

Boden und Strassenunterbau

Autor(en): **Kuonen, V.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **91 (1973)**

Heft 10: **Baumaschinen und Bauverfahren**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71822>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Boden und Strassenunterbau

DK 625.731

Von Prof. V. Kuonen,¹⁾

1. Aufgabenstellung

In den letzten zwei Jahrzehnten forderte die Öffentlichkeit energisch ein grösseres und leistungsfähigeres Strassenetz. Die Behörden, Planer und Bauleiter wurden zu raschem Handeln gezwungen, so dass bei der Planung und beim Bau dieser Strassen den Fragen des Umweltschutzes, der Erhaltung von Naturlandschaften, der Niedrighaltung der Transporte und weiteren oekologischen Problemen nicht genügend Beachtung geschenkt werden konnte.

Die gleiche Öffentlichkeit, die immer mehr Autos kauft und deshalb mehr und bessere Strassen verlangt, verweigert heute mit der Begründung des Umweltschutzes die Ausführung projektierte und beschlossene Bauten. In der Sorge um die Erhaltung eines gesunden Lebensraumes betreiben Volk und Behörden eine aktive und engagierte Strassenbaupolitik, die nicht mehr gewillt ist, den Strassenbau allein den Ingenieuren zu überlassen. Muss uns Strassenbauern diese Entwicklung nicht zu denken geben? Zwingen uns diese Forderungen nicht, Selbstkritik und Selbstbesinnung zu üben, Besinnung auf die Frage nämlich, ob wir beim Strassenbau auf die Ansprüche des Menschen, die Gegebenheiten der Natur und der Umwelt genügend Rücksicht nehmen?

Es ist daher der BP - Schweiz zu danken, dass sie dieses Jahr ihre traditionelle Fachtagung über den bituminösen Strassenbau in einen anderen Rahmen stellt und Gedanken und Überlegungen zu einem umweltfreundlicheren Strassenbau darlegen lässt. Zur Erreichung von konkreten und ausführbaren Ergebnissen wird das Programm bewusst nur auf den eigentlichen Bau der Strassen beschränkt, während die ebenso wichtigen Probleme der Planung, der Linienführung usw. nicht behandelt werden. Mir fällt dabei die Aufgabe zu, Gedanken zu einem umweltfreundlicheren Strassenunterbau darzulegen. Dies mag ein schwieriges Unterfangen sein, und es besteht grosse Gefahr schlussendlich als Utopist und Theoretiker dazustehen. Viele Praktiker schenken dem Umweltschutz bereits grosse Beachtung, und ich bin mit diesen der Meinung, dass durch kleine Taten vieler mehr für den Umweltschutz getan wird, als durch das viele, zur Mode gewordene Reden und Schreiben weniger. Ingenieure, die Bücher über Umweltschutz schreiben, sich in ihren gutbezahlten Projekten aber keineswegs umweltfreundlich verhalten, wirken unglaubwürdig.

2. Umweltbelastung durch Strassenunterbauarbeiten

Die Immissionen auf die Umwelt durch die Arbeiten des Strassenunterbaues: Abtrag, Transport, Schüttung, Deponie, Verdichtung, Erstellung von Kunstbauten usw. sind hinrei-

chend bekannt (Wasser- und Luftverschmutzung, Lärm). Das Ziel einer umweltfreundlichen Ausführung des Unterbaues besteht daher in einer möglichst starken Verringerung dieser Umweltbelastungen.

Der Unterbau steht in einer engen Wechselbeziehung mit dem Strassenoberbau. Er gewinnt zusätzlich an Umweltfreundlichkeit, wenn er so ausgeführt wird, dass auch die Arbeiten des Strassenoberbaus die Umwelt weniger belasten. Dieses Ziel wird erreicht durch die Verwendung von örtlichen, im Projektgebiet anfallenden Materialien und durch die Erstellung eines möglichst gleichmässigen und tragfähigen Unterbaus, so dass die Oberbauschichten dünner gehalten werden können. Die Erreichung eines umweltfreundlichen Strassenunterbaus scheint also vor allem in der Verwendung der örtlichen Materialien und in der Anwendung einer immissionsarmen Transporttechnik zu liegen. Es lohnt sich somit, diesen Problemen nachzugehen.

Die Luft wird durch die Abgase der Motoren und durch die Staubentwicklung auf Zufahrtsstrassen und Transportpisten verschmutzt. Motoren und Transportfahrzeuge verursachen gleichzeitig auch Lärm. Verbesserungen auf diesem Gebiet würden also darin bestehen, die Transporte entweder zu verringern oder eine umweltfreundlichere Transportart zu finden.

3. Eignung vorhandener Böden als Unterbauwerkstoff

Um Lösungen zeigen zu können, müssen wir uns zunächst etwas mit dem wichtigsten Werkstoff für den Strassenbau, mit dem anstehenden Boden, befassen. Abgesehen von

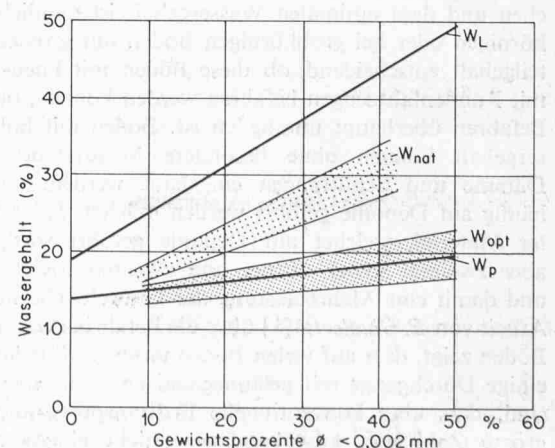


Bild 1. Abhängigkeit der Bodeneigenschaften vom Tongehalt. W_L Wassergehalt bei der Fließgrenze, W_p Wassergehalt bei der Ausrollgrenze, W_{nat} natürlicher Wassergehalt, W_{opt} optimaler Wassergehalt

¹⁾ Vortrag, gehalten an der Fachtagung 1973 der Benzin und Petroleum AG Zürich (BP) über Strassenbau am 23. Januar in Bern, am 24. Januar in Luzern und am 25. Januar in Zürich.

