesteinsbaustoffen

Es gibt ein paar Problemfelder, welche man bei der Verwendung von Gesteinen kennen muss, um nicht grobe Fehler zu begehen.



## Weichgesteine

Weichgesteine sind mürbe, verwitterte Gesteinskörner in Kiesgemischen, welche nicht frostbeständig sind. Sie kommen meist aus den **Mergel- und Sandsteinschichten**. Zudem gehören die Binderteile der leicht verfestigten **Nagelfluh** zu diesen. Sie können Wasser aufnehmen und zerfallen dann im Frost. Das kann Probleme geben im Kieskoffer sicher aber im Betonverbund an der Oberfläche. Dort entstehen kraterförmige Abplatzungen in den Betonoberflächen, welche oft bis zu den Armierungseisen reichen. Aus diesem Umstand folgt die Forderung, dass der Armierungsabstand von der Oberfläche grösser als das Grösstkorn sein muss.

In diesem Zusammenhang ist gut zu wissen, dass ein Betonkorn im Recycling nur etwa 1/3 der Festigkeit aufweist wie ein guter Naturstein. Man kann also mit Recyclingbeton nicht jede Betonqualität erzielen. Es wird niemand eine Brücke mit Recyclingbeton bauen wollen.

## Kristalline Gesteine

Kristalline Gesteine können hohe Gehalte an Schwermetallen haben oder gar radioaktiv strahlen. Im Gneis des Aare Massives am Grimsel ist soviel Uran enthalten, dass man die Atom-Kraftwerke der Schweiz über Generationen damit versorgen könnte, man müsste nur bereit sein, das Grimselgebiet grosszügig umzupflügen. Solches Gestein ist nicht sehr geeignet für Wohnräume.

Kristalline Gesteine können auch Bestandteile enthalten, welche nicht mit Zement binden können oder gar quellen, z.B. **Glimmer**. Die Autobahnbrücken der A2 im Tessin wurden mit Kies vom Rafzerfeld betoniert, weil im Tessin fast nur ungeeignetes Gestein vorhanden ist.

## Hyroskopische Gesteine

Gesteine können porös sein, sodass sie unkontrolliert Wasser aufnehmen. Das ist nicht nur bei **Lava oder Schlacken** der Fall sondern auch bei **weichen Kalken**, die hellen fast weissen Schrottenkalke und Kalke des Jura, zum Angreifen oft rau wie Korallen. Das ist vor allem ein Problem bei der Betonproduktion, wenn die Gesteine laufend Wasser aufnehmen. Immer wieder ist der Beton zu trocken und man sollte Wasser einmischen können. So ist dann auch der WZ-Wert nicht kontrollierbar.

## Reaktive Gesteine

Es gibt Gesteine, welche schädigende Reaktionen im Betonverbund erzeugen. Bekannt geworden sind die wichtigsten unter den Namen „Betonkrebs“ oder fachlich besser

- AAR = Alkali Aggregat Reaktion
- ASR = Alkali Silicat Reaktion
- AKR = Alkali Kieselsäure Reaktion

Es geht einfach gesagt darum, dass überschüssige freie Alkalien in der Betonmischung mit Kieselsäure reagieren. Es entstehen Ausblühungen von Löschkalk, Quarz, Calciumsilikaten usw, welche das Betongefüge zerstören.

Die meisten Gesteine der Schweiz sind potentiell reaktiv, das ist die mittlere Klasse, nicht gefahrlos, auch nicht sehr reaktiv. Bei diesen Gesteinen kann man trotzdem AAR beständigen Beton herstellen, wenn man alkaliarmen Zement verwendet, also den Anteil an Portlandzement reduziert. Heute braucht man deshalb kaum mehr reinen Portlandzement (Cem I).

Für uns ist noch wichtig zu wissen, dass die Schädigungen vor allem im Tiefbau auftreten bei dauernd feuchten Bauteilen, Stützmauern und Tunnels mit Bergwässern. Wenn man also bei einer Waldstrasse noch eine kleine Flügelmauer betonieren muss, dafür gleich den Fels von nebenan aufbereitet, Sackzement holt und das dann Cem I ist, kann man in die AAR Falle tappen.

Es gibt hoch reaktive Gesteine (Opalsandsteine, Flint, Grauwacke), welche in der Schweiz eher selten sind. Die extremen Beispiele sind eine Brücke bei Lübeck, welche in den 60er Jahren nach 2 Jahren wieder abgebrochen werden musste, tausende km Eisenbahnschwellen in Deutschland, welche gewechselt werden mussten, oder Betonfahrbahnen welche in neuerer Zeit in wenigen Jahren wieder sanierungsbedürftig wurden.

Denken wir auch daran, dass Recyclinggranulat aus Beton schon Zement enthält und mit der neuen Mischung sich der Zementgehalt kumuliert, also 2x freie Alkalien zusammenkommen und damit das AAR Risiko hoch wird. Betonrecycling hat bei gefährdeten Bauteilen nichts zu suchen.

## Organische Verunreinigung

Gesteinskörnungen können vom Oberboden und von Bestockungen organische Bestandteile enthalten. Diese können das Abbindeverhalten von Beton beeinflussen. Wenn z.B. ein LKW Fahrer die Ladebrücke auf dem Betonwaschplatz von Humus reinigt, bindet vielleicht der Beton wegen dem Recyclingwasser nicht mehr ab.

## Aufbereitung und Verbesserung

Es gibt verschiedene Prozesse, um die Gesteinskörnungen für die entsprechende Verwendung herzurichten. Am längsten bekannt ist sicher das Sortieren verschiedener Steingrössen als Bausteine oder für Pflasterungen oder das einfache Sieben, um den Sand zur Mörtelmischung mit Kalk und später Zement zu gewinnen. In Kieswerken sieht die stationäre Aufbereitung gemäss Abbildung 22 aus. Für forstliche Projekte kommen häufig mobile Verfahren zur Anwendung.

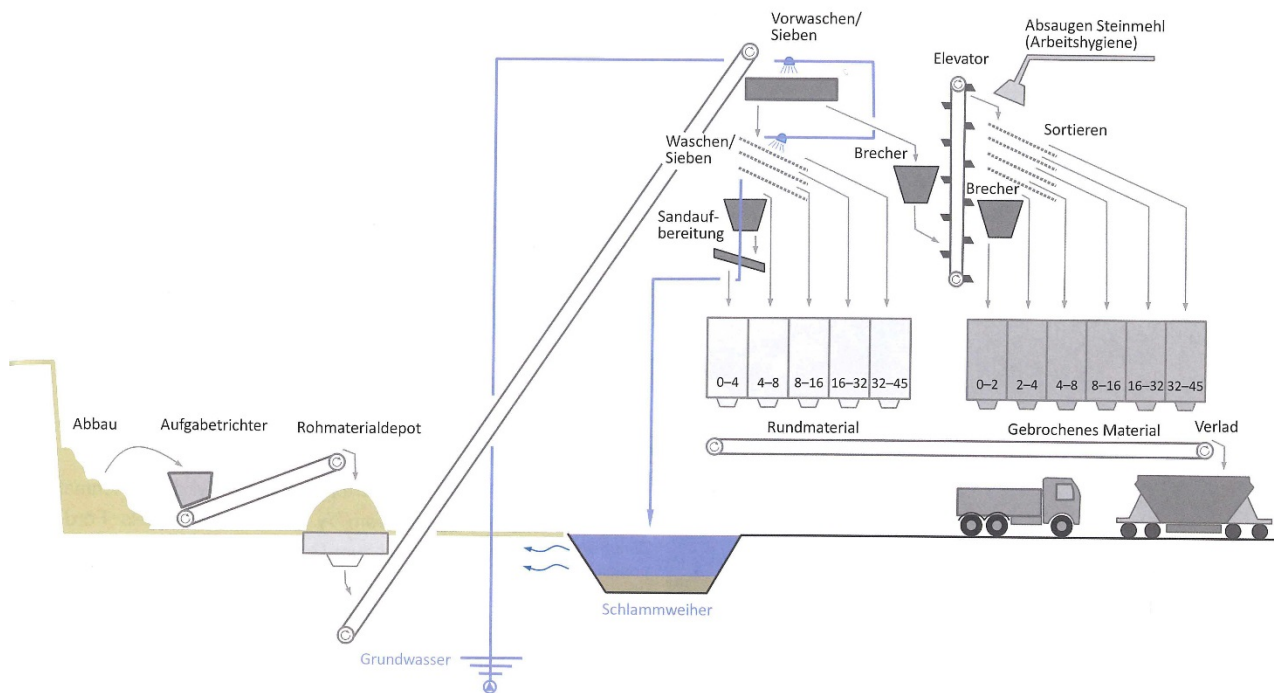


Abbildung 22 Schematische Aufbereitungsschritte eines Kieswerks (Quelle: Schuler 2018; die baustellen, 06/2018)

## Sieben

Durch Sieben will man erreichen, dass man Gesteinssorten in eng begrenzten Bandbreiten erhält, z.B. nur die feinen als Sande, feine Kiesel für Filter, größere als Sickerkies usw.

Mengenmässig wichtiger ist aber, dass man durch sieben Gesteinskörnungen in Teilfraktionen zerlegen kann, um diese danach wieder zusammensetzen. Die Mischungen, welche die Natur von Flüssen und Gletschern hinterlässt sind durch zufällige Fliess- und Schiebe-Bedingungen entstanden und sind recht unterschiedlich. Für die Herstellung von qualitativ guten Baustoffen brauchen wir aber einerseits eine stabile Zusammensetzung mit nur kleinen Schwankungen und andererseits einen stetigen Kornaufbau.

