

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 139 (1988)

Heft: 10

Artikel: Aufbereitung von Kiessand für Wald- und Güterstrassen in den Schweizer Voralpen

Autor: Winkler, Martin

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766747>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Aufbereitung von Kiessand für Wald- und Güterstrassen in den Schweizer Voralpen ¹

Von *Martin Winkler*

Oxf.: 381.2:383

(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung,
Fachbereich Forstliches Ingenieurwesen, CH-8092 Zürich)

1. Einleitung

Für den Bau von Wald- und Güterstrassen werden grosse Mengen von Kiessandmaterialien benötigt, deren Abbau in den Kiesgruben und deren Transporte in die Projektgebiete von nicht zu unterschätzender ökonomischer und ökologischer Bedeutung sind.

Während die schweizerische Bauwirtschaft jährlich rund 30 bis 35 Mio. m³ Sande und Kiese verbraucht, erneuern sich die Kiesvorkommen nur sehr langsam in Kiessammlern von Wildbächen, Flussbetten und Flussdeltas. Kies wird somit zunehmend zur Mangelware (*Abbildung 1*).

Die geologischen Vorräte an Kiessanden sind zwar noch bedeutend, doch sind die tatsächlich abbaubaren Vorkommen weit bescheidener, denn überlagerte Nutzungsansprüche wie Wald, Bauzonen, Grundwassergebiete usw. verhindern den Abbau aller Kiesreserven.

Die hochwertigen Alluvialkiese sollten deshalb nur für anspruchsvolle Zwecke verwendet werden.

Neben der zunehmenden Verknappung verursacht die konventionelle Kiesbeschaffung für den Bau von Wald- und Güterstrassen noch weitere Schwierigkeiten. So werden die Baustoffe durch die Baustellentransporte verteuert, dabei aber nicht verbessert. Die Transporte verursachen auch einen vermehrten Unterhalt auf den Zufahrtsstrassen, entsprechen doch in vielen Fällen das Ausmass und die Schadenwirkung des Baustellenverkehrs dem Bewirtschaftungsverkehr von rund 20 Jahren. Zudem sollten aus ökologischen Gründen die fossilen Energieträger sparsam verwendet und die Luftschadstoff- und Lärmimmissionen verringert werden.

¹ Referat, gehalten am 8. Februar 1988 im Rahmen der Forst- und Holzwirtschaftlichen Kolloquien an der ETH Zürich.

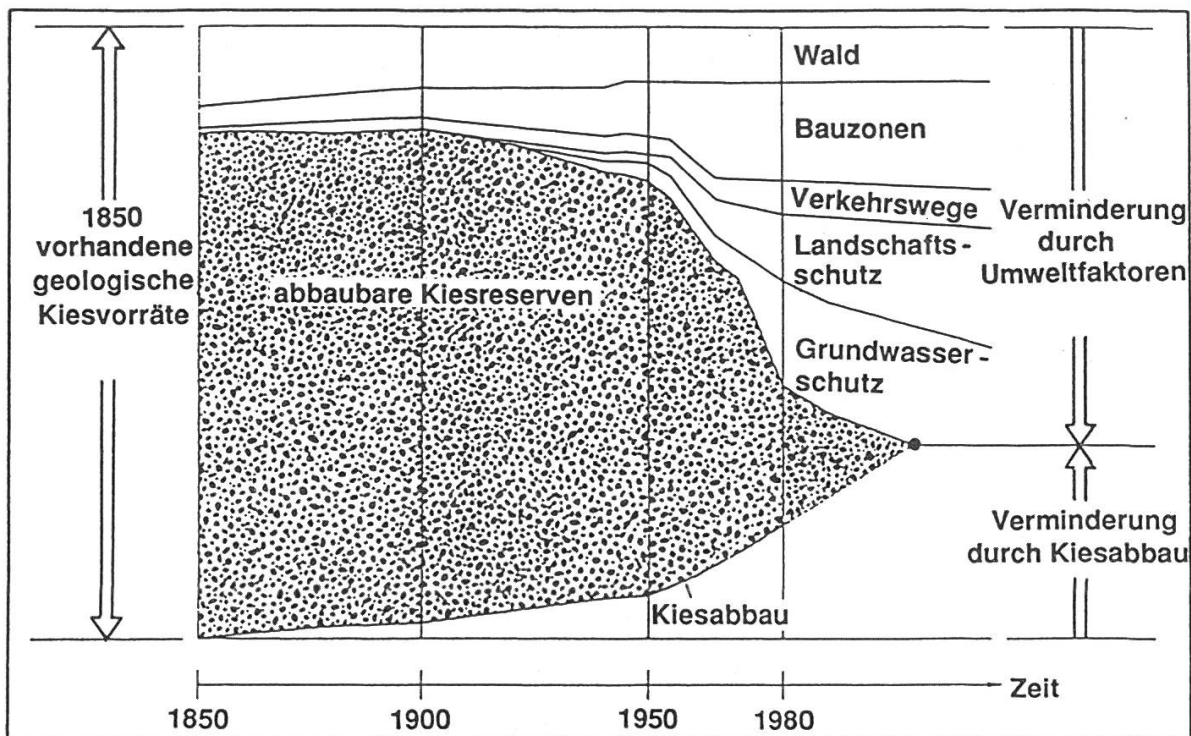


Abbildung 1. Verminderung der abbaubaren Kiesreserven 1850 bis 1980 (Jäckli/ Schindler 1986).

Ein möglicher Ansatz zur Lösung eines Teils der aufgeführten Probleme besteht in der Kiesaufbereitung im Projektgebiet. Die Aufbereitung von Kiessand sollte mit Gesteinen erfolgen, welche entweder als Abtrag beim Strassenbau anfallen oder nahe des Projektes zu finden sind.

Im Schweizer Voralpengebiet sind die Baugrundverhältnisse oft schwierig, weil Grundmoränen und Verwitterungsböden von Flysch, Molassemergeln usw. weit verbreitet und die Böden schlecht tragfähig sind. Daneben sind die Wälder der Voralpenregionen vorratsreich, jedoch meist ungenügend erschlossen, so dass der Wald- und Güterstrassenbau voranzutreiben ist. Aus diesen Gründen wurden für diese Region die Möglichkeiten von Kiessandaufbereitungen abgeklärt.

2. Geologie und Tektonik der Voralpen

Jura (vor etwa 180 Mio. Jahren): Über Mitteleuropa lag ein ausgedehntes Flachmeer von wechselnder Tiefe. Auf seinem Grund setzte sich Material, das in den Küstengebieten von den Flüssen eingeschwemmt oder weiter draussen aus dem Meerwasser ausgeschieden wurde, als Sedimentgesteine ab. Es entstanden im nördlichen Schelfbereich des Meeres die helvetischen, im Tiefseebereich die pennischen und im südlichen Schelfbereich die ostalpinen Sedimente.