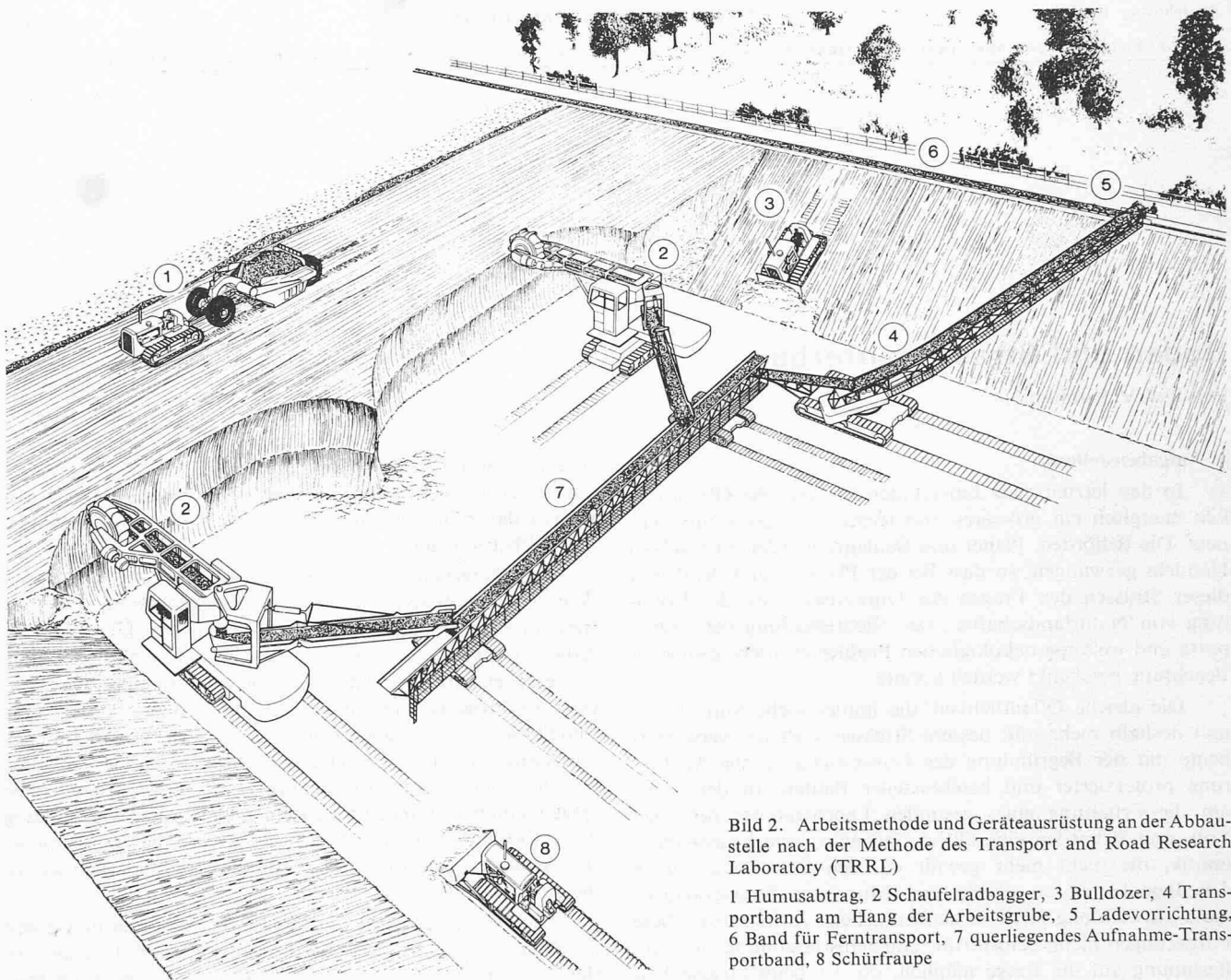


Bild 2. Arbeitsmethode und Geräteausrüstung an der Abbaustelle nach der Methode des Transport and Road Research Laboratory (TRRL)

1 Humusabtrag, 2 Schaufelradbagger, 3 Bulldozer, 4 Transportband am Hang der Arbeitsgrube, 5 Ladevorrichtung, 6 Band für Ferntransport, 7 querliegendes Aufnahme-Transportband, 8 Schürfraupe

wenigen grobkörnigen Böden können wir für die Schweiz generell festhalten, dass mit zunehmendem Feinanteil des Bodens die Differenz zwischen dem natürlichen und dem optimalen Wassergehalt immer grösser wird. Mit anderen Worten: feinkörnige Böden oder grobkörnige Böden mit hohem Feinanteilgehalt sind bei den Niederschlagsverhältnissen des Mittellandes und besonders des Voralpengebietes meist vernässt (Bild 1). Die Differenz zwischen dem natürlichen und dem optimalen Wassergehalt ist nämlich bei feinkörnigen oder bei grobkörnigen Böden mit grossem Feinanteilgehalt entscheidend, ob diese Böden mit Pneu- oder nur mit Raupenfahrzeugen befahren werden können, oder ob ein Befahren überhaupt unmöglich ist. Böden mit hohem Wassergehalt können ohne besondere Massnahmen nicht in Dämme und Schüttungen eingebaut werden, so dass sie häufig auf Deponie geführt werden müssen. Jeder Kubikmeter Material, welcher auf Deponie geführt wird, bedeutet aber zweimal soviel Abtrag und zweimal soviel Transport und damit eine Mehrbelastung der Umwelt. Die interessante Arbeit von E. Giudicetti [1] über die Befahrbarkeit natürlicher Böden zeigt, dass auf vielen Böden unseres Mittellandes wohl einige Durchgänge mit geländegängigen Fahrzeugen möglich sind, dass aber konventionelle Erdtransportgeräte für eine grosse Zahl von Lastübergängen nicht eingesetzt werden können. Diese Tatsache führt in der Regel zum Bau von Pisten, auf welchen sämtliche Transporte erfolgen. Eine Verbesserung der Geländegängigkeit der Scraper und Dumper (z. B. pneuwalzenähnliche Bereifung) und die notwendige Ver-