Einfach gesagt muss das **Korngemisch möglichst viel Masse enthalten, also möglichst wenig Hohlräume aufweisen**, aber noch Raum haben für das Bindemittel. In der Betontechnologie geht man soweit, dass man nebst der richtigen Sandkurve noch den Hohlraumgehalt im Sand zu optimieren versucht, damit der Zementleim entsprechend dem Zementgehalt diese gerade füllen kann aber nicht zu wenig Hohlräume vorhanden sind, weil der Zementleim selbst nicht so hart wird wie ein Gestein.

Die **üblichen vier Sorten**, welche man zu diesem Zweck aussiebt sind **0-4mm, 4-8mm, 8-16mm 16-32mm**, je nach Anwendung gibt es aber noch Zwischensiebe. Sieben kann man trocken und nass, wobei klebriges Material und feine Sande dem Trockenverfahren Grenzen setzen.

Die gleichen Eigenschaften von Mischungen gewährleisten auch die beste Verdichtbarkeit, Setzungsempfindlichkeit, Frostbeständigkeit und genügende Wasserdurchlässigkeit. Die notwendige Steuerung der Zusammensetzung kann also oft schon mit Sieben erreicht werden. Forstlich werden im Rahmen von Bauprojekten einfache Einrichtungen zum Sieben vor Ort eingesetzt (siehe Abbildung 23).





Abbildung 23 Einfache, mit dem Bagger beschickbare Siebeinrichtung zum Sieben vor Ort.

## Waschen

Waschen hat wie erwähnt erstens den Zweck, organische und andere Verunreinigungen abzuscheiden. Beim Waschen müssen aber auch die Feinstbestandteile in Suspension gebracht werden, damit sie im Wasser bei einem bestimmten Trennschnitt abgeschieden werden können. Die Feinstbestandteile müssen ja weg, was mit sieben allein oft nicht möglich ist, damit das Bindemittel an deren Stelle die Hohlräume ausfüllen können. Die Normen bestimmen ja auch einen Höchst- (und Mindest)gehalt an Mehlkorn.

Zweitens sind Feinstbestandteile auch oft als Knollen gebunden. Solche müssen im Waschprozess aufgelöst werden. Lehmknollen gehen beim anschließenden Sieben wie Steine durch die Maschen, im Betonverbund führen sie dann zu Schäden. Wenn man Abplatzer hat an einer Betonoberfläche kann man meist noch feststellen, ob es ein Weichgestein war oder ein Lehmknollen. Bei Weichgesteinen setzen die Normen enge Toleranzgrenzen, für Lehmknollen gibt es Null-Toleranz.

Ein drittes Ziel des Waschens ist das Entfernen von Krusten von den Körnern. Das Bindemittel muss an den Gesteinskörnern einzeln anhaften können. Wenn an den Gesteinskörnern, vor allem den gröberen eine Kruste von Mehlkorn/Feinsand anhaftet, kann das Bindemittel keine Verbindung mit dem Stein eingehen. Beim Beton findet ja ein fortwährender chemischer Prozess zwischen Gestein und Zement statt, für diesen braucht es gute Kontaktflächen zu den Steinen.

Nach dem Waschen kann dann problemlos gesiebt werden, um die richtigen Mischungen herstellen zu können.

Kies waschen gibt Abwasser, welches aufbereitet werden muss:

- Sand entziehen und entwässern
- Schlamm ausfällen und eindicken
- Wasserrecycling

Das ist ein erheblicher Maschinenaufwand mit entsprechend hohen Kosten, das setzt der mobilen Aufbereitung Grenzen und wird forstlich nicht angewendet.

## Brechen

Bei der Produktion von Gesteinsbaustoffen gibt es einen Überschuss an zu grossen Steinen. Über 60% des Bedarfs geht in die Betonproduktion, etwa 20% in den Asphalt, für beides sind hauptsächlich die Korngrößen bis 32mm von Bedeutung, für einzelne Produkte gar noch feiner. Es muss also viel zerkleinert werden, nicht nur im Felsabbau, sondern auch bei den Lockermaterialien aus Schotterfeldern und Moränen.

Das Ziel ist also, zu grosse Steine in die gefragten Korngrößen zu bringen. Es gibt dabei verschiedene Brechertypen, welche wir hier nicht einzeln durchbesprechen können. Dennoch ein paar wichtige Merkmale und Unterschiede:

Der wohl älteste Brechertyp ist der 1858 in Amerika erfundene **Backenbrecher**, der noch heute sehr beliebt ist. Davon gab es schon früh mobile Brechanlagen, weil sie wirtschaftlich sind, d.h. eine hohe Leistung bei geringem Kraftbedarf und wenig Verschleiss. Die Steine werden zwischen zwei Stahlplatten zerquetscht, dank der grossen Schwungmasse arbeitet ein Backenbrecher auch grosse Brocken kontinuierlich ab.

Nachteile: Sie sind schwer und haben einen Zerkleinerungsgrad von höchstens 6:1. Wenn man also einen Brocken von 1m Kantenlänge aufgibt kommt ein Kies heraus theoretisch 0 – 160mm praktisch mit Steinen bis zu 200mm. Das ist so kaum verwendbar, es braucht also einen zweiten Brechdurchgang.

Der wohl grösste Nachteil ist aber bei allen quetschenden, drückenden oder reibenden Brechmethoden die Kornform, es entstehen viele spitze, lange, plattige Körner. Diese sind schlecht zu verdichten, im Kieskoffer, im Belag und im Beton.



Abbildung 24 Raupenmobiler Backenbrecher mit Vorsieb, das die Abscheidung von Feinanteil vor dem Brechvorgang ermöglicht (GIPO AG).

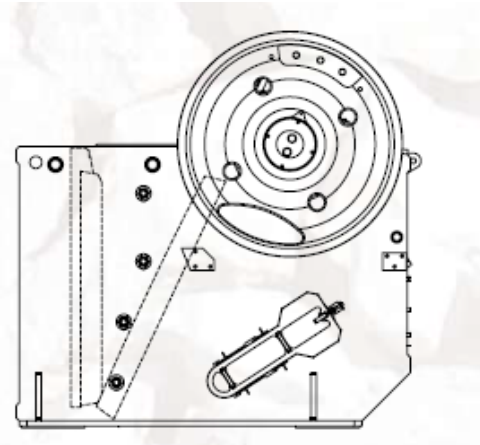


Abbildung 25 Schema eines Backenbrechers mit einer festen Backe und der Brechschwinge (GIPO AG).

Die zweite wichtige Brecherart, sozusagen das Gegenstück, sind die **Prallmühlen**, Schlagbrecher, Hammermühlen oder wie man sie noch nennen kann, verschiedene Unterarten mit der Eigenschaft, dass die Steine durch Aufprall oder Schlag zerkleinert werden, dabei zerfallen sie entlang den natürlichen Adern oder Schichten und so entsteht ein kubisches Material, beste Qualität, so wie es die Normen vorschreiben. Das Material wird auf einen schnell drehenden Rotor mit Manganstahlhämmern geleitet, durch den Aufprall wird es an die ebenfalls mit Manganstahl verkleideten Prallwände geleitet, bis es klein genug ist, um die Brechkammer verlassen zu können. Mit einem Prallbrecher kann man einen Zerkleinerungsgrad von 1:50 erreichen, also ein Durchgang für das Endprodukt, steuerbar über den Aufprallwinkel, den Abstand zwischen Rotor und Prallwänden und die Rotorgeschwindigkeit. Ideal auch für das Recycling wegen den vielen Einstellmöglichkeiten, der Gutmütigkeit und dem guten Ablösen von Beton von den Armierungseisen. Nachteile: Hoher Verschleiss an Manganstahl, hoher Energiebedarf durch dauernd schnelle Rotation, Gesamtkosten trotz geringerer Investition 3 – 5 x höher als 2-stufig mit Backenbrecher.



Abbildung 26 Raupenmobiler Prallbrecher mit mehreren Ausgabebändern für die verschiedenen Gesteinskörnungen (GIPO AG).

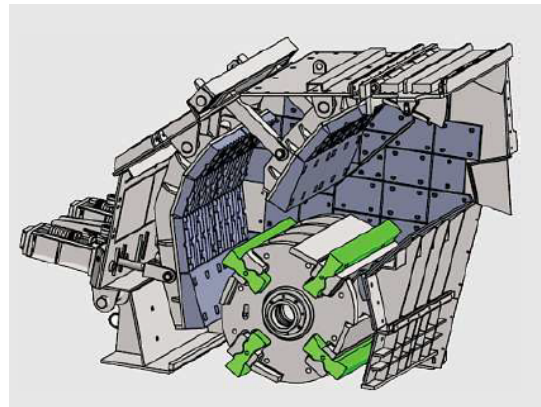


Abbildung 27 Prallbrecher Systemskizze mit Schlagleisten (grün) am Rotor und Prallplatten (grau), die gemeinsam die hauptsächlichen Verschleisssteile bilden (GIPO AG).

Heutige Anwendungstendenzen:

- Quetschende Brechmethoden: günstiger Vorbruch ohne Qualitätsansprüche, Sandherstellung mit Walzenbrechern
- Schlagende Brechmethoden: normgerechte Endprodukte, Bauschuttrecycling

Brechprodukte sind schwieriger zu verdichten, wenn sie aber verdichtet sind, ist das Gefüge stabiler. Die gebrochenen Körner verkeilen sich gegenüber den runden, welche eher wie Kugellager wirken. Das führte zu folgender Entwicklung:

- Bei Asphalt Belägen werden fast ausschliesslich Brechprodukte angewendet werden. Mit dem elastischen, schmierigen Bindemittel und den relativ dünnen Einbauschichten ist eine gute Verdichtung möglich und das verkeilen verhindert, dass sich die Beläge auswalzen lassen.