Geologische Zeiteinheiten		Alter Mio. Jahre	Geologische Vorgänge	
Känozoikum	Quartär	0.01	Abtragung, Hebung der Alpen	
		1.5	5 Eis- und Zwischeneiszeiten	
	Tertiär	7	Alpine Gebirgsbildung	Helvetische Decken überfahren Molasse
		37		Molasseablagerungen
		61		Flyschablagerungen
		95		
Mesozoikum	Kreide	136	Bildung und Entwicklung der alpinen Geosynklinale durch Ausbreitung des Urmittelmeeres	
	Jura	195		
	Trias	225		
Paläozoikum		570		
Präkambrium				

Abbildung 2. Geologische Zeittafel.

Kreide (vor etwa 100 Mio. Jahren): Es setzten erste alpine Faltungsvorgänge ein: Starke Schubkräfte trieben die Landmassen nordwärts. Ein Bogen von alten, starren Rumpfgebirgen, gebildet aus Französischem Zentralmassiv, Vogesen, Schwarzwald und Böhmischer Masse, wirkte als Prellböcke für die verfrachteten Landmassen, so dass die noch weichen Sedimente verfaltet wurden.

v. a. frühes Tertiär (vor etwa 60 Mio. Jahren): Die Faltenrücken tauchten aus dem Meer auf und bildeten langgestreckte Inseln und Inselrücken, die der Verwitterung und Erosion ausgesetzt waren. Der Verwitterungsschutt wurde als so-

genannter Flysch in den helvetischen und penninischen Teiltrögen in grosser Mächtigkeit sedimentiert.

Mittleres Tertiär: Der ständig anhaltende Schub trieb die Falten immer höher, bis sie teilweise nach Norden überkippten. Weil der Alpenfaltungsschub nordwärts gerichtet war, wurden südlicher gelegene Sedimente über weiter nördlich sedimentierte Gesteine geschoben. Demzufolge bilden die Helvetischen Decken das unterste tektonische Element der Alpen. Darüber liegen die Penninischen Decken und zuoberst die Ostalpinen Decken.

Urflüsse wie Ur-Rhein, Ur-Reuss, Ur-Rhone schnitten sich in die entstehenden Decken ein und lagerten im Alpenvorland, im Molassetrog, riesige Mengen von Verwitterungs- und Erosionsschutt ab. Diese Lockergesteine verkitteten im Laufe der Zeit zu Molassegesteinen.

Nagelfluhgesteine, welche aus verkitteten Geröllen entstanden und die grösstkörnigsten Molasseablagerungen sind, wurden im allgemeinen alpennäher abgelagert als Sandsteine und Mergel, welche aus verkitteten Sanden bzw. aus verkittetem Schlamm entstanden. Doch aufgrund wechselnder Strömungsverhältnisse in den Flüssen, welche die Verwitterungsprodukte transportierten, sind auch in den alpennahen Nagelfluhgesteinen Zwischenlagen von Sandsteinen und Mergeln zu erkennen. Weil die Molassegesteine teilweise von Schüttungszentren aus abgelagert wurden, entstanden auch Nagelfluhfächer, die weit ins Mittelland hinausreichen. Eindrückliche Beispiele dafür sind die Napf- und Hörnlischüttungen.

Spätes Tertiär: Die südlich an die Molasse angrenzenden Helvetischen Decken wurden noch weiter nordwärts verfrachtet und überfuhren die Molasse. Diese wurde dabei tektonisch stark beansprucht, was unter anderem veränderte technische Eigenschaften der Gesteine zur Folge hatte. Aufgrund der unterschiedlichen tektonischen Beanspruchungen wird die Molassezone unterteilt in:

- Mittelländische Molasse (MM)
- Subalpine Molasse (SM)

Die ausgedehnten Sedimente der Mittelländischen Molasse wurden nach deren Ablagerungen tektonisch kaum beansprucht. Die Schichtung der Gesteine blieb deshalb meist flach.

Im Gegensatz zur Mittelländischen Molasse, deren Schichten flach liegen, sind jene der Subalpinen Molasse meist mässig bis stark geneigt. — Die während der Ablagerungszeit horizontal geschichteten Molassegesteine wurden in der subalpinen Zone als Folge der Alpenfaltung abgeschert und aufgeschoben. Deshalb ist die Subalpine Molasse einerseits auf die Mittelländische aufgeschoben und andererseits von den alpinen Decken teilweise überfahren worden. Die Aufschiebung der Subalpinen Molasse hat die typische Gestalt vieler Voralpenberge (zum Beispiel Rigi, Speer, Stockberg, Kronberg) zur Folge: Im Norden

den steilen Abfall gegen die Mittelländische Molasse und im Süden den sanften Abfall gegen die alpinen Decken hin, parallel zur Gesteinsschichtung.

Quartär: Weite Teile der alpinen Decken wurden durch geologische Vorgänge im Quartär umgestaltet und von eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Ablagerungen bedeckt. Der heutige Charakter der Landschaft ist somit durch quartäre Vorgänge stark geprägt.

Während des Eiszeitalters hat die Würm-Eiszeit die Landschaft als letzte glazial beeinflusst und ist deshalb für die meisten geologischen Vorgänge verantwortlich, die aus heutiger Sicht auf Gletschertätigkeiten zurückzuführen sind.

Die Nacheiszeit als gegenwärtige Zeiteinheit ist einerseits gekennzeichnet durch Verwitterung und Erosion, andererseits durch Sedimentationen, welche hauptsächlich aus Fluss- und Bachablagerungen bestehen.

Die Voralpen gliedern sich, pauschal ausgedrückt, in die Molassezone und in die Zone der alpinen Decken. Die Molassezone ihrerseits lässt sich in die Mittelländische und in die Subalpine Zone unterteilen. Die alpinen Decken gliedern sich in die Helvetischen und in die Penninischen Decken.

3. Die Gesteine der Voralpen

Weil Gesteine Produkte geologischer Vorgänge sind, lassen sich den unterschiedlichen tektonischen Zonen auch verschiedene Gesteinstypen zuordnen.

In den Voralpen sind die folgenden Gesteinszonen auszumachen:

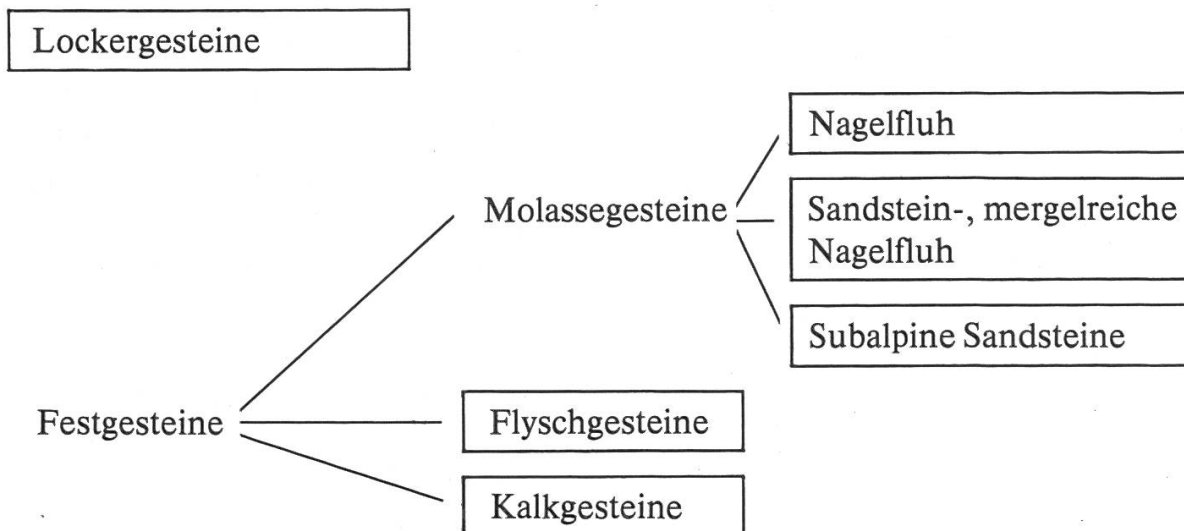
- Lockergesteine:
- Grund- und Oberflächenmoränen
 - Schwemm-, Seeboden- und Gehängelehme
 - Schotter der Eiszeit
 - Ablagerung der heutigen Wasserläufe
 - Schuttkegel
 - Bergsturzmaterial, Gehängeschutt
- Festgesteine:
- Molassegesteine:
 - Nagelfluhgesteine
 - Sandstein- und mergelreiche Nagelfluhgesteine
 - Subalpine Sandsteine
 - Mergelreiche Molassegesteine
 - Flyschgesteine:
 - Mergelreiche Flyschgesteine
 - Sandsteinreiche Flyschgesteine

- Kalkgesteine:
- Geschieferte, mergelreiche Kalkgesteine
- Massige und dichte Kalkgesteine

Die verschiedenen Gesteinstypen lassen sich den verschiedenen tektonischen Zonen zuordnen.

Während die Lockergesteine als Produkt von Verwitterung und Erosion über das gesamte Voralpengebiet verteilt sind und somit in allen tektonischen Zonen vorkommen, sind die Molassegesteine auf die Zonen der Mittelländischen und Subalpinen Molasse beschränkt. Die Flysch- und Kalkgesteine sind Gesteine der alpinen Zone und sind somit in den Helvetischen und Penninischen Decken vertreten.

Aus dem Vorangegangenen wird ersichtlich, dass zwischen Geologie, Tektonik und Geotechnik enge Beziehungen bestehen. Die Geotechnik ist im Hinblick auf Probleme der Baustoffbeschaffung das wichtigste Kriterium. Aus diesem Grund zwängte sich eine kartografische Erfassung der hauptsächlichsten Gesteine der Voralpen auf. Ich zeichnete, um Klarheit bezüglich Lokalisierung und Ausdehnung der Gesteinszonen zu schaffen, sechs geotechnische Karten im Massstab 1 : 200 000, unter Einbezug von Geologie und Tektonik, und zwar für die folgenden Gesteinszonen:



Lockergesteine

Es ist typisch für die Lockergesteine, dass sie wie bereits erwähnt über das gesamte Voralpengebiet verteilt vorkommen: sowohl in der Westschweiz wie in der Ostschweiz als auch in allen tektonischen Zonen.

Bei der Betrachtung der verschiedenen Untergruppen der Lockergesteine fällt die Dominanz der Grund- und Oberflächenmoränen auf. Die technischen Eigenschaften dieser beiden Morärentypen sind jedoch meist sehr verschieden.

Während die Grundmoränen meist einen hohen Feinanteilgehalt aufweisen und deshalb für die Kiesaufbereitung ausser Betracht fallen, ist der Anteil an grobblockigen Komponenten in den Wallmoränen meistens hoch. Wallmoränenmaterial ist deshalb für die Aufbereitung von Kiessand meistens geeignet.

Alle andern Lockergesteinstypen sind ausdehnungsmässig von untergeordneter Bedeutung.

Molassegesteine

Nagelfluhgesteine

Die Nagelfluhzone ist, nach geografischen Kriterien beurteilt, in vier Gebiete gegliedert:

- Am Genfersee die Nagelfluhvorkommen des Mont Pélerin
- Die ausgedehnte Napfnagelfluh-Schüttung
- Die grosse Hörnlinagelfluh-Schüttung
- Der ausgedehnte Streifen zwischen Thunersee- und unterem Rheintal mit den Komplexen Beichlen, Farneren – Rigi, Rossberg – Speer – Kronberg – Gäbris.

Die Nagelfluhgesteine entfallen als Molassegestein auf die beiden tektonisch unterschiedlichen Zonen der Mittelländischen und der Subalpinen Molasse. Der Mittelländischen Molasse gehören die Napf- und die Hörnlin-Schüttung an, der Subalpinen Molasse die Nagelfluhgebiete des Mont Pélerin, der Beichlen und Farneren, des Rigi und Rossberges, des Speers, Kronberges und Gäbris.

Wie bereits erwähnt, wurde die Subalpine Molasse gegenüber der Mittelländischen Molasse unter dem Einfluss der Alpenfaltung tektonisch intensiv beansprucht. Die Subalpine Nagelfluh ist deshalb gegenüber der Mittelländischen Nagelfluh durch grössere Druckfestigkeit gekennzeichnet, was sich in unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften manifestiert.

So ist die Mittelländische Nagelfluh meist schwach verkittet, die Gerölle lassen sich leicht aus dem meist sandsteinartigen Bindemittel lösen. Die Geröllkomponenten von Subalpiner Nagelfluh dagegen werden bei einer Zerkleinerung eher zerschlagen, als dass sie sich vom Bindemittel lösen würden.

Sandstein- und mergelreiche Nagelfluh

Im allgemeinen ist diese geotechnische Zone unmittelbar angrenzend an die Nagelfluhgebiete, so im Napfgebiet, im Hörnligebiet und entlang der Subalpinen Nagelfluh.

Diese Molassegesteine entfallen tektonisch ebenfalls auf die Mittelländische und die Subalpine Molasse.

Subalpine Sandsteine

Die Subalpinen Sandsteine sind vor allem in der Ostschweiz vertreten. Sie verlaufen in einem 5 bis 10 km breiten Band vom Bodensee zum Zürich-Obersee, via Ägerisee zum Zugersee und laufen im Entlebuch allmählich aus. Das einzige grössere Vorkommen in der Westschweiz ist am Genfersee, am Fusse des Mont Pélerin.

Die Subalpinen Sandsteine fallen aufgrund tektonischer Kriterien in die Zonen der Subalpinen und Mittelländischen Molasse.

Die geotechnischen Eigenschaften der Subalpinen Sandsteine sind:

- mittelstarke bis starke Verfestigung
- mittlere bis gute Beständigkeit
- bankige Ablagerungen

Flyschgesteine

Im Gegensatz zu den Molassegesteinen liegen die Hauptverbreitungsgebiete der Flyschgesteine nicht in der Ostschweiz, sondern in der Westschweiz. Es sind in den Voralpen vier grosse Flyschkomplexe erkennbar:

- In der Westschweiz sind es die beiden Komplexe der Zone Gurnigelflysch und der Zone Niesenflysch, Flysch der Breccien- und Simmendecke.
- Zwischen Thuner- und Vierwaldstättersee liegt das ausgedehnte Gebiet der Hohgantsandsteine, Schlierenflysche und der Subalpinen Flysche.
- Östlich und westlich des Sihlsees erstreckt sich als vierter Komplex das Gebiet des Wägitalerflysches, mit Ausläufern östlich des Walensees.