besserung der Tragfähigkeit des Bodens durch Austrocknung würden das Befahren der ganzen Breite der Baufläche mit den Erdtransportgeräten ermöglichen. Im gleichen Arbeitsgang könnten die Transportfahrzeuge weitgehend die Verdichtung von Unterbau und Untergrund übernehmen. Der Einsatz der Erdtransportgeräte auf der ganzen Breite des Trassees würde gleichzeitig ein gutes «Proof-Rolling» bedeuten, durch welches schwache Stellen im Unterbau und Untergrund sofort aufgedeckt und saniert werden könnten. Durch diese Massnahmen ist es sicher möglich, wenigstens auf einen Teil der Transportpisten zu verzichten.

4. Materialtransporte mit geräuscharmen Förderbändern

Der konventionelle Erdabtrag und -transport mit Scrapern, Bulldozern und ähnlichen Maschinen ist wegen des grossen Lärms, der vielen Abgase und der bisweilen starken Staubentwicklung keineswegs umweltfreundlich. Für unser Land kann daher für verschiedene Projekte sicher mit Berechtigung die Frage nach einer andern Methode des Erdabtrags und Erdtransports gestellt werden. In England hat das Transport and Road Research Laboratory (TRRL) eine neue Methode entwickelt und an drei grossen Projekten geprüft. Der in einem Bericht [2] veröffentlichte Versuch sei nachfolgend in der Meinung kurz beschrieben, dass dieses Verfahren für gewisse Projekte auch bei uns ernsthaft in Erwägung zu ziehen ist. In den mir vom Direktor Millard des TRRL in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellten Unterlagen befinden sich zwei Schemaskizzen, die die Arbeitsweise besser

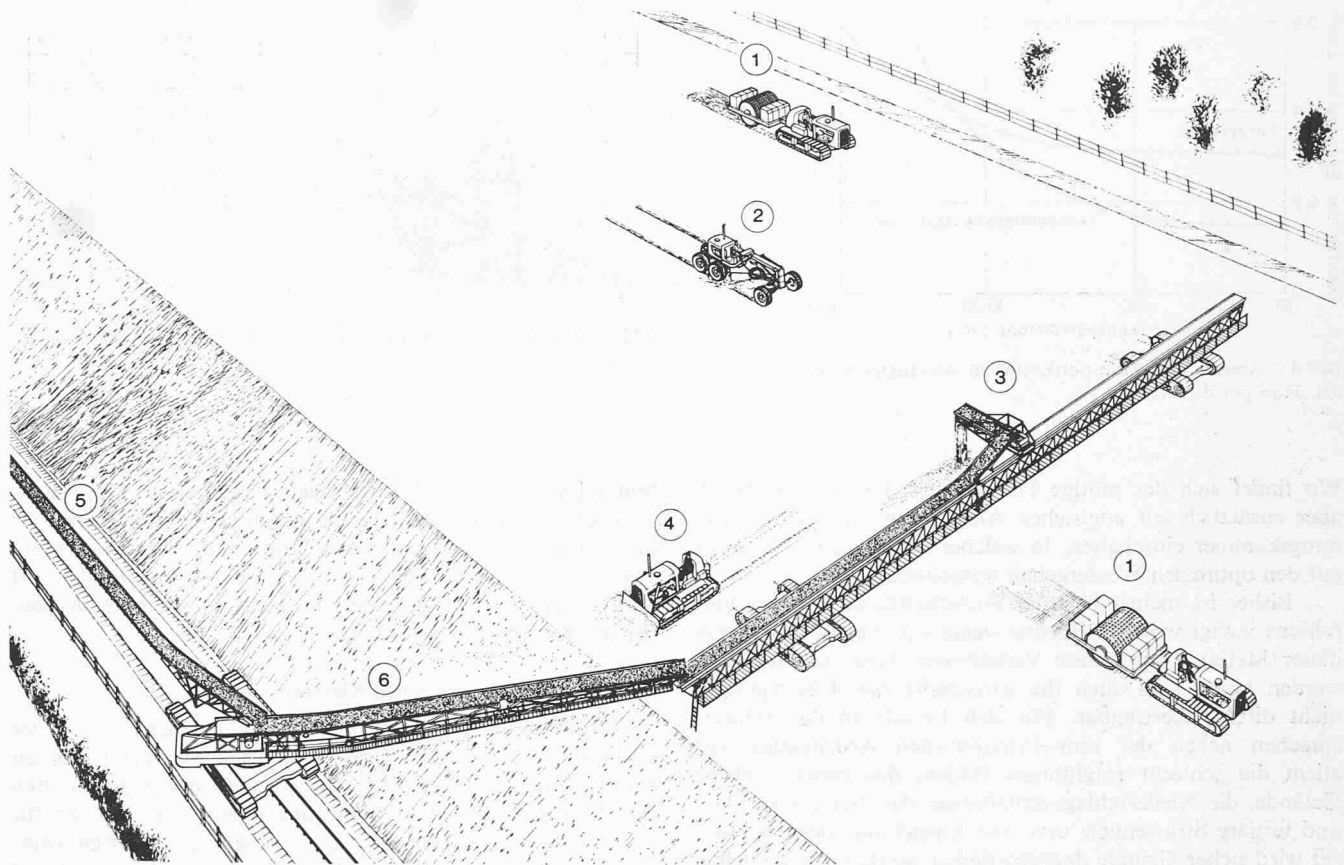


Bild 3. Arbeitsmethode und Geräteausrüstung an der Einbaustelle nach der TRRL-Methode. 1 Walze, 2 Planiergerät, 3 Verteil-Transportband, 4 Bulldozer, 5 Band für Ferntransport, 6 Hang-Transportband