- Beim Beton sind runde Körnungen beliebter, der Beton lässt sich leicht verdichten. Es gibt aber nur wenige Kieswerke, welche ganz ohne Brechanteile auskommen. Bis etwa 30% ist das auch kaum spürbar. Bei rein gebrochenem Material muss mit deutlich höherem Verdichtungsaufwand gerechnet werden, mehr Vibronadeln, mehr Personal, systematisch einstechen, es wird hier nichts geschenkt.
- Bei ungebundenen Anwendungen haben sich Mischungen gut bewährt. Bei rein gebrochenem Material, wenn dieses dann noch grobkörnig ist, also viele Hohlräume hinterlässt, kann es zu Spätsetzungen kommen, weil auch in einem Strassenkörper der Bahnschottereffekt, dh. Kantenbruch und Abrieb, wirken kann.

In einzelnen Fällen kann es sich aufdrängen, dass Brechprodukte noch gewaschen werden. Nach dem Brechen folgt dann auch das Sieben nach den gleichen Kriterien wie vorher erwähnt.

Brechen wird im forstlichen Strassenbau häufig auch mit **traktorbetriebenen Steinbrechern** unmittelbar vor Ort durchgeführt. Dabei geht es nur um eine Zerkleinerung der grossen Bestandteile und das Vermischen, je nach Modell um das Planieren und Vorverdichten. Ein Aussortieren oder Sieben ist nicht möglich. Die Bearbeitungstiefe reicht in der Regel nicht über 40 cm. Verdichtete Schichten müssen in jedem Fall zuerst aufgerissen werden (Ripper). Häufig wird das Verfahren eingesetzt zur Ergänzung und Verstärkung von Trag- und Verschleisschichten ungebundener Oberbauten. Dabei kann vorhandenes Material bis ca. 0/400 vorgelegt und anschliessend gebrochen werden. Mit mehreren Durchgängen kann eine Verschleisschicht gebildet werden. Kalkgesteine oder genügend Feinanteil enthaltende Gesteinskörnungen (bspw. Moränen) zur Bindung sind zur oberflächlichen Abbindung besonders geeignet. Die ideale Materialfeuchtigkeit ist zum Brechen (eher feuchter gegen Staubverluste) und zur optimalen Verdichtung nicht dieselbe. Zudem fehlen häufig ideale Verdichtungsgeräte. Daher ist es sinnvoll, mit der Verkehrsfreigabe bis zum vollständigen Abtrocknen nach den nächsten Niederschlägen zu warten. Ebenso kann es nach der ersten Frostperiode noch vermehrt zu Nachsetzungen kommen. Dies zeigt, dass diese Methode bezüglich Frosteinwirkungen heikel ist.

Zur Befestigung bei Neubauten ist die Methode sehr stark vom Untergrund und von den vorhandenen Materialquellen abhängig. Zonen von schlechter Tragfähigkeit müssen vorgängig erkannt werden und durch tiefgründigeren Materialersatz vorbereitet werden.



Abbildung 28 Vorgelegtes Kalkgestein wird traktormobil gebrochen. Am Frontkraftheber ist der Ripper angehängt (PTH gmbH).



Abbildung 29 Das Resultat nach einem Brechdurchgang (PTH gmbH).



Abbildung 30 Ein Kübelbrecher, der bei sehr entlegenen und kleinen Baustellen sinnvoll sein kann (bap Ing.).



## Binden

Ich habe schon mehrmals über Bindemittel gesprochen, weil ja der grösste Teil der Gesteinsbaustoffe gebunden verwendet wird. Jetzt müssen wir schon noch etwas Übersicht in diesem Bereich schaffen, auch wieder sehr vereinfachend, aber so dass für unser Tagungsthema die wichtigen Anwendungen verstanden werden.

Vermutlich sind die ältesten Bindemittel irgendwelche Naturprodukte, welche die Menschen als Kleber verwendet haben. Mist von Tieren ermöglichte Steine besser zu Mauern aufeinanderzuschichten und Mist mit Sand vermischt gab schon früh ein Abrieb für solche Mauern. Dann gab es in der Natur verschiedene Harze, welche man zum Kleben verwenden konnte. In diese Kategorie gehen heute die **Bitumen** als breit angewendete Bindemittel für Gesteinsbaustoffe. Sie gehen mit den Gesteinskörnungen nicht eine chemische Verbindung ein sondern bleiben als dauerelastische Kleber in den Zwischenräumen, sind dafür verantwortlich, dass sie ihre Haftfähigkeit möglichst lange Zeit behalten.

Durch erwärmen steigt ihre Elastizität und die Haftfähigkeit, d.h. beim Recycling wird das Bindemittel wieder reaktiviert. Wie stark ist die grosse Unbekannte und Herausforderung beim Recycling, es kommen ja verschiedene Bindemittel aus verschiedenen Zeiten zusammen, deren Herkunft man nicht mehr kennt. Wenn man nun zu viel neues Bindemittel beigibt, es geht da um 5 – 7% in der Summe, wird der Strassenbelag zu weich, vor allem in der Sommerhitze, wird von den Fahrzeugen ausgewalzt, dann entstehen die Spurrinnen und das Wellblech in Steigungen vom Beschleunigen und Bremsen.

Man beschränkte anfänglich den Recyclinganteil auf etwa 30% in einer Kaltzugabe, mit der Paralleltrommeltechnik kann man das Altasphaltgranulat gezielt aufwärmen, damit sich das alte und das neue Bindemittel teilweise mischen können, so kann man 50 – 60% begeben. Bei den neusten Anlagen will man gegen 100% gehen, wobei man immer irgendwelche Korrekturen und Steuerungen am Bindemittel und allenfalls am Mehlkornanteil vornehmen muss, 90% ist vielleicht ehrlicher.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass heute Gesteinskörnungen auch mit künstlichen Harzen gebunden werden, z.B. mit Araldit für die Herstellung von hochpräzisen Maschinen Gehäusen (Drehbänke) weil solche Bauteile viel temperaturstabiler sind als Stahlguss. Solche Anwendungen gibt es auch im Bau bei Schächten, Rinnen, Kunststeinböden usw.



Abbildung 31 Asphaltbeton AC T 16N beim Einbau auf UG 0/45 respektive UG 0/16 Planie (AWN SZ).



Abbildung 32 Einbau einer Fundationssschicht aus AC F 22, das bis maximal zu 85% Ausbausphalt enthalten kann (Catram).

Eine andere Kategorie sind die **hydraulischen Bindemittel**. Die Menschen haben auch schon früh beobachtet, dass Sande und Kiese eine Kruste bilden können, wenn sie abtrocknen. Am Meeresstrand, auch Sand- und Kieshaufen, in Wegen. Das hat man sich zu Nutze gemacht auch beim Mauerwerk und bei Pflästerungen. Das Schlüsselwort dazu heisst Kalk, welcher in der Natur vorhanden ist, heute wird das vor allem angewendet im Wegebau, wenn man die bindigen Strassenkiese aus den Rufen von Kalk und Mergelschichten oder aus der nicht stark verfestigten Nagelfluh verwendet.

Später hat man gelernt, Kälke zu brennen, um die Bindefähigkeit zu erhöhen, beim Brennen von Ton geht der Lehm eine stärkere Bindung ein und nachher kamen die Zemente schon vor 2'000 Jahren bei den Römern, im 19. Jahrhundert der grosse Siegeszug des Portlandzementes, bei welchem das Bindemittel auf dem Umweg über die Klinkerphase oder Sinterung, d.h. aufschmelzen und wieder erkalten von Gestein (knapp 1'500°) und dann wieder zu Mehl vermahlen.

All diesen Bindemittelarten ist gemeinsam, dass sie eine chemische Verbindung eingehen zwischen Zement, Wasser und Gestein mit einer komplizierten chemischen Formel. Es entsteht sozusagen eine künstliche Nagelfluh, nicht über Jahrmillionen, sondern in ein paar Stunden und Tagen.

Bei Recycling von hydraulisch gebundenen Baustoffen, kann das Bindemittel nicht mehr reaktiviert werden. Beim Brechen erfolgt die Trennung wegen der unterschiedlichen Härte vor allem an den Oberflächen der grösseren Gesteinskörnern, der Sand stellt mit dem Zementleim neue Gesteinskörner dar, in der Regel auch frostbeständig, aber mit reduzierter Festigkeit.



Abbildung 33 Betonspurweg (bap Ing.)



Abbildung 34 Einbau mit Gleitschalungsfertiger und abschliessender Besenstrich zur Strukturierung der Oberfläche (Amrein Gebr. AG).

Bei den hydraulischen Bindemitteln muss an dieser Tagung noch eine Spezialität erwähnt sein, die Stabilisierung mit Kalk oder Zement. Bei dieser geht es nicht eigentlich um die Wirkung als Bindemittel, obwohl diese theoretisch auch stattfindet, es geht um den Wasserentzug. Feines, tonig-siltiges Erdreich wird mit zunehmendem Wassergehalt weicher und damit instabil. Indem man Kalk beimischt macht man sich die Eigenschaft zu Nutze, dass der Kalk Wasser aufnimmt und zusammen mit den vorhandenen Mineralien chemisch bindet. Zudem wird Wärme frei, die zusätzlich Wasser verdampfen lässt. Daher ist die Ausführung bei trockener Witterung auszuführen. Das Material kann nun eingebaut und verdichtet werden und schliesst sich für einen weiteren Wasserzutritt weitgehend ab. Oberflächlich infiltrierendes Wasser sollte dennoch durch Abglätten und Quergefälle möglichst vermieden werden (Lang HJ et. al. 2010).



Abbildung 35 Aufbringen des Bindemittels Zement (AWN GR).



Abbildung 36 Einarbeiten des Zementes (AWN GR).



Abbildung 37 Kalkbehandlung des Strassenkörpers (Böschungen und Trasse) mit einem auf einer Baggermatratze stehenden Baggers (AWN SZ).