Nach geotechnischen Kriterien werden zwei wesentlich verschiedene Flyschtypen unterschieden: der Mergelreiche Flysch und der Sandsteinreiche Flysch.

Mergelreicher Flysch ist meist wellig, dünnsschichtig und leicht blättrig aufspaltend. Er enthält neben Kalk reichlich Quarzsplitter und feinsten Serizit. Der Witterung ausgesetzt, zerfällt er leicht durch Frost, hingegen kaum durch Wasseraufnahme. Die Verwitterungsprodukte sind tonreich, weisen einen hohen natürlichen Wassergehalt auf und sind deshalb als Baugrund äusserst problemvoll.

Im Sandsteinreichen Flysch überwiegen die Flyschsandsteine gegenüber den Mergelschiefern. Die Sandsteine bilden Lagen von wenigen Dezimetern bis mehreren Metern Mächtigkeit und wechsellagern mit Mergelschiefern. Die Körnigkeit der Flyschsandsteine ist verschieden und variiert von fein bis grob. Die Zementierung erfolgt vorwiegend durch Quarz und ist meistens sehr fest, weshalb die Flyschsandsteine von grosser Festigkeit und Wetterbeständigkeit sind und deshalb zu den härtesten Gesteinen des Alpenraumes zählen.

Mergelreiche Flysche sind der Flysch der Klippendecke, der Subalpine Flysch und der Wägitalerflysch. Sandsteinreiche Flysche sind meistens der Gurnigelflysch, Niesenflysch, Flysch der Simmendecke, Hohgantsandsteine und Schlierenflysch.

Kalkgesteine

Die Kalkgesteine entsprechen der Übergangszone von den Voralpen zu den Alpen und bilden ein durchgehendes Band vom Genfersee zum Rheintal.

Die Kalke wurden in zwei Typen unterteilt. Die massigen, dichten Kalksteine eignen sich aufgrund von Erfahrungen vorzüglich für die Kiessandaufbereitung. Hingegen können die mergelreichen, meist geschieferten Kalksteine praktisch nie zu Kiessanden aufbereitet werden.

Der Wechsel dieser beiden Kalktypen ist auffällig intensiv, so dass für die Kalkaufbereitung gut und schlecht geeignete Kalksteine nahe beieinander liegen. Die Baustoffbeschaffung in der Kalkzone ist deshalb problemlos.

Flächenanalyse

Nachdem die hauptsächlichen Gesteine der Voralpen nun vorgestellt und bezüglich Verbreitung und Eigenschaften charakterisiert wurden, sollen jetzt deren Flächenausdehnungen diskutiert werden.

Die Landoberfläche der Voralpen gliedert sich in die folgenden Gesteinszonen:

Lockergesteine	39 Flächen-%
Grund- und Oberflächenmoränen	22%
Schwemm-, Seeboden-, Gehängelehme	2%
Schotter der Eiszeit	2%
Ablagerungen der heutigen Wasserläufe	6%
Schuttkegel	1%
Bergsturzmaterial	6%
Festgesteine	61 Flächen-%
Molassegesteine	33%
Nagelfluh vorwiegend	19%
Sandstein- und mergelreiche Nagelfluh	8%
Subalpine Sandsteine	6%
Flyschgesteine	9%
Mergelreicher Flysch	4%
Sandsteinreicher Flysch	5%
Kalkgesteine	19%
Massige und dichte Kalkgesteine	13%
Mergelreiche Kalksteine, meist geschiefert	6%

4. Laborversuche

Mittels Laborversuchen wurden aufbereitete Gesteine der Voralpen auf ihre bodenmechanischen Eigenschaften hin untersucht. Diese Tragschichtmaterialien wurden durch Rippeln oder Sprengen und/oder Brechen aufbereitet.

Die Eignung von Kiessanden als Tragschichtmaterialien kann aufgrund verschiedener Kriterien beurteilt werden. Je mehr Eigenschaften bekannt sind, um so differenziertere Materialbeurteilungen sind möglich.

Die Kiessande wurden im Labor auf folgende Kriterien hin untersucht:

- Kornverteilung
- Karbonatgehalt
- Plastizitätseigenschaften
- Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften
- Quellungen und Hebungen

Kornverteilung

Die Kornverteilung dient sowohl der allgemeinen Beurteilung und Klassifikation der Böden als auch der Beurteilung der Verdichtbarkeit, der Wasserdurchlässigkeit, der Frostempfindlichkeit und der Stabilisierbarkeit. Die Kornverteilung vermittelt somit einen sehr guten Überblick über die bodenmechanischen Eigenschaften. Sie wurde deshalb für jede Probe als erste Laboruntersuchung durchgeführt.

Die Kornverteilung gibt den Anteil der einzelnen Korngrössengruppen oder Fraktionen in einer Bodenprobe an.

Zum Kurvenverlauf:

Um hohe Tragfähigkeiten zu erreichen, muss eine dichte Lagerung des Materials angestrebt werden. Feinere Körner müssen die Hohlräume zwischen den gröberen Körnern ausfüllen. Hohlraumarme Gemische werden erreicht, wenn die Kornverteilungskurve einer Parabel entspricht.

Zu den Feinanteilen:

Die Frostsicherheit von Kiessanden ist im allgemeinen stark abhängig vom Feinanteilgehalt. Das von Casagrande empirisch hergeleitete Frostkriterium bezieht sich auf den Masseanteil beim Korndurchmesser von 0,02 mm. Sind bei diesem Durchmesser weniger als 3 Masse-% vorhanden, ist das Material froststabil. Mit zunehmendem Feinanteilgehalt steigt die Wahrscheinlichkeit von Frostschäden, wobei eine quantitative Voraussage unmöglich ist.

Karbonatgehalt

Die Erfahrung zeigt, dass karbonhaltige Materialien nach der Verdichtung durch eine Art Langzeitabbindevorgang verkittet werden, was sich positiv auswirkt auf die Stabilität des Materials.

Plastizitätseigenschaften

Die Plastizität des Feinanteils beeinflusst die Stabilitätseigenschaften eines Kiessandes. Je höher der Plastizitätsindex ist, um so empfindlicher reagieren die Feinanteile auf Wasser- und Frosteinwirkungen.

Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften

Die Festigkeitseigenschaften sowie die Veränderung der Tragfähigkeit durch Wasser- und Frosteinwirkung werden mit Hilfe des CBR-Versuches bestimmt (CBR: California Bearing Ratio). Der CBR-Wert vergleicht die Festigkeit des zu prüfenden Materials mit einem Standardmaterial.

Die CBR-Werte geben Aufschluss über die Festigkeit der Proben. Es lassen sich Wassergehalte und Raumgewichte der Probematerialien sowie die Umgebungsfaktoren durch Wasserlagerung und Frosteinwirkung variieren, so dass deren Einflüsse auf die Festigkeit bestimmt werden können.