erläutern als viele Worte. Die erste Skizze zeigt die Lage an der Abtragsstelle (Bild 2). Zwei Schaufelradbagger auf Raupen graben das Material an einer senkrechten Wand ab und beschicken direkt ein Förderband, auf dem der eigentliche Transport erfolgt. Die Förderbänder sind auf Raupenfahrzeugen gelagert und können mit Leichtigkeit in eine gewünschte Stellung gebracht werden. Die Humusschicht, der Schwamm, welcher den Grossteil des Niederschlagswassers aufsaugt und zurückhält, wird erst unmittelbar vor dem Vortrieb des Baggers entfernt, so dass keine zusätzliche Vernässung des Abtragsmaterials durch Regen eintritt. Böschungs- und letzte Planungsarbeiten werden mit Hilfe traditioneller Erdbaugeräte (Dozer und Trax) durchgeführt. Der Transport auf den Förderbändern erfolgte in den Versuchsprojekten z.T. über mehrere Kilometer. Der Materialtransport auf Förderbändern ist auch in der Schweiz nichts Neues, ist er doch im Kraftwerkbau schon öfters angewandt worden.

Das in England verwendete Förderband hat folgende Hauptdaten:

| | |
|--|---------|
| Gesamte Förderlänge | 5,1 km |
| Anzahl Abschnitte (Antriebsabschnitte, mittlere Abschnitte, Endabschnitte) | 16 |
| Gesamte Länge des Förderbandes | 10,5 km |
| Breite des Förderbandes | 1,07 m |
| Geschwindigkeit des Förderbandes | 3 m/s |
| Maximale Anzahl Motoren im Antriebsabschnitt | 3 |
| Maximale Leistung pro Motor | 37 kW |
| Gesamtzahl der Motoren | 37 |
| Länge der Strassen- und Bahnüberführungen | 350 m |

| | |
|--|----------|
| Projektierte Förderleistung | 1200 t/h |
| Zulässiges Grösstkorn auf dem Förderband | 400 mm |

Der Einbau ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Vom Förderband gelangt das Material in eine Verteilvorrichtung. Ein Dozer planiert allfällige Unebenheiten. Dann verdichten geeignete Geräte das verteilte Material schichtweise. Bei jeder Schicht wird auf eine gute Planie mit wasserabweisendem Profil geachtet.

Diese englische Arbeitsmethode erinnert doch irgendwie an den Abtrag mit Schaufel und Pickel und an den Transport mit Kipp-Lore auf Gleisen. Die Rückkehr zum Abtrag an der senkrechten Wand hat den Vorteil, dass bei den häufigen Niederschlägen keine zusätzliche Vernässung auftritt, wie das bei den grossen, meist horizontalen Abtragsflächen der heute üblichen Arbeitsverfahren geschieht. Abtragsflächen mit tiefen, oft mit Wasser gefüllten Fahrspuren dürften hier wohl selten zu sehen sein.

Der Transport mit Hilfe von Förderbändern ist weitgehend unabhängig von Gelände-, Boden- und Witterungsverhältnissen, unabhängig auch von Hindernissen aller Art, wie bestehenden Strassen, Bahnen, Bächen, Leitungen usw. Die Überquerung z.B. von bestehenden Strassen bedingt bei der konventionellen Methode zum Schutz der Strassenbenutzer Signalanlagen, welche als zusätzliche Erschwerungen zu werten sind. Skeptiker werden sagen, dass dieses Verfahren für die in England vorherrschenden gleichförmigen Sande geeignet sei, dass aber der Einsatz von Förderbändern für die Bodenverhältnisse in der Schweiz mit meist vielen Steinen und hohem Wassergehalt sicher erschwert sei. Ich bin einverstanden, dass dieses Verfahren nicht unbesehen übernommen werden darf; sicher ist es unsern Verhältnissen anzupassen.

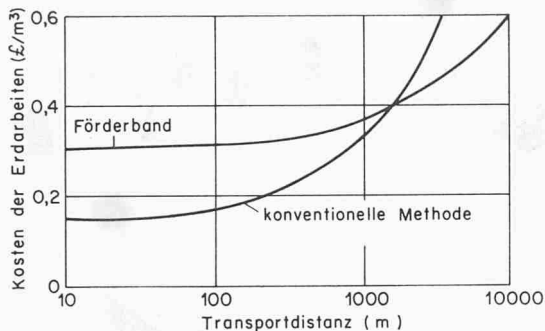


Bild 4. Abbau- und Transportkosten in Abhängigkeit von der Transportdistanz

Wo findet sich der mutige Pionier? Als Utopist würde ich aber zusätzlich zur englischen Ausrüstung z.B. eine Trocknungskammer einschalten, in welcher das zu nasse Material auf den optimalen Wassergehalt ausgetrocknet würde.