Abbildung 38 Durchmischung mittels Fräse bei einer Kalkstabilisierung, welche die Wasseraufnahme senken und die Tragfähigkeit erhöht (AWN SZ).

Die einfachste Art der Bindung geschieht durch genügend Feinanteil. Beispiel der Anwendung bieten dafür nicht normierte Gemische für Verschleisschichten. Dabei kommt es zu Kalk- oder Tonbindung zwischen den Mineralen. Die groben Bestandteile werden darin eingebettet. Eine bindende Feuchte wird eingelagert.



Abbildung 39 Zur Herstellung einer Verschleisssschicht sind bindende Eigenschaften gefragt. Fehlendes Feinmaterial wurde durch Waschschlamm aus einem Kieswerk ersetzt (AU FL).



Abbildung 40 Ein Brecher konnte das vorgelegte Schottermaterial und den Waschschlamm mischen und planieren (AU FL).

## Unterstützende Techniken zur Verbesserung von Erdbaustoffen

### Verdichten

Mit einer guten Verdichtung wird Setzungen vorgebeugt, die Tragfähigkeit erhöht und eine homogene Schicht geschaffen. Diese gewünschten Effekte stellen sich primär durch Verringerung des Porenraumes, durch verminderte Durchlässigkeit und die damit verbundene Erhöhung der Scherfestigkeit ein. Mit Verdichtung erreicht man die Erhöhung des Feststoff-Raumgewichtes (Trockenraumgewicht) (Lang HJ. et. al., 2010).

Die Verdichtung hängt einerseits von der Gesteinskörnung und deren Ausgangszustand wie Korngrössenzusammensetzung, Durchmischung, Wassergehalt oder Schichtmächtigkeit ab. Andererseits ist entscheidend, wie verdichtet wird. Wir beschränken uns hier auf die Oberflächenverdichtung und lassen spezielle Tiefenverdichtungsmethoden weg.

### Gesteinskörnungeigenschaften

#### Korngrössenzusammensetzung/Kornform

Nicht jede Korngrössenzusammensetzung ist gleich gut zu verdichten. Enggestufte Korngrößen lassen sich nur schlecht bzw. gar nicht verdichten. Es gibt bei gleicher Korngrößenverteilung keine Möglichkeit der Hohlraumausfüllung. Weitgestufte Korngrößen (Fein- und Grobanteil) lassen sich gut verdichten. Unter Vibrationseinwirkung wandern die kleineren Körner in die Hohlräume zwischen den größeren Körnern. Probleme können einzelne, relativ grosse Komponenten bilden (Überkorn). Sie können durch Punktauflage in ihrer Position schon stabil gebettet sein, darunterliegende Hohlräume jedoch abschirmen. Bei späterem Durchsickern oder infolge von Vibrationen verlagert sich Feinanteil. Lokale Setzungen sind die Folge. Oder sie wirken selbst als Punktauflage für die Verdichtungsgeräte. Gebrochene Korngemische sind schwerer zu verdichten als Rundkorngemische. Sind sie einmal verdichtet bleiben sie jedoch stabiler.

### Durchmischung

Beim Umschlag von Gesteinskörnungen zeigen sich die verschiedenen Bewegungsmuster der unterschiedlichen Korngrößen. Beispiel dafür ist das Abrollen grosser Steine an den Fuss eines geschütteten Materialdepots. Diese Entmischung kann auch beim Transport, beim Entlad und beim Einbau geschehen und ist einer gleichmässigen Verdichtung hinderlich. Daher

- Einbau mit Bagger/Dozer vor Kopf (kein direktes Kippen)
- Fertiger Einbau gewährleistet Durchmischung am besten



Abbildung 41 Fertigereinbau (AWN GR)

### Wassergehalt

Der zu minimierende Porenraum kann mit Wasser gefüllt sein. Dies erschwert die Verdichtung. Jeder kennt, dass bei nahezu gesättigten Böden eine Verdichtung praktisch nicht möglich ist, da der Boden ‚pumpt‘. Das Verdichtungsgerät schwimmt wie auf einer Matratze. Oder anders gesagt, die Verdichtungskräfte wirken nicht auf das Korngerüst, sondern auf das nahezu luftleere Gesamtpaket aus Feststoffen und Wasser. Dabei ist es praktisch unbedeutend, wieviel Verdichtungsarbeit man leistet. Je trockener die zu verdichtende Gesteinskörnung ist, desto höhere Dichte können wir also theoretisch erreichen.

Andererseits können wir uns vorstellen, dass eine vollständig drainierte, mit Luftporen durchzogene Gesteinskörnung auch hohen Verdichtungsaufwand benötigt, da die Plastizität durch das fehlende Wasser stark abgenommen hat (höhere Reibung, Verkittung, u.ä.). Eine Verdichtung ist möglich, jedoch nur mit hoher Verdichtungsarbeit. Diese kann jedoch schon rein wirtschaftlich nicht uneingeschränkt geleistet werden.

Zwischen den beiden Extremen gesättigt und drainiert existiert für jedes Gesteinskörnungsgemisch ein für seine Verdichtung optimaler Wassersättigungszustand.

### Schichtstärke

Die Verdichtungsarbeit hat in ihrer Tiefenwirkung Grenzen. Entsprechend muss in Schichten verdichtet werden. Dabei ist die Mächtigkeit der Schichten vom Verdichtungsgerät (Gewicht, Abmessungen, Wirkungsweise) und der Gesteinskörnung abhängig. Dabei darf eine minimale Schichtdicke auch nicht unterschritten werden, da sonst die gewünschte Kornumlagerung durch Einklemmen des Grösstkorns behindert ist. Für Gesteinskörnungen existieren Faustregeln (Byland 2013):

- Minimal **2 facher Grösstkorndurchmesser**,
- gebrochene Gemische und Asphaltgranulat minimal **3 facher Grösstkorndurchmesser**,
- Maximal **40cm (60cm bei schweren Doppelvibrationswalzen und guter Kornabstufung)**

### Verdichtungsarten

#### Statische Verdichtung

Hierbei handelt es sich um Verdichtung durch Auflast. Ein Fahrzeug (z. B. Walze ohne Vibration) fährt über die zu verdichtende Fläche, drückt diese im oberen Bereich durch das Eigengewicht zusammen und glättet gleichzeitig die Oberfläche. Die Verdichtungsleistung ist somit hauptsächlich vom Gewicht der Maschine abhängig.

Diese Art der Verdichtung hat wesentliche Bedeutung nur noch bei der Oberflächenverdichtung von Asphaltdecken (knetende Gummiradwalzen). Ein erster statischer Walzübergang zu Beginn von Verdichtungsarbeiten kann gegen ungünstiges Materialschieben nützen (Wellenbildung). Und ein abschliessender, statischer Walzübergang entfernt Spurbilder ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de)).

#### Dynamische Verdichtung

Die Verdichtungsleistung wird durch das Eigengewicht (Auflast) und Vibration erzielt. Durch Schlagen, Vibrieren oder Oszillation wird das Verdichtungsmaterial so den Schwingungen ausgesetzt, dass durch Kornumlagerung und Auflast die Hohlräume auf ein Minimum reduziert werden. So kann ein homogener Untergrund entstehen.

Durch dynamische Verdichtung kann eine wesentlich höhere Tiefenwirkung erreicht werden. Durch die hohe Schlagfolge werden Druckwellen erzeugt, die tiefer in den Boden vordringen und somit eine bessere Verdichtungsleistung erzeugen.

Zudem kann die gewünschte Bodendichte im Vergleich zur statischen Verdichtung mit wesentlich weniger Maschinenübergängen erreicht werden. Aus diesem Grund sind dynamische Geräte in den meisten Situationen effektiver und wirtschaftlicher als reine statische Geräte ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de)).

Tabelle 5 Übersicht der Verdichtungsarten und deren Einsatzfenster (in Anlehnung an Byland 2013).

Verdichtung	statisch	schlagend	vibrierend	oszillierend
Bodenart	bindig		nicht bindig	
	feinkörnig		grobkörnig	
	rundkörnig		gebrochen	
Wassergehalt	hoch		gering	
Mögliche Geräte	Gummiradwalze oder alle anderen mit ausgeschalteter Dynamik	Stampfer	Walzenzug, Tandemwalze, Kombiwalze, Grabenwalze, Anbau- Plattenverdichter, Rüttelplatten	Walzenzug, Tandemwalze, Kombiwalze, Grabenwalze

### Verdichtungsgeräte

Zur Verdichtung werden je nach Zielsetzungen und Gegebenheiten die in Tabelle 6 dargestellten Verdichtungsgeräte eingesetzt. Sie wirken mit ihrem Gewicht und die meisten mit zusätzlichen, dynamischen Einwirkungen. Moderne Geräte wählen computerunterstützt zwischen den optimalen Verdichtungsparametern (statisch, vibrierend, oszillierend). Zur Kontrolle der Walzübergänge können GPS Steuerungen eingesetzt werden.

Tabelle 6 Verdichtungsgeräte und deren Einsatzgebiet: (E) Erdbaustoffe, (B) Bituminös, erste Nennung wichtiger (Ammann Schweiz AG, Hamm AG).

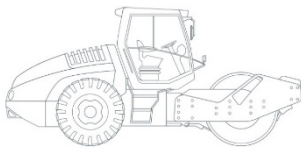


Abbildung 42 Walzenzug (E)



Abbildung 43 Tandemwalze (E/B)



Abbildung 44 Gummiradwalze (B/E)



Abbildung 45 Kombiwalze (E/B)



Abbildung 46 Grabenwalze (E)



Abbildung 47 Stampfer (E)



Abbildung 48 Anbau-Plattenverdichter (E)



Abbildung 49 Rüttelplatte (E/B)

### Gewicht ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de))

Das Gewicht wird bei Stampfern und Platten über die Bodenplatte, bei Walzen über die Bandagen in das Verdichtungsgut übertragen. Ein hohes Maschinengewicht bedeutet in der Regel eine große Wirtiefe der Verdichtungsmaschine.