Folgende CBR-Werte werden auseinandergehalten:

- CBR 1: CBR-Wert, der unmittelbar nach der Verdichtung gemessen wird.
- CBR 2: CBR-Wert, der nach der Verdichtung und anschliessender Wasserlagerung (minimal 4 Tage) gemessen wird.
- CBR 3: CBR-Wert, der nach der Verdichtung, Wasserlagerung und anschliessendem Frost-Auftauzyklus gemessen wird.

Die Festigkeit und die Wasser- und Froststabilität sind definiert als:

- Festigkeit: CBR 1
- Wasserstabilität CBR 2 / CBR 1
- Froststabilität CBR 3 / CBR 1

Während der Feinanteilgehalt eines Bodens einen Eindruck gibt über die ungefähre Frostgefährdung, können aufgrund der CBR-Versuche die Wasser- und Froststabilitäten zuverlässig bestimmt werden.

Der grosse Nachteil von CBR-Versuchen liegt beim grossen Arbeitsaufwand. Die dafür notwendige Arbeitszeit beträgt rund ein Mannmonat pro Material. Deshalb werden CBR-Versuche, trotz aussagekräftiger Resultate, wenig durchgeführt.

Quellungen, Hebungen

An den Proben, welche für die CBR 2- und CBR 3-Versuche vorbereitet werden müssen, lassen sich während der Wasserlagerung die Quellungen und während der Befrostung die Frosthebungen ermitteln. Sie sind ein Mass für die Konstanz des Volumens bei Wasser- und Frosteinwirkung.

5. Untersuchte Proben

Von sämtlichen Proben wurden die im vorangegangenen Kapitel erläuterten bodenmechanischen Eigenschaften bestimmt.

Wie erwähnt sind die CBR-Versuche sehr aufwendig, so dass nur die wichtigsten Gesteine der Schweizer Voralpen untersucht werden konnten.

Obwohl die Grund- und Oberflächenmoränen die grösste geotechnische Zone der Voralpen bilden, wurden sie nicht untersucht: Einerseits ist bekannt, dass die Kiesaufbereitung in Wallmoränenmaterial grundsätzlich möglich ist, ihre Wirtschaftlichkeit aber oft vom unbrauchbaren Feinanteilgehalt abhängt. Andererseits streut die Kornverteilung von Moränenmaterial stark, so dass eine grosse Anzahl Proben notwendig wäre, um repräsentative Aussagen bezüglich mechanischer Eigenschaften machen zu können.

Die Zone der Molassenagelfluh ist mit 19% Flächenanteil die häufigste Festgesteinszone der Voralpen.

Zum einen variieren die geotechnischen Eigenschaften in den verschiedenen Molassezonen stark, aufgrund der unterschiedlichen Tektonik, zum andern wurden die Nagelfluhgesteine in zwei Schüttungskomplexen angelegt, der Napf- und der Hörnliregion.

Von diesen Erkenntnissen ausgehend wurden fünf Nagelfluhproben für die Laboruntersuchungen gewählt. Die Probenahmen beziehen sich übrigens auf die Entnahmeorte der Proben:

	<i>Region Napf</i>	<i>Region Hörnli</i>
Mittelländische Molasse	Probe Romoos Probe Eggwil	Probe Wald —
Subalpine Molasse	Probe Heiligkreuz	Probe Appenzell

Die massigen und dichten Kalksteine bedecken 13% der Voralpenfläche. Die guten technischen Eigenschaften und ihre Eignung für die Kiesaufbereitung sind bekannt. Trotzdem wurde die Probe Geissalp untersucht, denn die Resultate sollen als Referenzwerte für den Vergleich mit den restlichen Probeergebnissen verwendet werden.

Aus Erfahrung ist bekannt, dass Ablagerungen der heutigen Wasserläufe problemlos zu qualitativ guten Kiessanden aufbereitet werden können. Während des Wassertransportes werden Weichgesteine nämlich schon nach kurzer Zeit durch die fluviale Erosion zerlegt, und die entstehenden Feinanteile werden ausgewaschen, so dass widerstandsfähige Lockergesteine mit sehr geringen Feinanteilgehalten abgelagert werden.

Bergsturzmaterial und Gehängeschutt sind in ihren petrografischen Zusammensetzungen und Eigenschaften durch den anstehenden Fels bestimmt.

Laboruntersuchungen sind deshalb nicht notwendig, obwohl Gehängeschutt häufig aufbereitet wird.

Die Sandstein- und mergelreiche Nagelfluh ist ein Mischgestein verschiedener Molassegesteinstypen und ist deshalb für Laborversuche wegen fehlender Repräsentativität ungeeignet.

Die Subalpinen Molassesandsteine haben an den Gesamtvoralpen einen geringen Flächenanteil. Sie sind jedoch in der Ostschweiz von regionaler Bedeutung und sollen deshalb auch Laborversuchen unterzogen werden. Die Probe Rooterberg wurde einem aus Plattensandstein aufbereiteten Kiessand entnommen.

Auch die Sandsteinreichen Flysche sind gemessen an den Gesamtvoralpen von geringer Ausdehnung, haben aber in der Westschweiz regionale Bedeutung. Der untersuchte Flyschsandstein entspricht der Probe Habkern.

Der Aufbereitung der geschieferten, meist mergelreichen Kalke kommt keine Bedeutung zu. Sie wurden deshalb nicht untersucht.

Zusammenstellung der acht untersuchten Proben:

<i>Molassegesteine</i>	Nagelfluh	MM:	Probe Romoos	Probe Wald
		SM:	Probe Eggwil	
	Subalpine Sandsteine:		Probe Heiligkreuz	Probe Appenzell
			Probe Rooterberg	
<i>Flyschgesteine</i>	Sandsteinreicher Flysch:		Probe Habkern	
<i>Kalkgesteine</i>	Massiger und dichter Kalk:		Probe Geissalp	

6. Resultate der bodenmechanischen Untersuchungen und Folgerungen

Ich werde mich auf die wesentlichsten Ergebnisse beschränken und diese mit den entsprechenden Folgerungen versehen.

Kornverteilung

Aufgrund der Kornverteilung und der Plastizität der Feinanteile lassen sich die untersuchten Proben den folgenden USCS-Klassen zuordnen:

Feinanteilgehalt 0 – 5 Masse-%:	Probe Eggwil:	GW
	Probe Appenzell:	GW
	Probe Habkern:	GP
Feinanteilgehalt 5 – 15 Masse-%:	Probe Romoos:	GM
	Probe Wald:	GM
	Probe Heiligkreuz:	GM
	Probe Rooterberg:	GM
	Probe Geissalp:	GM

Die Kornverteilungslinie von durch Rippeln, Sprengen und/oder Brechen aufbereiteten Materialien weisen einen charakteristischen Verlauf auf: durch Vorgänge der Materialaufbereitung entstehen Kiessande, deren Hauptmasseanteile der Grobkiesfraktion entsprechen. Daneben entstehen auch beachtliche Mengen von Feinanteilen, während nur ein kleiner Teil Körner der Sandfraktion angehört.

Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften

In der Regel sind die CBR-Werte bei entsprechenden Wassergehalten der Grösse nach wie folgt geordnet: $CBR\ 1 > CBR\ 2 > CBR\ 3$.

Ausnahmsweise sind CBR 2 bzw. CBR 3 grösser als CBR 1, was einer Erhöhung der Festigkeit nach Wasserlagerung bzw. Frost-Auftauzyklus entspricht.

Die Wasser- wie die Froststabilitäten der einzelnen Proben variieren beträchtlich und liegen zwischen 0,4 und 1,2. Das Mass der Stabilitäten reicht also von eher tief bis sehr hoch.

Die Grössen der CBR-Werte sind stark abhängig von den Einbauwassergehalten. Beim optimalen Wassergehalt sind die CBR-Werte am höchsten und fallen sowohl auf dem trockenen wie auf dem nassen Ast der Verdichtungskurve stark ab. Für die Grösse der Tragfähigkeit ist der Verdichtungswassergehalt somit sehr bedeutend.

Die optimalen Wassergehalte variieren zwischen den verschiedenen Materialproben sehr wenig und betragen 5 bis 7%.

Trockenraumgewichte:

Die optimalen Trockenraumgewichte variieren analog den Wassergehalten sehr wenig. Die maximalen Trockenraumgewichte betragen bei optimalen Wassergehalten 21 bis 23 kN/m³. Diese hohen Werte lassen auf eine gute Verdichtungsfähigkeit der untersuchten Proben schliessen.

Quellungen und Frosthebungen:

Bei allen Proben sind Quellungen bei Wasserlagerung und die Hebungen bei Frosteinwirkung relativ klein. Sämtliche Werte liegen in einer Grössenordnung, die erfahrungsgemäss zu keinen Schäden führt. Alle Proben können somit als volumenstabil betrachtet werden.

Qualitätsbeurteilung:

Aufgrund der Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften lassen sich die untersuchten Proben zweckmässigerweise in drei Gruppen unterteilen:

- Hohe Festigkeiten, hohe Stabilitäten:
Proben Appenzell, Rootenberg, Habkern, Geissalp
- Mittlere bis hohe Festigkeiten, mittlere bis hohe Stabilitäten:
Proben Wald, Eggiwil

- Mittlere Festigkeiten, mittlere bis tiefe Stabilitäten:
Proben Romoos, Heiligkreuz.

Nun geht es darum, diese verbal umschriebenen Qualitäten quantitativ zu fassen. Für die verschiedenen Proben sollen anhand von Vergleichsmaterialien die Tragfähigkeitskoeffizienten, als a-Wert definiert, bestimmt werden. Als Vergleichsmaterialien, von denen Festigkeiten, Stabilitäten und a-Werte bekannt sind, werden neben AASHO-Materialien auch Kiessande I und II, welche in der SN-Norm 670 120b definiert sind, herangezogen.

Aus diesem Vergleich resultieren die folgenden Erkenntnisse:

- Obwohl die Qualitätsunterschiede zwischen den einzelnen Proben beträchtlich sind, können doch alle untersuchten Kiessande als Tragschichtmaterialien für Wald- und Güterstrassen verwendet werden.
- Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte) von ...

... *Kiessanden I und II*

Kiessand I	gebrochen:	a-Wert = 0,14
	rund:	a-Wert = 0,11
Kiessand II		a-Wert = 0,07

... *Probematerialien*

Proben Appenzell, Rootenberg, Habkern,	
Geissalp:	a-Wert = 0,14
Proben Wald, Eggiwil:	a-Wert = 0,11
Proben Romoos, Heiligkreuz:	a-Wert = 0,07

Diese Resultate zeigen, dass aus Voralpengesteinen Tragschichtmaterialien aufbereitet werden können, die gleiche Tragfähigkeitswerte erreichen wie Kiessande I und II und für den «kleinen» Strassenbau somit vorzüglich geeignet sind.

7. Kiessandaufbereitung

Vom Ausgangsgestein bis zum für unterschiedliche Verwendungszwecke aufbereiteten Kiessandmaterial sind verschiedene Arbeitsschritte notwendig. Abhängig vom Charakter des Ausgangsgesteins, wie Gesteinstyp, Härte, Feinanteilgehalt usw., sind die Aufbereitungsverfahren bezüglich Maschineneinsatz und Anzahl notwendiger Teilarbeiten verschieden.

Kiesaufbereitung mittels Brechanlagen

Natürlich vorkommende Lockergesteine oder durch Abbau von Festgesteinen erzeugte Lockergesteine haben zu selten die angestrebte Korngrösse und Korngrössenzusammensetzung, als dass sie unbehandelt als Kiese für den Stras-

senbau eingesetzt werden könnten. Sie müssen also meist zerkleinert und fraktioniert werden.

Für den Aufbereitungsvorgang von Kiessanden aus Lockergesteinen müssen allenfalls die folgenden vier Maschinenkomponenten eingesetzt und miteinander kombiniert werden:

- Aufgeber
- Brecher
- Siebe
- Förderer

Brecher:

Bei der bereits angesprochenen Zerkleinerung von Lockergesteinsmaterial handelt es sich um eine Verringerung der Stückgrösse auf ein bestimmtes Mass, das von der verlangten Dimension des aufzubereitenden Materials abhängt.

Vorteilhaft wäre es, wenn mit einer einzigen Maschine aus dem zu verarbeitenden Lockergestein das Endprodukt hergestellt werden könnte. Mit den heute zur Verfügung stehenden Maschinen ist dies wirtschaftlich jedoch meist nicht machbar, denn jeder Brecher hat ein begrenztes Zerkleinerungsvermögen. Deshalb ist in der Regel eine Zerkleinerung in zwei bis drei Stufen erforderlich, um ein aufgegebenes Lockergesteinsmaterial zum erwünschten Kiessandmaterial zu verarbeiten. Es wird zwischen Vor- und Nachbrechern unterschieden.