Bisher ist nichts über die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens gesagt worden. Ebenso wenig wie die Arbeitstechnik dieser Methode für unsere Verhältnisse direkt übernommen werden kann, sind auch die wirtschaftlichen Überlegungen nicht direkt übertragbar. Für den Einsatz in der Schweiz sprechen neben der umweltfreundlichen Arbeitsweise vor allem die schlecht tragfähigen Böden, das meist unebene Gelände, die Niederschlagsverhältnisse, das dichte sekundäre und tertiäre Strassennetz usw. Die Einstellung vieler Schweizer wird sicher Gründe dagegen finden, so dass ich verzichte, solche aufzuzählen. Zur Frage der Wirtschaftlichkeit in England sei dem erwähnten Bericht ein erläuterndes Diagramm (Bild 4) entnommen.

Das auf der Baustelle installierte Förderband kann nach dem Einsatz im Erdbau auch für den Transport und Einbau von Oberbaumaterialien verwendet werden. In der dicht besiedelten Schweiz sehe ich aber noch eine weitere Einsatzmöglichkeit von Förderbändern.

5. Umweltbelastung durch Abbau und Transport von Kies

Die Bevölkerung verschiedener Ortschaften beklagt sich immer mehr über die Kolonnen von Kiestransportern, die innerorts die Strassen versperren, die Luft verpesten, Lärm verursachen und eine ständige Gefahr für Fussgänger und andere Strassenbenützer darstellen. Die Durchgangsstrassen vieler Ortschaften sind weder im Querschnitt noch im Vertikalaufbau für diese schweren Transporte bemessen, so dass die Bevölkerung bald auch noch durch den notwendig werdenden Strassenbau belastigt wird. Es drängt sich daher die Frage auf, ob der Kies für grosse Bauvorhaben nicht direkt mit Förderbändern aus der Kiesgrube an Hauptstrassen oder Autobahneinfahrten gebracht werden könnte. Die in der Nähe der Kiesgrube liegenden Ortschaften würden dadurch von den grossen Verkehrsbelastungen entlastet. Förderbänder sind nur temporäre, nicht an die Strasse gebundene Einrichtungen. Dank ihrer hohen Beweglichkeit kann die Linienführung den Erfordernissen eines erträglichen Landschaftsbildes angepasst werden.

Für den Oberbau der Strassen werden grosse Kiesmengen verbraucht. Wie aus der Sicht des Oberbaues das Problem anzupacken ist, werden die anderen Referenten darlegen. Kies steht auch in der Schweiz nicht in beliebigen Mengen zur Verfügung. Vielerorts zeichnet sich bereits ein empfindlicher Kiesmangel ab, und es sind sehr weite Antransporte notwendig. Diese Tatsache kommt auch zum Ausdruck in den von 1971 und 1972 gestiegenen Kosten für Koffermaterial. Innerhalb der Gruppe Baustoffe hält Kofferkies mit einer Steigerung von 20.9 Indexpunkten die einsame

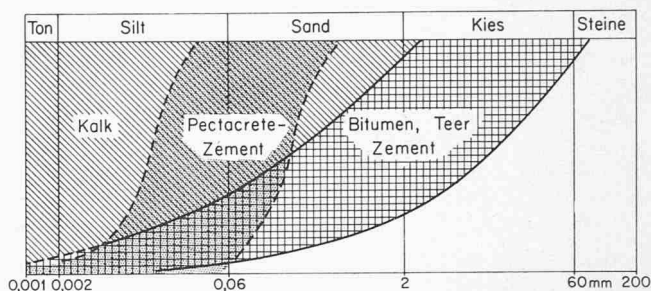


Bild 5. Kornverteilungsbereiche für verschiedene Stabilisierungsverfahren

Spitze [NZZ, 15.12.72]. Im übrigen darf Kies aus Grundwasserträgern nicht mehr weiter ausgebeutet werden, damit wir uns wenigstens ein Minimum an gutem Grundwasser sichern. Sparsamer Kiesverbrauch wird also sowohl im Hinblick auf die Umweltbelastung gefordert, als auch um die noch verbleibenden Kiesreserven zu schonen.

6. Möglichkeiten sparsamen Kiesverbrauchs

Die wichtigste Grundlage für die Untersuchung, wie der Kiesverbrauch für den Strassenunterbau verringert werden kann, ist die Kenntnis der bodenmechanischen Eigenschaften der Abtrags- und Dammschüttungsmaterialien, die sie für den Unterbau geeignet machen. Diese Eigenschaften sind: Bearbeitbarkeit, Einbauwilligkeit, Verdichtbarkeit und bei Nichteignung zusätzlich die Möglichkeit zur Verbesserung bzw. Stabilisierung.

Seit 1960 haben in der Schweiz die verschiedenen – wir können heute sagen – traditionellen Stabilisierungsverfahren mit Kalk, Zement und bituminösen Bindemitteln grosse Fortschritte gemacht. Aufgewärmte Speisen sind selten besonders gut. Ich will deshalb nicht auf Einzelheiten der Stabilisierungsverfahren eingehen; diese können in verschiedenen Veröffentlichungen nachgesehen werden. Die Eignung der verschiedenen Bodenarten für das entsprechende Stabilisierungsmittel ist weitgehend bekannt. Auf Grund der Kornverteilungsbereiche möchte ich aber doch auf ein paar wesentliche Gesichtspunkte hinweisen.

Aus Bild 5 geht hervor, dass Böden, die genügend tonige Feinanteile aufweisen, durch die Beigabe von Kalk [CaO oder $\text{Ca}(\text{OH})_2$] in den meisten Fällen zu wasser- und froststabilen Schichten aufbereitet werden können. Der Wassergehalt dieser in der Schweiz sehr häufig vorkommenden tonigen Böden liegt durchwegs über dem optimalen Wert, so dass ein Einbau in Dämme und Schüttungen erst nach einer Austrocknung mit Kalk möglich ist.