### Statische Last / Statische Linienlast ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de))

Die statische Last (kg) entspricht dem Gewicht der Bandage (Waltrommel) einschließlich aller Maschinenteile. Die statische Linienlast errechnet sich, indem man die statische Last durch die Bandagenbreite (cm) dividiert.

### Schwingende Masse ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de))

Diese Gesamtmasse einer Verdichtungsmaschine besteht aus einer ruhenden und einer schwingenden Masse. Die schwingende Masse ist das Maschinenteil, das vom Vibrator in Schwingungen versetzt wird. Je größer die schwingende Masse, umso größer ist die Wirtiefe der Verdichtungsmaschine.





Frequenz und Amplitude ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de))

Die Amplitude gibt an, wie hoch die Maschine vom Boden durch die schwingende Masse angehoben wird (Angabe in mm). Die Frequenz gibt an, wieviele Male pro Sekunde die Platte oder Bandage der Verdichtungsmaschine auf den zu verdichtenden Boden schlägt (Angabe in Hz oder Schwingungen pro Minute).

Arbeitsgeschwindigkeit ([www.hkl-baumaschinen.de](http://www.hkl-baumaschinen.de))

Je langsamer die Maschine bei voller Vibrationsleistung fährt, umso intensiver ist die in den Boden einwirkende Energie. Je schneller die Maschine bei voller Vibrationsleistung fährt, umso geringer ist die in den Boden einwirkende Energie.

Die aufgebrachte, vertikale Spannung nimmt mit dem Entfernen des Verdichtungsgerätes allmählich wieder den ursprünglichen Wert an. Durch die Verdichtung hat **aber die horizontale Spannung zugenommen. Sie bleibt** auch nach dem Entfernen der Verdichtungsgeräte **erhalten**. Daher kann die Verdichtung von Hinterfüllungen problematisch sein. Deshalb Vorsicht bei der Verdichtung von Hinterfüllungen.

Anforderungen nach Norm

Gemäss Norm SN 640 585 soll die Tragfähigkeit der Planie für Strassen nach Lastklassen folgende ME Werte der Erstbelastung (ME1) im Plattendruckversuch betragen:

- T1  $\geq 80$  MN/m<sup>2</sup>
- T2  $\geq 100$  MN/m<sup>2</sup>

Bewehrende, kombinierte Baustoffe wie Geotextilien, Prügellagen und ähnliches

Sind die Eigenschaften der Gesteinskörnungen nicht ganz genügend und wäre ein Materialaustausch sehr aufwändig, kann man sich noch weitere Hilfsmittel bedienen. Die Erhöhung der Tragfähigkeit und der Filterstabilität sowie der Schutz vor Durchmischung sind klassische Problemfelder.

Erhöhung und Ausgleich der Tragfähigkeit (Bewehren)

Gesteinskörnungen übertragen vorwiegend Druckkräfte. Führt man nun Elemente ein, die auch Zugspannungen aufnehmen können, erhöht sich im Verbund die Gesamtstabilität. Dies ist vergleichbar mit der Bewehrung im Beton. Spannungen werden so regelmässiger und flächiger verteilt. Forstlich werden unterschiedliche Materialien eingesetzt:

- Geotextilien zum Ausgleich unterschiedlicher Untergrundtragfähigkeit (Funktion Bewehren, Geogewebe)
- Prügellagen in Foundationen (Wirkung wie unterirdische Baggermatratze)
- Astlagen (unter- und oberirdisch)
- Faschinen (kraftübertragend und zusätzlich wasserableitend)

Erhöhung der Filterstabilität

Beim Durchströmen von Gesteinskörnungen können Feinanteile mittransportiert werden. Es kommt zu einer Verlagerung in andere Schichten. Neue Hohlräume entstehen, die Stabilitätsverlust zur Folge haben. Ob dies geschieht oder nicht, ist vorwiegend von den beiden aneinander angrenzenden Kornverteilungen abhängig. Je stärker der Feinanteil der beiden Gesteinskörnungen sich unterscheidet, desto grösser ist das Risiko (bspw. Sickergeröll an schluffigem Sand). Hat man Bedenken, kann ein Geotextil zur Verhinderung der Verlagerung von Feinanteil (Funktion Filtern, Geovlies) dazwischen gelegt werden. Die Feinanteile werden zurückgehalten. Das Wasser kann durchsickern. Ob es mit der Zeit nicht zur Verschlammung kommt, ist am besten an einem Probeabschnitt zu prüfen.

Verhindern von Durchmischung

Die Eigenschaften einer Mischung gehen verloren, wenn es zur Durchmischung mit angrenzendem Material kommt. Das geschieht beispielsweise immer wieder bei der Befahrung unter schlechten Bedingungen oder dem Einbau auf ungeeignetem Untergrund (Planum). Die ‚zerdrückten‘ Stellen können zwar leicht repariert werden. Dadurch werden die Eigenschaften der eingesetzten Gesteinskörnungen aber immer inhomogener. Erhöhte Schadanfälligkeit ist die Folge. Die Durchmischung kann durch flächig wirkende Trennschichten erreicht werden. Neben allen vorgängig genannten Mitteln existieren bei den Geotextilien spezielle Produkte zur Verhinderung einer Vermischung aufbereiteter Gesteinskörnungen und anderer (Funktion Trennen, Geovliese und Geogewebe).

## Normierte, ungebundene Gemische ab Werk

Bei ungebundenen Gemischen handelt es sich im Wesentlichen um normierte Kies/Sand-Gemische die durch Aufbereitung natürlicher, industriell hergestellter oder rezyklierter Materialien hergestellt und im Ingenieur- und Strassenbau eingesetzt werden. Die Anforderungen werden in der SN 670119-NA detailliert angegeben.

Es wird dabei unterschieden zwischen geometrischen, physikalischen und chemischen Anforderungen. Die ungebundenen Gemische werden in 3 Kategorien unterteilt, nämlich in ungebundene Gemische 0/16, 0/22.4 und 0/45. Wie in den Abbildungen 11 und 12 beispielhaft an den ungebundenen Gemischen 0/22.4 bzw. 0/45 ersichtlich, unterscheiden sich die Gemische im Siebdurchgang, d.h. an der Siebkurve und am Grösstkorn. Bei den ungebundenen Gemischen 0/16 bzw. 0/22.4 ist ein Grösstkorn zwischen 16 und 32 mm resp. 22.4 und 45 mm gestattet bzw. erforderlich, bei den ungebundenen Gemischen 0/45 hat das Grösstkorn einen Durchmesser zwischen 45 und 90 mm. Der maximale Feinanteil (d.h. Korndurchmesser < 0.063 mm) beträgt für alle Kategorien ohne Einschränkungen 3 %. Falls die Frostbeständigkeit nachgewiesen werden kann, darf der Feinanteil bis zu 12 % betragen. Dies erfolgt üblicherweise mit einem CBR-Versuch. Dabei wird die Kraft gemessen, die ein Stempel beim Eindringen bis in eine definierte, die Probetiefe benötigt. Die CBR-Versuche sind vergleichsweise zeit- und kostenaufwändig

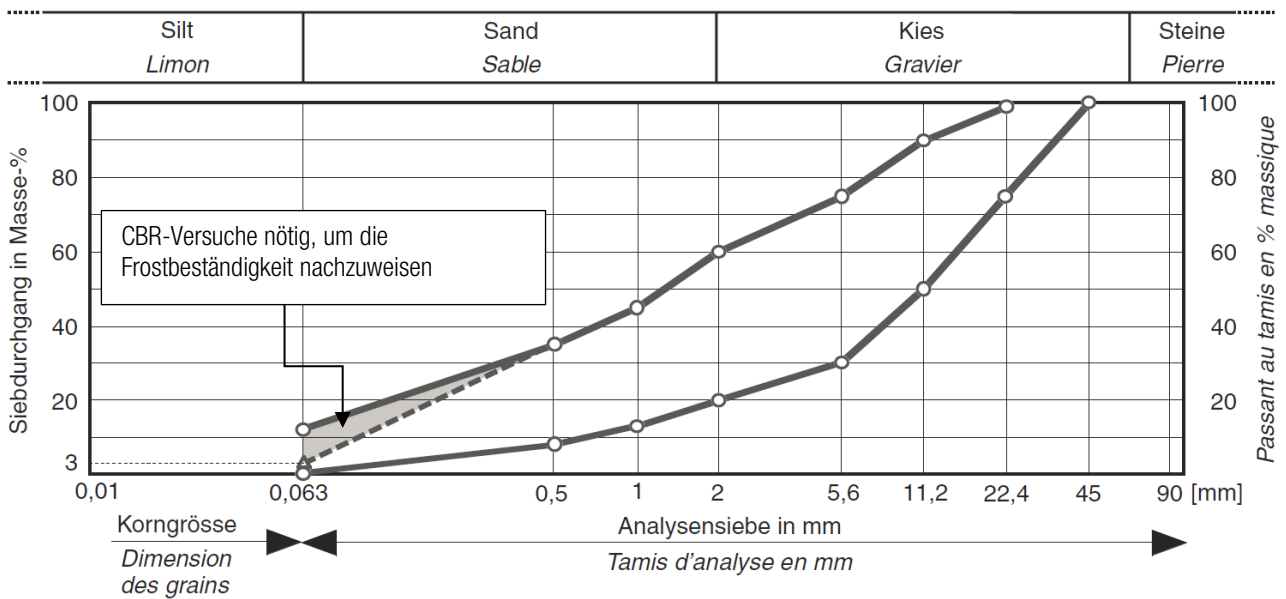


Abbildung 50 Grenzwertbereiche der Korngrößenverteilungen für ungebundene Gemische 0/22.4 (SN 670 119 NA).