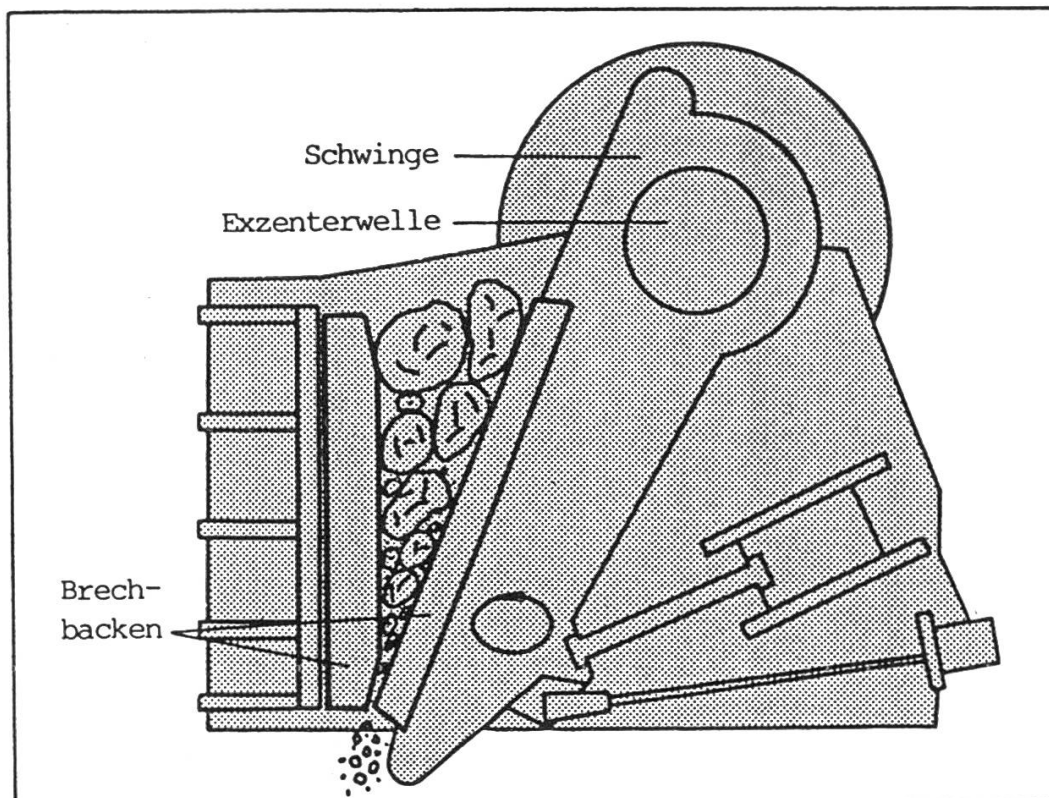


Abbildung 3. Backenbrecher.

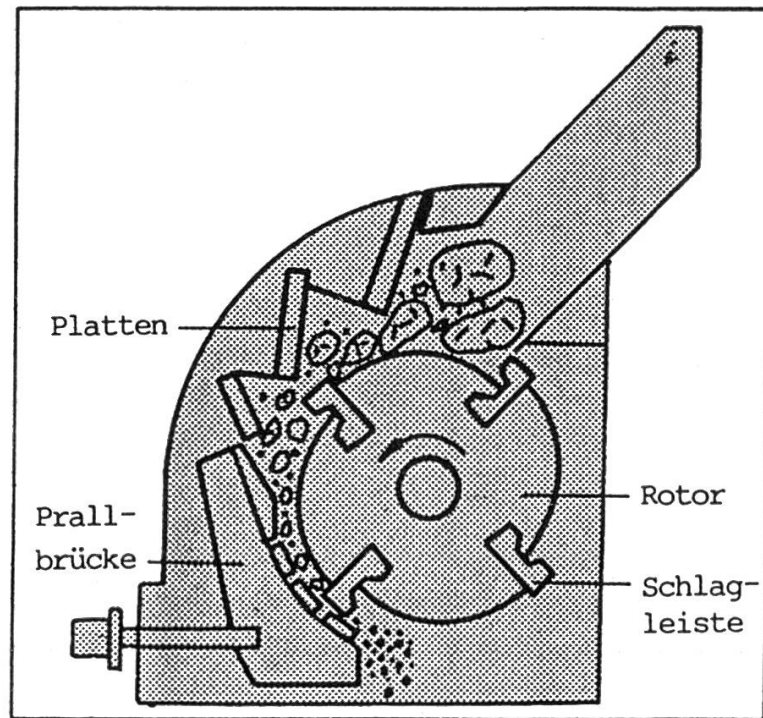


Abbildung 4. Prallbrecher.

Vorbrecher:

Es hat sich gezeigt, dass der Backenbrecher in den meisten Fällen der ideale Vorbrecher ist, vor allem in mobilen Brechanlagen.

In einem Backenbrecher (siehe *Abbildung 3*) erfolgt das Brechen des Materials zwischen einer festen und einer beweglichen Brechbacke. Die bewegliche Brechbacke ist an einer Schwinge befestigt, die eine kauende Bewegung von einer Exzentervorrichtung erhält. Der Backenbrecher arbeitet nicht kontinuierlich, was auf der kauenden Bewegung der Schwinge beruht. Brechen erfolgt nur, wenn sich die Schwinge gegen die feste Brechbacke bewegt.

Nachbrecher:

Neben kleiner dimensionierten Backenbrechern werden Prallbrecher und Hammermühlen als Nachbrecher eingesetzt.

Der Prallbrecher (siehe *Abbildung 4*) ist gekennzeichnet durch eine relativ einfache Konstruktion mit einer kleinen Anzahl beweglicher Teile. Er liegt grundsätzlich auf einem mit Platten und Schleissblechen verkleideten Blechgehäuse, in dem ein waagrechter Rotor mit festen Schlagleisten montiert ist.

Der Zerkleinerungsverlauf ist schnell im Vergleich zum langsam brechenden Backenbrecher. Da der Rotor einen extrem hohen Energieimpuls auf das Bruchmaterial ausübt, zerfällt dieses vor allem in seinen Spalten und schwächsten Zonen. Der Zerkleinerungsgrad wächst mit der Drehgeschwindigkeit des Rotors.

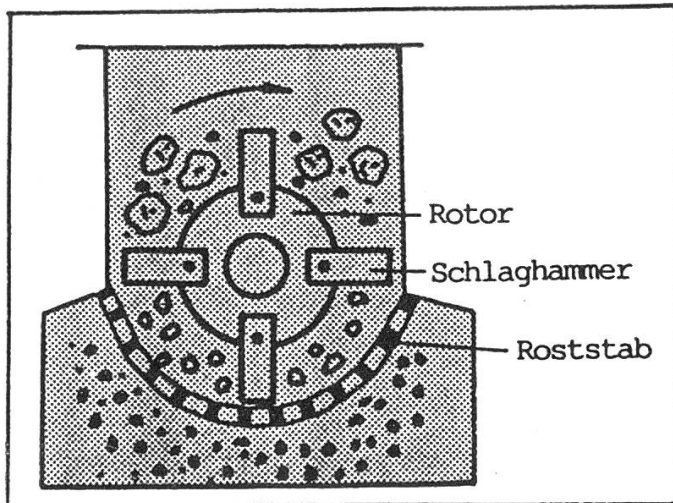


Abbildung 5. Hammermühle.

Bei gewissen Prallbrechern kommt eine Prallbrücke vor, die den Brechvorgang verstärkt, was neben grösserem Verschleiss der Brechwerkzeuge eine genauere Kontrolle der maximalen Stückgrösse des Endproduktes bewirkt.

Die Hammermühle (siehe *Abbildung 5*) erreicht einen sehr hohen Zerkleinerungsgrad. Die Konstruktion erinnert an die des Prallbrechers. Der Unterschied liegt in den gelenkig am Rotor befestigten Schlaghämmern und den am Unterteil der Hammermühle befestigten Roststäben, zwischen denen das gebrochene Material die Maschine verlässt.

Durch die Wahl von Drehzahl und Abstand zwischen den Roststäben lässt sich die Stückgrösse des Brechgutes bestimmen.