In verschiedenen Versuchen wurde nachgewiesen, dass die Tragfähigkeitskoeffizienten nach der American Association of State Highway Officials (AASHO) für kalkstabilisierte Schichten in der gleichen Grössenordnung liegen wie für ungebundene Kiesmaterialien, d.h. jeder Zentimeter Stabilisierung von anstehendem Bodenmaterial bringt die gleiche Einsparung an qualifiziertem Kies.

Im kleinen Strassenbau haben wir auf über 100 km Strassen feststellen können, dass die Kiessandeinsparung 50 bis 70% ausmacht, wenn die oberste Schicht des Untergrundes oder Unterbaues in der kleinen Schichtstärke von 16 bis 18 cm mit Kalk stabilisiert wird.

Verschiedene Untersuchungen von Moos, Hirt, Kuonen [3], [4], [5], [6] zeigen, dass Gehängelehme und glaciales Ablagerungen als häufigster Baugrund des Mittellandes und der Voralpen eine kleine bis mittlere Plastizität aufweisen

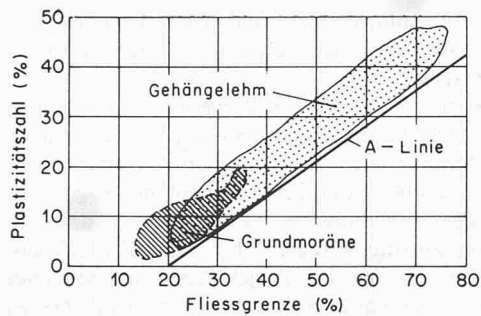


Bild 6 (links). Plastizitätszahlen von Böden des schweizerischen Mittellandes und des Voralpengebietes

(Bild 6). Dies bedeutet, dass sich diese Böden in der Regel leicht durchmischen und stabilisieren lassen.

Durch eine Stabilisierung mit Kalk wird in bindigen Böden eine homogene Unterlage geschaffen. Als homogen gilt ein Abschnitt, wenn der Variationskoeffizient einer Serie von Tragfähigkeitsmessungen (CBR- oder k -Wert) den Wert von 0,45 bzw. 0,50 nicht übersteigt (SNV-Norm 640 317). Eine minimale Tragfähigkeit des Unterbaues (M_E -Wert ≥ 150 kp/cm²) ist in den Normen vorgeschrieben, damit auf dieser Unterlage der Oberbau sauber eingebracht und wirksam verdichtet werden kann.

Von weit wesentlicherer Bedeutung erscheint mir aber die Homogenität des Unterbaues bzw. Untergrundes. Die örtliche Gleichmässigkeit auf dem Planum bedeutet gleiche Tragfähigkeit in Längs- und Querrichtung. Diese wird nur durch eine tiefenreichende Homogenisierung und Verdichtung der Unterbauschichten erreicht.

Die Tragfähigkeit des Unterbaues wird durch Austrocknung, Wasser- und Frosteinwirkung und durch das Auftauen verändert. Durch die Stabilisierung des Bodens können diese zeitlichen oder saisonalen Veränderungen der Tragfähigkeit in engen Grenzen gehalten werden. Diese örtliche und zeitliche Gleichmässigkeit der Tragfähigkeit ist wesentlich, weil insbesondere bei den flexiblen Strassen die Tragfähigkeit des Oberbaues massgebend von der des Unterbaues beeinflusst wird. Inhomogener Unterbau bedeutet ungleichmässige Tragfähigkeit des Oberbaues, was bekanntlich zu einer progressiven Abnahme der Befahrbarkeit führt und damit die Lebensdauer der Strassen verkürzt.

7. Stabilisierung des Untergrundes in Einschnitten

Die Verbesserung, Austrocknung, Homogenisierung und Stabilisierung von Dammschüttmaterial ist in der Schweiz gut eingeführt. Das Abtragsmaterial wird schichtweise mit leistungsfähigen Maschinen gemischt, eingebracht und verdichtet. Dadurch entsteht eine homogene, gleichmässig tragfähige und stabile Dammschüttung.

Viel zu wenig wird aber meiner Ansicht nach in Einschnitten getan. Die bei uns eingesetzten Stabilisierungsgeräte mischen im Maximum bis auf eine Tiefe von 30 cm. Im verdichteten Zustand ergibt das im besten Fall Schichtstärken von 20 bis 22 cm. Eine so dünne Schicht kann mit einer dünnen Glasplatte auf einem weichen Sofa verglichen werden. Sie wird schon unter dem Baustellenverkehr durchbrechen, weil unter der Schicht der Boden eine zu kleine und ungleichmässige Tragfähigkeit aufweist. Wird aber diese Glasplatte bzw. diese Schicht dicker, hält sie der Beanspruchung stand. Daher ist der Untergrund in den Einschnitten auf eine viel grössere Mächtigkeit zu homogenisieren und zu stabilisieren. Dazu reicht aber die konventionelle Geräteausrüstung