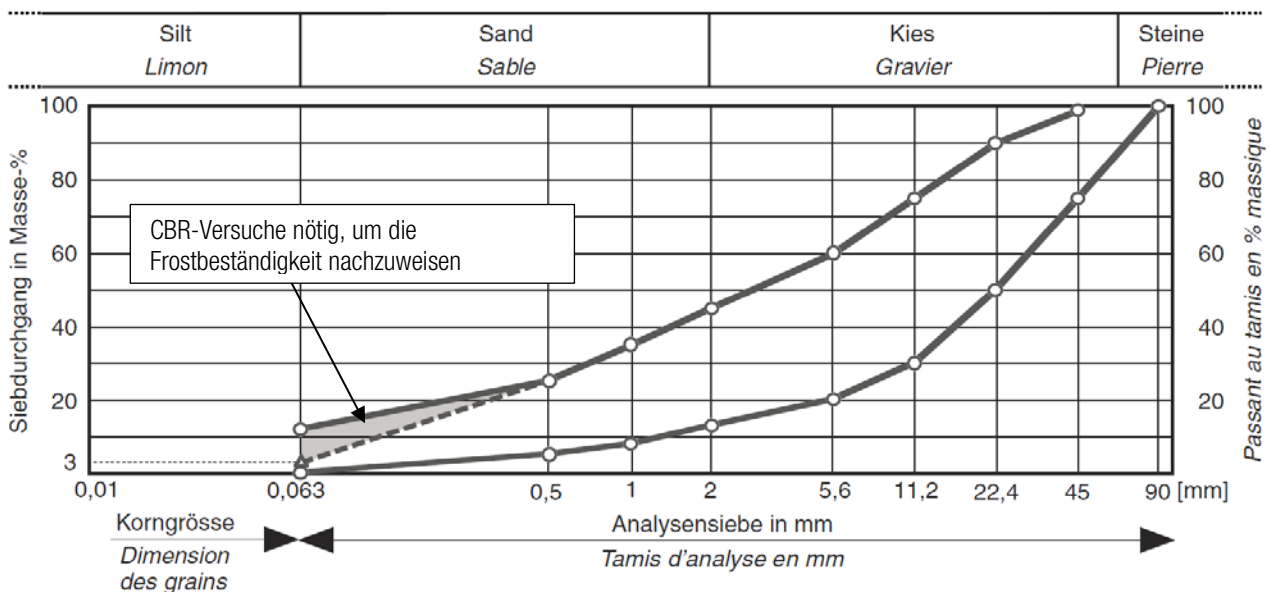


Abbildung 51 Grenzwertbereiche der Korngrößenverteilungen für ungebundene Gemische 0/45 (SN 670 119 NA).



Zusätzlich zur Korngrößenverteilung und zum Feinanteil, wird bei ungebundenen Gemischen (UG) die Verdichtbarkeit (mittels Proctorversuch), die Kornfestigkeit (mittels Los Angeles-Test) und die Kornform (d.h. Plattigkeit) bestimmt. Die Anforderungen sind für UG 0/16, UG 0/22.4 und UG 0/45 identisch.

Die Verwendung von normierten, ungebundenen Gemischen für den Ingenieur- und Strassenbau (im Allgemeinen für Trag- und Foundationsschichten) ist heutzutage Standard. Dabei gilt der Grundsatz, dass durch die Normierung die geforderte Qualität des Baustoffs garantiert ist, und damit gleichzeitig die Anforderungen bezüglich Stabilität, Nutzungssicherheit und Dauerhaftigkeit von Strassen gewährleistet werden können. Die Qualitätssicherung der ungebundenen Gemische ist dabei vom Hersteller bzw. Lieferanten mittels Erstprüfungen und werkseigenen Produktionsprüfungen (WPK) nachzuweisen und durch eine Konformitätserklärung und einem Produktezertifikat zu deklarieren.

Grundsätzlich ist die Herstellung der feineren Korngruppen (UG 0/16, UG 0/22.4) gegenüber UG 0/45 aufwendiger. Deshalb sind diese Gemische teurer, weisen aber auch etwas günstigere, geotechnische Eigenschaften auf. So hat zum Beispiel UG 0/22.4 gegenüber UG 0/45 eine etwas höhere Tragfähigkeit auf (Tragfähigkeitswert  $a = 0.11$  gegenüber  $0.07$  bei UG/45) und erfordern im Prinzip geringere Dicken der Foundationsschichten. Unabhängig davon muss bei der Dimensionierung des Strassenoberbaus aber immer auch die Frosteinwirkung beachtet werden.

Im klassischen Strassenbau wird im Regelfall UG 0/45 als Foundationsschicht eingebaut, da sie normalerweise die Anforderungen hinsichtlich Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit, Stabilität und Wirtschaftlichkeit insgesamt am besten erfüllen. Bei Belagserneuerungen oder bei erschwerten Einbaubedingungen kann ein Ausgleich der Planie mit UG 0/22.4 oder gar 0/16 erforderlich sein.

Für schwach beanspruchte Strassen, zu denen Waldstrassen gezählt werden können, sind die Anforderungen grundsätzlich geringer. Die Verwendung von normierten ungebundenen Gemischen ist aufgrund von bautechnischen und wirtschaftlichen Standpunkten häufig nicht nötig bzw. vertretbar. Vielmehr ist die Anwendung von Bodenstabilisierungsverfahren oder das Aufbereiten von örtlich vorhandenem Material für den Strassenoberbau zweckmässiger und günstiger. Trotzdem werden auch im forstlichen Bau immer häufiger normierte Gemische verwendet, da sie die geforderte Qualität und Homogenität des Baustoffs vertraglich garantieren. Dadurch ist auch der rechtliche Konflikt, d.h. die Ablehnung von Garantieansprüchen, die beispielsweise beim Einbau von Belagsschichten auf nicht normierten Kieskoffer entstehen können, hinfällig.



# Einsatz von Recyclingbaustoffen im Wald

## Einteilung der Recyclingbaustoffe

### Ausgangsmaterialien und Aufbereitung

Ein geordneter Rückbau beim Abbruch einer Baute ist heute Pflicht (Umweltschutzgesetz (USG), Abfallverordnung (VVEA)). Doch was heisst dies? Die Bauabfälle sollen möglichst einer Verwertung zugeführt, also aufbereitet und wiederverwendet werden. Dies im Sinne der Ressourcenschonung und zum Schutze der Umwelt. Ein Stoffkreislauf wird angestrebt (Abbildung 52). Dabei ist die Einhaltung von Systemgrenzen anzustreben. Das heisst, Abfälle sollen möglichst für ihre ursprüngliche Anwendung wieder aufbereitet werden. Beispielsweise, Betonabbruch soll möglichst wieder in den Betonbau, Ausbauasphalt möglichst wieder in Schwarzbeläge rückgeführt werden.



Abbildung 52 Idealer Stoffkreislauf (ANU GR)

Die Bauarbeitenverordnung (BauAV) und die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) schreiben im Weiteren vor:

- Schadstoffentfrachtung, Art. 60 lit c. BauAV (Abklärung Schadstoffe (u.a. Schutz Arbeitnehmer), Art. 16 VVEA (Ermittlung von Schadstoffen und Entsorgungskonzept)
- Trennung der Abfälle in sechs Kategorien (Art. 17 VVEA)
  - Abtrennung von Sonderabfällen
  - Ober- und Unterboden [A, B],
  - Aushub/Ausbruch [C, Fels],
  - mineralische Bauabfälle aus dem Abbruch von Bauwerken, möglichst sortenrein (siehe unten),
  - weitere stofflich verwertbare Abfälle [Metall, Holz, Glas, Plastik],
  - brennbare, nicht verwertbare Bauabfälle,
  - andere
- Vermischungsverbot (Kein Verdünnen zur Senkung des Schadstoffgehaltes), Art. 9 VVEA
- Verwertungspflicht, Art 12 VVEA

Im Rahmen der Tagung betrachten wir im speziellen die **mineralischen Bauabfälle aus dem Abbruch von Bauwerken**, die wiederum in sechs Unterkategorien eingeteilt werden (Art. 20 VVEA):

- Ausbauasphalt (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe [PAK]  $\leq$  250 mg/kg, zu verwerten)
- Ausbauasphalt ([PAK]  $\geq$  250 mg/kg, ab 2025 thermische Entsorgung)
- Strassenaufbruch (ungebundene oder hydraulisch stabilisierte Strassenfundationen)
- Ziegelbruch
- Betonabbruch (bewehrt oder unbewehrt)
- Mischabbruch (Beton, Backstein, Kalksandstein, Naturstein)

Da die anfallenden Bauabfälle aus unterschiedlichsten Epochen stammen können, ist ihre Zusammensetzung wechselnd. Stoffe, die früher eine technische Innovation bedeuteten, gelten heute aus verschiedenen Gründen als höchst bedenklich und sind verboten. Sie müssen zum Schutz von Menschen, Wasser und Boden aus dem Kreislauf ausgeschleust werden. Bei mineralischen Bauabfällen handelt es sich vorwiegend um Asbest (Asbestzement u.a. asbesthaltige Baustoffe), Polychlorierte Biphenyle (PCB) (Weichmacher in Kittungen), PAK (Weichmacher in Farben, Teerbelägen, KVA Schlacken, etc.) und absehbar auch Chlorparaffine.