Für eine bestimmte Brechaufgabe können die dafür notwendigen Brechertypen zwar theoretisch ermittelt werden, doch zeigt sich in der Praxis, dass verschiedene wesentliche Einflussgrössen in den Berechnungen nicht erfasst werden können. Die praktische Erfahrung ist deshalb eine wesentliche Voraussetzung für die Wahl der richtigen Maschinen und ihren optimalen Einsatz.

Die Wahl der Brechgrösse hängt von der Grösse der Aufgabestücke und den gewünschten Leistungen ab. Grundsätzlich sollten grosse Brecher verwendet werden, denn einerseits entsteht durch die Verarbeitung von Steinen und Blöcken feinanteilärmeres, verkeilendes Kiessandmaterial, und andererseits wird die Gefahr des Hängenbleibens von aufgegebenen Gesteinsstücken verringert.

Die Brechleistung sollte so gross sein, dass die andern eingesetzten Maschinen wie Bagger, Trax usw. ebenfalls ausgelastet sind.

Es ist wichtig, dass die eingesetzten Brecher bezüglich Aufgabeöffnung und Leistung aufeinander abgestimmt sind, damit ein reibungsloser Produktionsablauf gewährleistet ist.

Siehe:

Siebe sind in den Brechern die wesentlichsten Elemente einer Kiesaufbereitungsanlage. Ihre Bedeutung nimmt zu, je grösser die Feinanteilgehalte der auf-

zubereitenden Ausgangsgesteine sind. Nur wenn durch den gezielten Einsatz von Sieben die Feinanteile verringert werden können, erfüllt das aufbereitete Material die gestellten Qualitätsanforderungen.

Die zentrale Aufgabe der Siebe bei der Materialaufbereitung wird oft verkannt, weshalb vielfach ausschliesslich Brecher eingesetzt werden. Das aufbereitete Material, das lediglich gebrochen, nicht aber gesiebt wurde, weist deshalb meist eine schlechte Qualität auf, das heisst niedrigere Festigkeits- und Stabilitätswerte als entsprechendes Material, dessen Feinanteilgehalt durch Siebe verringert wurde.

Förderer:

Den auf Brechanlagen eingesetzten Förderbändern kommen zwei Aufgaben zu. Einerseits haben sie den Gesteinsmaterialtransport von Brechern zu Sieben und umgekehrt zu bewältigen. Andererseits haben sie die fertig aufbereiteten Endprodukte an ihre Ablageorte zu befördern.

Ausschreibung von Kiessandaufbereitungen mittels Brechanlagen

In einer Ausschreibung muss zunächst formuliert werden, welche Materialien in welchen Kubaturen aufzubereiten sind:

- Tragschichtmaterial
- Planiematerial
- Verschleisschichtmaterial
- Sickermaterial

Nicht nur der Typ des Kiessandes, sondern auch die an ihn gestellten Qualitätsanforderungen müssen definiert und umschrieben werden, denn es genügt keineswegs, wenn in einer Ausschreibung lediglich das Aufbereiten von Kiessanden verlangt wird, nicht aber deren Qualität.

Um sicher zu sein, dass das verlangte Material den Qualitätsvorstellungen des Projektierenden entspricht, müssen die folgenden Kriterien definiert und während der Aufbereitungsarbeiten auch kontrolliert werden:

- Grösstkorn (Minimum, Maximum)
- Kornabstufung und -verteilung (Angabe eines zulässigen Kornverteilungsbereiches)
- Zulässige Feinanteilgehalte bei 0,02 mm oder bei 0,06 mm
- Angabe der Plastizität der Feinanteile (Minimum, Maximum).

8. Schlussbemerkungen

Obwohl die Prognosen über die Reserven von hochwertigen Alluvialkiesen nicht ganz rosig sind, ist zumindest in den Voralpen kein Engpass in der Bereitstellung von Kiessanden für Wald- und Güterstrassen zu befürchten.

Wie früher, als noch keine oder nur sehr beschränkte technische Hilfsmittel zur Verfügung standen und hauptsächlich von Hand gearbeitet wurde, sollte auch heute, aus ökologischen und ökonomischen Gründen, die Aufbereitung von Kiessanden wieder vermehrt unmittelbar im Projektgebiet erfolgen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Voraussetzungen dafür gut sind, denn auf rund 70% der Voralpenfläche sind für die Kiesaufbereitung geeignete Gesteine aufgeschlossen. Auch besitzen bereits verschiedene Bauunternehmer aufgrund jahrelanger Erfahrungen das notwendige Know-how für die Kiesaufbereitung mittels mobiler Brechanlagen.

Es bleibt zu hoffen, dass sich neben Forst- und Kulturingenieuren, als Spezialisten des «kleinen» Strassenbaus, auch Bauunternehmer wieder vermehrt für die projektbezogene Baustoffbeschaffung interessieren und dieser wieder zu neuem Glanz verhelfen werden.

Résumé

Préparation de graves pour la construction de routes forestières et rurales dans les Préalpes

Malgré qu'en Suisse les réserves en matériaux graveleux soient encore considérables, le gravier devient de plus en plus une matière rare, car en raison d'exigences supérieures (protection de la nature, sauvegarde des réserves en eau potable, etc.), les réserves de gravier exploitables sont limitées. En outre, les transports de gravier de l'endroit d'exploitation au chantier sont onéreux et provoquent de grandes immissions (gaz d'échappement, bruit, entretien, accidents, etc.). Pour ces raisons, il est souvent avantageux d'extraire les matériaux graveleux dans la région du projet.

Dans les Préalpes, le sous-sol rocheux est essentiellement constitué de roches de la Molasse et du Flysch, ainsi que de roches calcaires. Ces formations rocheuses sont à fleur de terre sur environ 60% de la surface des Préalpes. Les 40% restant sont recouverts de sols meubles.

Les moraines sont les dépôts superficiels les plus importants des Préalpes. Parmi le sous-sol rocheux, les roches calcaires se rencontrent sur environ 20%, celles du Flysch sur environ 10% et enfin celles de la Molasse sur environ 30% de la surface des Préalpes.

Les courbes granulométriques des différents échantillons de sol analysés en laboratoire se distinguent de la courbe de Fuller par leur plus grande teneur en gros gravier, par leur plus petite teneur en sable et finalement par leur plus grande teneur en particules fines.

Malgré que la différence de qualité entre les échantillons analysés soit grande (portance, stabilité à l'eau, stabilité au gel), tous les matériaux examinés sont utilisables pour la couche de support des routes forestières et rurales.

Le traitement des matériaux graveleux est réalisé au moyen d'installations de concassage qui sont équipées de tamis, de concasseurs et de bandes transporteuses. Le nombre de machines à utiliser et leur disposition à l'intérieur du processus de production dépendent des propriétés du matériau de base et de la qualité requise de la grave traitée.

Traduction: *E. Burlet*

Literatur

Winkler, M. Aufbereitung von Kiessand für Wald- und Güterstrassen in den Schweizer Voralpen. Eine Untersuchung über die Verbreitung und Eigenschaften der häufigsten Gesteine. Diss. ETH Nr. 8469, Zürich 1988.