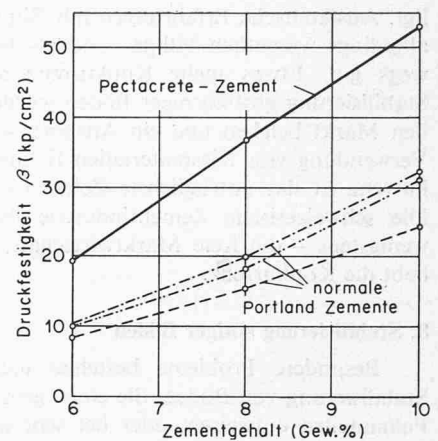


Bild 7 (rechts). Abhängigkeit der Festigkeit von Zementgehalt und Zementart

unserer Unternehmungen nicht aus, obwohl ich festhalten möchte, dass viele Firmen für die Stabilisierungsarbeiten schon sehr gut ausgerüstet sind. Grössere Maschinen gleicher Bauart können aber der vielen Steine wegen kaum zweckmässig eingesetzt werden. In Amerika wird versucht, dickere Schichten des Untergrundes zu homogenisieren und zu stabilisieren, und man hat den in der Landwirtschaft altbewährten Pflug eingesetzt. Dieser «Riesepflug» erreicht eine Mischtiefe von 60 bis 90 cm. Eine homogenisierte und stabilisierte Schicht dieser Mächtigkeit ist eine Garantie dafür, dass Ungleichmässigkeiten in bezug auf die Tragfähigkeit weitgehend beseitigt werden. Damit kann die für die Praxis sicher zu komplizierte unrealistische Anpassung der Oberbaudimensionierung an die wechselnde Unterbautragfähigkeit unterbleiben. Dass durch diese «Tiefpflugstabilisierung» erhebliche Transport- und Materialkosten eingespart werden können, zeigen die Werte der Tabelle 1 einer in Illinois durchgeführten derartigen Stabilisierung auf eine Tiefe von 60 cm [12].

Andere Probleme als die tonhaltigen stellen die grobkörnigen, nicht frostsicheren Böden. Diese Böden werden in der Schweiz zur Hauptsache mit Zement, z.T. mit Teer oder Bitumen stabilisiert. Es ist bekannt, dass mit zunehmendem Feinanteil wegen der grösseren spezifischen Oberfläche Bindemittelgehalt und Mischaufwand zunehmen müssen, um eine einwandfreie Stabilisierung zu erhalten. Je grösser aber die Zementmenge, umso grösser die Gefahr der Rissbildung; und je grösser die bituminöse Bindemittelmenge, umso «weicher» wird das stabilisierte Gemisch. Es fällt auf, dass in der Schweiz für die Stabilisierung der Fundations- oder Tragschicht fast ausschliesslich Zement verwendet wird. Weitgehend ist das sicher der Initiative der Betonstrassen AG zuzuschreiben. Weniger verständlich ist aber, dass die schweizerische Bitumenindustrie sich nicht an diesem Markt betei-

Tabelle 1. Versuch in Illinois; Stabilisierung auf 60 cm Tiefe mit Ca(OH)₂

| 1. CBR-Werte in % gemäss den VSS-Normen 670 315 (Feld) und 670 320 (Labor). | | |
|--|------------------------|------------------------|
| Abbindezeit | 0% Ca(OH) ₂ | 3% Ca(OH) ₂ |
| 0 Tage | 4,5 | 21 |
| 2 Tage | — | 30 |
| 14 Tage | — | 51 |
| 21 Tage | — | 65 |
| 2. Elastische Deflektionen unter 4,1 t Radlast in mm gemäss VSS-Norm 670 362 | | |
| Versuch | 0% Ca(OH) ₂ | 3% Ca(OH) ₂ |
| Nr. 1 | 16,8 | 2,6 |
| Nr. 2 | 12,1 | 2,8 |

ligt. Ausländische Erfahrungen mit Bitumenemulsionen – die allerdings wesentlich billiger sind als bei uns – sind durchwegs gut. Etwas mehr Konkurrenz auf dem Gebiet der Stabilisierung grobkörniger Böden würde die Diskussion und den Markt beleben und ein Ansporn sein für die vermehrte Verwendung von Kiesmaterialien II. und III. Qualität. Konkurrenz ist das untrügliche Zeichen freier Marktwirtschaft. Die schweizerische Zementindustrie liebt – so glaube ich wenigstens – die freie Marktwirtschaft, d.h. doch auch: sie liebt die Konkurrenz.

8. Stabilisierung siltiger Böden

Besondere Probleme bestehen nach wie vor bei der Stabilisierung von Böden, die einen grossen Anteil an siltigen Feinanteilen aufweisen, oder bei sehr gleichkörnigen Böden im siltig-sandigen Bereich. Die tonarmen Böden sind sehr empfindlich auf Wassergehaltsänderungen und gehen bei Wassergehaltserhöhung schlagartig vom festen in den fließbaren Zustand über. Im weiteren sind sie ausserordentlich frost- und erosionsempfindlich. Dieser Bodentyp ist im schweizerischen Mittelland – besonders in der obersten Bodenschicht – stark verbreitet. Eine Stabilisierung ist schwierig und in der Schweiz bisher praktisch nicht durchgeführt worden. Die Abfuhr auf Deponien und der umweltfeindliche Antransport von besseren Böden – meistens Kies – war die bisherige Lösung des Problems.

In weiten Gebieten Deutschlands finden sich ebenfalls solche Böden. Gezwungenermassen musste man sich mit dem Problem der Stabilisierung dieser Böden befassen, wobei ein Stabilisierungsmittel entwickelt wurde, welches gute Ergebnisse zeigt. Es handelt sich um den sogenannten Pectacrete-Zement, einen wasserabweisenden Zement, der seine Hydrophobie erst verliert, wenn er intensiv mit dem Boden gemischt wird. Auf Einzelheiten möchte ich auch hier nicht eingehen. Untersuchungen von *Paulmann*, TH-Darmstadt, u.a. [7, 8, 9] zeigen, dass ein sehr gleichkörniger, siltiger Boden mit Pectacrete-Zement in kleiner Dosierung stabilisiert werden kann. Bild 7 zeigt, dass mit Pectacrete-Zement (Dosierungen 6–10 Gew.-%) zwei- bis dreimal höhere Festigkeiten erreicht werden als mit normalen Portlandzementen.