Die sechs mineralischen Bauabfallkategorien müssen grundsätzlich zu einer Abfallanlage zur Aufbereitung gebracht werden. Dort werden daraus qualitätsgeprüfte Sekundärbaustoffe ohne schwerwiegenden Schadstoffgehalt hergestellt (Tabelle 7). Sie sind ebenfalls klassifiziert nach Norm erhältlich (SN 670 119 NA) oder werden Bestandteil in weiteren Produkten. Die Bezeichnungen und die Anforderungen an die

stoffliche Zusammensetzung zwischen den geltenden SN Normen und der BAFU-Richtlinie 31/06 sind leicht unterschiedlich. Dieser Widerspruch wird aber im Rahmen der Erarbeitung der VVEA-Vollzugshilfe (ca. 2020) ausgeräumt und spielt im Rahmen dieser Tagung nur am Rand eine Rolle. Für die Anwendung gilt die Bundesrichtlinie. Eine Ausnahme bildet Ausbauasphalt mit einem PAK-Gehalt  $\geq 250$  mg/kg. Dieser darf nur noch bis 2025 und unter bestimmten Bedingungen verwertet oder deponiert (Deponie Typ E, früher Reaktordeponie) werden (Art. 52 VVEA). Nach dieser Übergangsfrist muss er thermisch entsorgt werden.

Eine direkte Wiederverwendung ohne Aufbereitung einer Abfallanlage bedingt den Qualitätsnachweis der Bauherrschaft. Das Material muss im Rahmen des Bewilligungsverfahrens des Bauprojektes die Qualitätsanforderungen an Recyclingbaustoffe der BAFU Richtlinie 31/06 erfüllen. Praktisch ist dies jedoch sehr schwierig zu erfüllen.

Tabelle 7 Mineralische Bauabfallkategorien (Spalte 1), Sekundärbaustoffe (RC-Kiesgemische nach SN 670 119 NA) (Spalte 2) und Produktbeispiel (Spalte3)



Abbildung 53 Ausbauasphalt



Abbildung 54 RC-Asphaltgranulatgemisch (PAK  $\leq 250$  mg/kg)



Abbildung 55 bspw. AC F



Abbildung 56 Entfernter Strassenaufbruch



Abbildung 57 RC-Kiesgemisch P (A oder B)



Abbildung 58 RC-Kiesgemisch P



Abbildung 59 Betonabbruch



Abbildung 60 RC-Betongranulatgemisch



Abbildung 61 bspw. Recyclingbeton



Abbildung 62 Mischabbruch



Abbildung 63 RC-Mischabbruchgranulatgemisch



Abbildung 64 RC-Mischgranulatgemisch im unteren Teil der Fundamentalschicht.



Abbildung 65 Ziegelbruch



Abbildung 66 RC-Ziegelgranulat

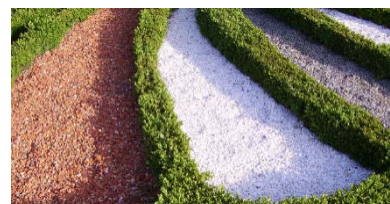


Abbildung 67 RC-Ziegelgranulat im Landschaftsbau



Der Einsatz von Sekundärbaustoffen ist wichtig. Innovative Unternehmen entwickeln immer neue Sekundärbaustoffe, die in ihrer Qualität hohen Anforderungen genügen. Grundsätzlich sollte **jeder, der Abfälle liefert auch Sekundärbaustoffe einsetzen**. Die öffentliche Hand hat dabei eine Vorreiterrolle.

## Praktischer Einsatz und Einschränkungen bei Wald- und Güterstrassen

Die beschriebenen Vorgehensweisen im Rückbau gelten auch für forstliche Bauten. Abbildung 68 zeigt etwas konkreter, wie im Einzelnen die Vorgehensweise sein muss.

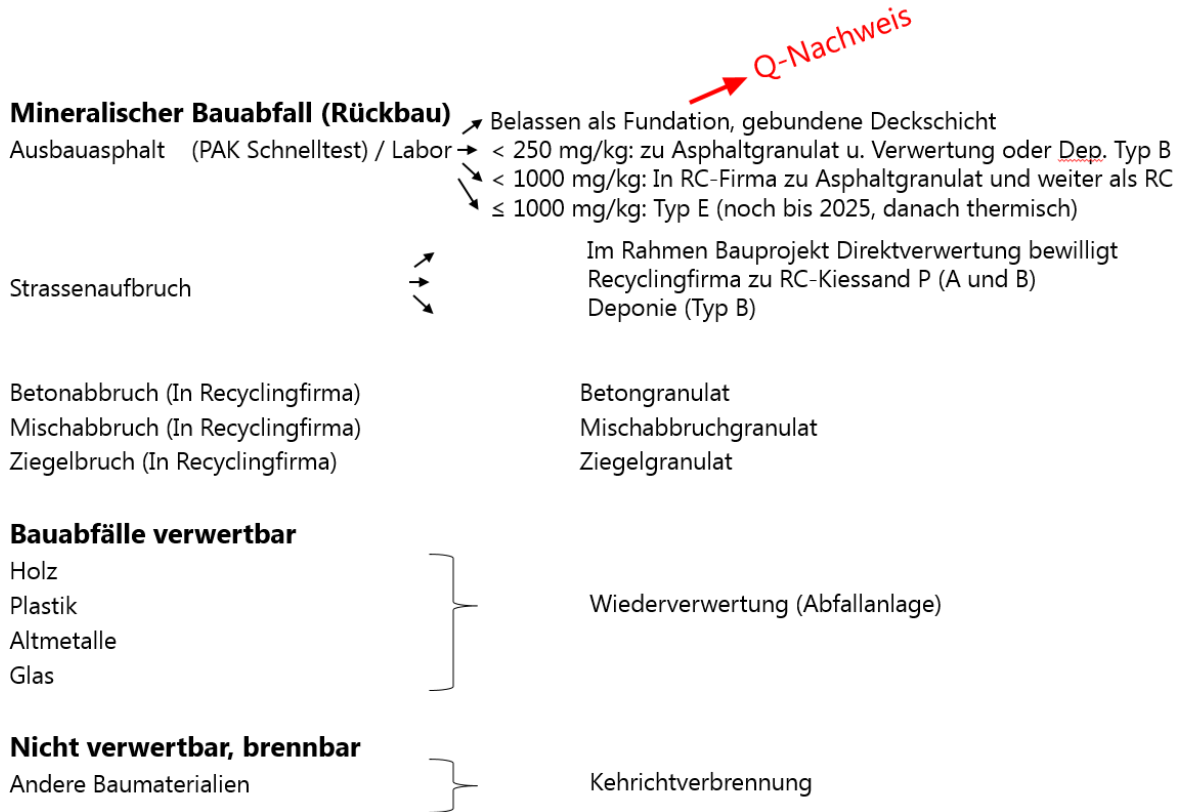


Abbildung 68 Vorgehen beim Rückbau forstlicher Infrastruktur

Forstlicher Strassenaufbruch, also Fundations- und Verschleisschichten aus mehrheitlich natürlichen Gesteinskörnungen gilt auch als Bauabfall. Der Ausbau und direkte Wiedereinbau darf streng betrachtet nur im Rahmen eines Bauprojektes geschehen. Bei Hinweisen auf Verschmutzung müssen Untersuchungen Verschmutzungen ausschliessen.

Ebenso gelten für forstliche Bauten die Prüfung und der Einsatz von Recyclingbaustoffen. Die Verwendung von Recyclingbeton als Sohlbeton, zum Setzen eines Schachtes oder als Hüllbeton entspricht den Qualitätsanforderungen gut (ohne Frost). Aus Umweltschutzgründen gibt es jedoch gemäss der BAFU Richtlinie 31/06, Verwertung mineralischer Bauabfälle, (Abbildung 69) insbesondere für Recycling-Tiefbauprodukte einige Restriktionen:



Verwendungsmöglichkeiten Recyclingbaustoffe	Einsatz in loser Form		Einsatz in gebundener Form	
	ohne Deckschicht	mit Deckschicht	hydraulisch gebunden	bituminös gebunden
Asphaltgranulat	*	**		
Recycling-Kiessand P				
Recycling-Kiessand A				
Recycling-Kiessand B				
Betongranulat				
Mischabbruchgranulat				

	Verwendung möglich
* *	Verwendung möglich mit der Einschränkung: als Planiematerial unter bituminöser Deckschicht
	Verwendung nicht zugelassen
*	Verwendung nur möglich, wenn die Schichtstärke maximal 7cm beträgt und das Asphaltgranulat gewalzt wird

Abbildung 69 Auszug aus der Richtlinie 31/06 'Verwendungsmöglichkeiten der sechs Recyclingbaustoffe'

Wie ersichtlich unterscheidet man zwischen Einsatz in loser oder in gebundener Form und ob eine abdichtende Deckschicht folgt oder nicht. Als Deckschichten gelten bindemittelgebundene Schichten (Asphaltbelag, Betonbelag), welche die Durchsickerung des gesamten Recyclingmaterials mit Niederschlägen verhindert. Dies vor allem aus Gewässerschutzgründen.

Generell nicht verwendet werden dürfen RC-Kiesgemische (Aushub-, Rückbau- und Recyclingverband Schweiz ((ARV), 2012):

- In Grundwasserschutzzonen S1, S2, S3
- Für Sicker- und Drainageleitungen
- In direktem Kontakt zu Grundwasser (in der Regel beträgt der Abstand min. 2m)
- Maximale Schichtdicke 2 m (Ausnahme RC-Kiesgemisch P)
- Für Damm- und Geländeaufschüttungen, Auffüllungen von Baugruben (Hinterfüllungen) (Ausnahme Kiesgemisch P)

Der **kantonale Vollzug ist teilweise strenger**. Die Regelungen zum Einsatz der Sekundärbaustoffe liegen meist in der Zuständigkeit der Umweltämter. Sie sind in Weisungen, Merkblättern und Richtlinien festgehalten und publiziert und somit verwaltungsintern gültig.