Der hydrophobe, also zunächst wasserunempfindliche Pectacrete-Zement ist wohl um etwa $\frac{1}{3}$ teurer als der normale Portlandzement. Wenn aber zur Erreichung der gleichen Festigkeit nur halb so viel Pectacrete-Zement notwendig ist, beträgt allein die Bindemittelsparung etwa $\frac{1}{6}$ oder 15 bis 20%. In verschiedenen Publikationen wird in Deutschland auf die Vor- und Nachteile der verschiedenen Zemente hingewiesen. *Henk* [10] sagt z.B. wörtlich: «Ein Nachteil der handelsüblichen Zemente bei Einsatz für Bodenverfestigungen ist ihre ausgeprägte Neigung, Feuchtigkeit aufzunehmen, mit Wasser zu reagieren, zu hydratisieren, vorzeitig zu erhärten.» Den kleinen Bindemittelbedarf führt er auf folgendes zurück: «Die auf die Wasserunempfindlichkeit zurückzuführenden Eigenschaften bewirken, dass die gesamten verteilten Zementmengen festigkeitswirksam bleiben und ein leichteres Einmischen und eine gleichmässige Verteilung des Zementes im Boden gegeben ist.»

9. Festgestein

Im Gebirge wird bei Felssprengungen auf den Wald, auf das landschaftsprägende Element, viel zu wenig Rücksicht genommen. In der Begründung, es komme billiger, das ganze stehende Holz zu kaufen und nach Beendigung der Bauten eine Begrünung und Anpflanzung durchzuführen, äussert sich eine Geisteshaltung, die an Profitgier und Barbarei grenzt. Wenn wir bedenken, dass es in Hochlagen über 100 Jahre dauert, bis wieder ein einigermaßen geschlossener Wald

erreicht wird, dann können nicht ein paar Franken den Ausschlag geben, ob vermehrte Schutzvorrichtungen zu richten seien oder nicht.

Vielfach lässt sich Festgestein weiterverarbeiten zu einem ausgezeichneten Foundationsschichtmaterial. Brechanlagen werden meiner Ansicht nach zu Baumaschinen erster Ordnung, vor allem im Gebirge und im Voralpenland. Sogenannte Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die nachweisen, dass aus 22 km Entfernung antransportierter Kies um Fr. 1,35 pro Kubikmeter billiger sei als im Projektgebiet aufbereitetes Material, sollten der Vergangenheit angehören. Ähnliches ist zu sagen zu den Kunstbauten. Es ist weiss Gott keine Kunst, eine hohe und lange Betonmauer zu rechnen und zu bauen. Eine Kunst ist es aber, keine zu starken Eingriffe in die Landschaft vorzunehmen und durch Gliederung der Kunstbauten oder durch biologische Massnahmen (Bepflanzung usw.) Abwechslung in die nicht vermeidbaren Stützkonstruktionen zu bringen [11].

10. Schlussbemerkung

Ich darf festhalten, dass bereits vieles getan wird, dass die Bauämter mehr und mehr Berufsgruppen wie Zoologen, Fischereispezialisten, Wildkundler, Forstleute, Pflanzensoziologen usw. zur Zusammenarbeit einladen. Denken wir doch daran, dass wir miteinander leben müssen, dass wir aber auch miteinander arbeiten können.

Im Gebirgsland Schweiz hat die Natur von jeher den Menschen bedroht. Der Mensch muss sich gegen diese Bedrohungen wehren. Heute aber bedroht der Mensch die Natur. Besonders bedenklich dabei ist, dass er die Natur um so mehr bedroht, je besser es ihm selbst geht. Trübt Wohlstand und Wohlergehen des Menschen Blick, dass er nicht sieht, dass sein höchstes Gut – seine Gesundheit – vom Wohlergehen der ihm untertänigen Kreatur und Natur abhängig ist?

Literaturverzeichnis

- [1] *Giudicetti, F.*: Die Befahrbarkeit natürlicher Böden. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, Nr. 77, Zürich 1968
- [2] *Parsons, A.W. and Broad, B.A.*: Belt conveyors in road construction. Road Research Laboratory Report LR 337, Crowthorne 1970
- [3] *Von Moos, A.*: Der Baugrund der Schweiz. «Schweiz. Bauzeitung» 71 (1953), Nr. 50, S. 727–734
- [4] *Hirt, R.*: Experimentelle Untersuchungen zur Bodenstabilisierung mit Kalk, insbesondere für deren Anwendung im Wald- und Güterstrassenbau. Diss. Nr. 4312. ETH-Zürich 1969
- [5] *Hirt, R.*: Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen. «Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen», 1972, Nr. 3
- [6] *Kuonen, V.*: Grundlagen der Bodenstabilisierung mit Kalk, VSS-Lehrmittel für den Strassenbau. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner (VSS), Zürich 1972
- [7] *Loewenstein, H.H. und Paulmann, G.*: Zur Frage des Einflusses von Zement-Festigkeitsklassen und Zementart auf die Druckfestigkeit von Bodenverfestigungen. «Strasse und Autobahn», 1972, Heft 6
- [8] Deutsche Pectacrete-Gesellschaft, Hamburg: Die Beurteilung von Pectacrete im Schrifttum, 1970
- [9] *Henk, B.*: Zur Frage des günstigsten Wassergehaltes bei Bodenverfestigungen. «Strassenbau-Technik», 1969, Nr. 5
- [10] *Henk, B.*: Planung und Ausführung von Bodenverfestigungen mit Zement, «Strassenbau-Technik», Nr. 18, 1972
- [11] *Bächtold, J.*: Umweltgestaltung, Schutz unseres Lebensraumes, Symposium an der ETH-Zürich, Frauenfeld 1970, Verlag Huber
- [12] *Thompson, M.R.*: Lime-soil stabilization; deep plow style. «Roads & Streets», March 1969

Adresse des Verfassers: *Viktor Kuonen*, Professor für forstliches Ingenieurwesen an der ETHZ, LFO, Universitätsstrasse 2, 8006 Zürich.