### Verwendung ohne Deckschicht (nach Richtlinie BAFU)

Für Fundationsschichten und Schüttungen sind nach Richtlinie des Bundes Recycling-Kiessand P (primär) und Recycling-Kiessand B (eton) zugelassen. Der bislang beliebte Direkteinbau von Ausbauasphalt (Fräsgut) als Verschleisschicht bei ungebundenen Oberbauten ist nicht mehr erlaubt. Mit dem Einsatz von Asphaltgranulat (max. 7cm, verdichtet) besteht immer noch eine ähnliche Möglichkeit. Der erfolgreiche Einbau ist anspruchsvoll. Genügend Wärme und Feuchte sind für eine gute Verdichtung und eine minimale Aktivierung der vorhandenen Bindemittel unabdingbar.

#### Beispiele forstlicher Anwendung

- Kleine Schüttungen (RC-Kiesgemisch P, macht im Wald wenig Sinn)
- Fundationen (RC-Kiesgemisch P)
- Verschleisschicht (RC-Kiesgemisch P und B, Asphaltgranulat (max. 7cm, fachgerechter Einbau und Verdichtung)
- Hinterfüllungen (RC-Kiesgemisch P, macht im Wald wenig Sinn)

### Verwendung mit Deckschicht (nach Richtlinie BAFU)

Sofern eine abdichtende, gebundene Deckschicht abschliessend eingebaut wird, dürfen fünf, der sechs Recyclingbaustoffe uneingeschränkt eingesetzt werden. Einzig der Einsatz von Asphaltgranulat ist auf die Verwendung als Planiematerial unter bituminösen Deckschichten beschränkt. Als abdichtende Deckschichten sind gemäss BAFU Richtlinie Asphaltbeläge (Asphaltbeton) und Betonbeläge (Beton) gemeint. Oberflächenbehandlungen werden als längerfristig nicht dichte Deckschicht interpretiert, ebenso Zementstabilisationen.

#### Beispiele forstlicher Anwendung

- Schüttungen (RC-Kiesgemisch P)
- Schüttungen < 2 m (alle, wobei Asphaltgranulat nur als Planiematerial unter bituminösen Deckschichten)
- Fundationen (alle, wobei Asphaltgranulat nur als Planiematerial unter bituminösen Deckschichten)



## Gebundene Verwendung (nach Richtlinie BAFU)

Die Recycling-Gesteinskörnungen können gleich den Primärmaterialien bituminös oder hydraulisch (Zement) gebunden werden. Zum Erhalt der materialspezifischen Eigenschaften und der Möglichkeit eines erneuten Recyclings, müssen bituminöse Recyclingbaustoffe (RC Kiessand A, Asphaltgranulat) bituminös und mehrheitlich ‚graue‘ Recyclingbaustoffe (RC Kiessand B, Betongranulat, Mischabbruchgranulat) hydraulisch gebunden werden.

### Beispiele forstlicher Anwendung

- Foundationen (alle, mit entsprechendem Bindemittel)
- Deckschichten (nur bituminöse sind sinnvoll)

## Materialtechnische Grenzen bei der Verwendung von Recyclingbaustoffen

Bei der Verwendung schon einmal benutzter Gegenstände ist es normal, dass Materialermüdung, –umwandlung und gewisse Abnützungserscheinungen vorhanden sind. Im neuen Einsatz müssen die Materialeigenschaften dennoch den Anforderungen entsprechen. Bei mineralischen Baustoffen sind zwei Punkte genauer zu betrachten – die Gesteinseigenschaften selbst und die Bindemittel.

### Problem der unterschiedlichen Gesteinseigenschaften

#### RC-Betongranulatgemisch

Bei erneut gebundener Verwendung ist die Zusammensetzung natürlich verschieden. Recyclingbeton ist nie so druckfest wie Beton aus Primärmaterialien, da ein Betonkorn im Recycling nur etwa 1/3 der Festigkeit aufweist wie ein guter Naturstein. Denken wir daran, dass Recyclinggranulat aus Beton schon Zement enthält und mit der neuen Mischung sich der Zementgehalt kumuliert, als 2x freie Alkalien zusammenkommen und damit das AAR Risiko hoch wird. Betonrecycling hat bei gefährdeten Bauteilen nichts zu suchen. Gemäss SIA Merkblatt 2030 sind Anwendungen der Expositionsklassen XC1, XC2, XC3 und XC4 zulässig.

#### RC-Mischabbruchgranulatgemisch

Ziegel, Backsteine, Kalksandsteine und deshalb Mischabbruch im feuchten Untergrund können relativ schnell ‚verfaulen‘, dh. quellen und schrumpfen, sowie durch Frosteinwirkung zerfallen. Zudem sind sie anfällig auf Kornzertrümmerung bei der Verdichtung. Deshalb gehören sie nicht in den Strassenbau. Für Sportplätze mögen sie genügen.

Recyclingbeton aus Mischabbruchgranulat weist höhere Schwind- und Kriechmasse auf, sowie ein geringeres E-modul (grössere Durchbiegung) als Beton aus Primärbaustoffen.

### Der Einfluss vorhandener Bindemitteln

#### Bitumen

Beim Asphaltgranulat können unter Einfluss von Wasser Schadstoffe wie bspw. Phenole aus dem Bitumen ausgewaschen werden. Solche Granulate sind daher ohne abdichtende Deckschicht auch bei vorbildlichem Einbau problematisch. Denn bei normalem Verschleiss landet Abrieb früher oder später neben der Fahrbahn.

#### Zement

Doppeltes AAR Risiko, vorallem im feuchten Milieu (Tiefbau) bei CEM I (Portlandzement). Beton aus RC Betongranulatgemisch ist nicht geeignet bei Frost- und Tausalzexposition (KBOB 2009). Keine XF Expositionen.

### Mögliche Folgeschäden

Qualitätseinbussen, Gewässerverschmutzung, Schwierigkeiten erneut zu recyceln, allmähliche Frostempfindlichkeit

### Folgerungen für den Einsatz bei forstlichen Bauten

Im Waldstrassenbau ist es primär sinnvoll über ein Bauprojekt lokal anfallende Aushub- und Abtragsmaterialien, d.h. primäre Gesteinskörnungen vor Ort aufzubereiten und den RC-Kiesgemischen vorzuziehen. Dies ist genau betrachtet auch eine stoffliche Verwertung und entspricht der Recycling-Idee. Zudem werden Transporte minimiert und der Eintrag an ortsfremden Stoffen in ein natürliches Umfeld wird minimiert.

Sekundärbaustoffe auch im Wald zu verwenden macht in höher aufbereiteter Form wie gebundenem Recycling-Asphalt oder Recycling-Beton bei Beachtung der obengenannten Punkte dennoch Sinn. Ebenso der die Beschränkungen einhaltende Einsatz von RC-Kiesgemischen (-Kiessanden), wenn projektintern anfallende Materialien nicht verhältnismässig aufbereitet werden können.





## Quellen

- Aushub-, Rückbau- und Recyclingverband Schweiz (Hrsg.), 2012. Reglement ARV Gütesicherung für recycelte Gesteinskörnungen und RC-Kiesgemische. ARV, Kloten. 16S.
- Byland H. 2013. Handbuch für Verkehrswegebau-Poliere. Campus Sursee. Sursee, 153S.
- BAFU (Hrsg.), 2006: Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle. Umwelt-Vollzug Nr. 0631. Bundesamt für Umwelt, Bern. 34S.
- Dietrich K., Casanova A., Düggeli Ph., Hofer M. 1986. Strassenbau. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich. 118S.
- Figi H. 2010. Stützmauern im Gebirge, Tiefbauamt Graubünden, Chur, 10S.
- Geo-Bau-Labor 2011: Ungebundene Gemische und rezyklierte Gesteinskörnungen als Fundationsmaterial im Ingenieur- und Strassenbau Neue bzw aktualisierte Norm SN 670119a-NA (ab 01.02.2010); Eigenschaften, Anforderungen, Qualitätssicherung, Deklaration (V 2.3, 03/2011)
- Hirt R. 2001. Kiessande für Güter- und Waldstrassen; in Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 10/2001. Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK), Zürich. 4S.
- KBOB (Hrsg.), 2009. Beton aus Recycelter Gesteinskörnung, Empfehlung 2007/2. Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes, Bern. 6S.
- Labhart T.P. 2009: Geologie der Schweiz. Ott, Bern. 211S.
- Lang H.-J., Huder J., Ammann P., Puzrin A.M., 2010. Bodenmechanik und Grundbau, Springer, Heidelberg, 336S.
- Pfiffner O.A. 2010. Geologie der Alpen, Haupt, Bern. 400S.
- Schweizerische Geotechnische Kommission (Hrsg.) 1997. Die Mineralischen Rohstoffe der Schweiz, Schweizerische geotechnische Kommission, Zürich. 536S.
- Swisstopo 2015: Geologische Karten der Schweiz
- Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz (SUS) 2013. Trockenmauern, Haupt, Bern. 470S.
- Witt K.J. (Hrsg.) 2008. Grundbau – Taschenbuch, Teil 1 Geotechnische Grundlagen, Ernst und Sohn, Berlin. 814S.

Normen	Verband Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) SN 640 324 SN 640 575 SN 640 581a SN 640 585 SN 640 740 SN 640 741 SN 670 004-1b SN 670 009 SN 670 119-NA SN 670 125a SN 670 140b
Normpositionen	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) NPK 211 323 NPK 211.611 NPK 211.614 NPK 211.621 NPK 211.711 NPK 211.813 NPK 221.111 NPK 221.112 NPK 237 812 NPK 237 826

<http://www.hkl-baumaschinen.de/HKL-MIETPARK-Magazin/Ausgabe-1/HKL-Bautipp-Verdichtung/Verdichtungsgebiete>