

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 4

Artikel: Leca als Dammschüttmaterial für Strassen am Beispiel des Autobahnanschlusses Hinterberg
Autor: Isele, W. / Landis, W. / Schmutz, G. / Zeindler, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73620>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

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

einer gewissen Zurückhaltung bezüglich der Belastbarkeit des Untergrundes zwangen, sprach eine rein geologische Überlegung eher zugunsten einer höheren zulässigen Belastung des anstehenden Untergrundes. So war vor allem zu berücksichtigen, dass das Bauareal früher mit bis etwa 40 m mächtigem *Gehängeschutt* überdeckt war und dass der Effingermergel entsprechend seiner Entstehungsgeschichte in früheren geologischen Zeiten mit mehreren hundert Metern Kalken überlagert war. Ausserdem wurde beim Entscheid über die zulässige Belastbarkeit der vorliegenden Effingermergel die Tatsache mitberücksichtigt, dass auch bei ausgefeilter Sondiertechnik bei Gesteinen im Grenzbereich zwischen Fels und Lockergestein die Qualität des Gesteinsverbandes allein anhand des Bohrgutes meist unterschätzt wird. Andererseits zeigten die durchgeführten Untersuchungen, dass mit der gewählten Sohlpressung die Möglichkeiten des Untergrundes relativ stark ausgeschöpft waren, wodurch aber erhebliche finanzielle Einsparungen erzielt wurden.

Die rechnerisch abgeschätzten Setzungen wurden durch die Setzungsmessungen bestätigt. Wie Bild 7 zeigt, betrug das maximale Setzungsmass nach 100prozentiger Füllung von Silo 1 44 mm bei Messpunkt 2 an der talseitigen Front des Silos. Die Setzungsdifferenz innerhalb von Silo 1 betrug dabei zwischen den Messpunkten 2 und 3 28 mm. Im Leerzustand konnten keine Setzungen der Silos festgestellt werden. Der elastische Setzungsanteil betrug nach Entlastung von Silo 1 auf 55% der Füllung bei den hangwärtigen Messpunkten (3+4) 50–100% und bei den talwärtigen Messpunkten (1+2) 18–25%. Aus den Bildern 7 und 2 ist ferner ersichtlich, dass die grössten Setzungen bzw. der kleinste elastische Setzungsanteil im talwärtigen Bereich, d.h. in der Nähe des Abtauchens der Felsoberfläche erfolgten bzw. gemessen wurden. Es ist auch erkennbar, dass sich der leere Silo 2 im Gefolge der Füllung des unmittelbar benachbarten Silos um einige Millimeter hob.

Das dargestellte Beispiel zeigt, dass bei der Beurteilung der Belastbarkeit eines im Grenzbereich zwischen Fels und Lockergestein anzusiedelnden Gesteinsverbandes nur bei Berücksichtigung aller Faktoren, d.h. sowohl felsmechanischer wie geologischer, die zulässige Belastbarkeit zutreffend ermittelt werden kann. Dies heisst aber auch, dass in einem solchen Fall weder auf die einen noch die andern Detailuntersuchungen verzichtet werden darf.

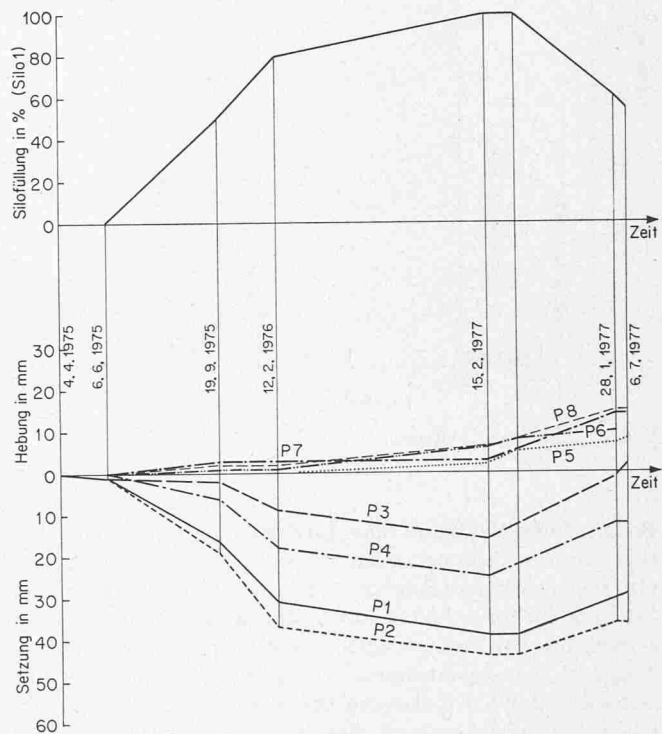
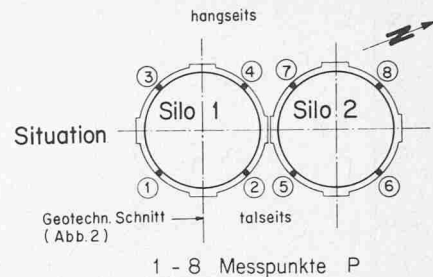


Bild 7. Setzungsmessungen vom 4. April bis 6. Juli 1977

Adresse des Verfassers: Dr. U. Schär, Geologe SIA, ASIC, Geotechnisches Büro, Bergstrasse 125, 8032 Zürich.

Leca als Dammschüttmaterial für Strassen am Beispiel des Autobahnanschlusses Hinterberg

Von W. Isele und W. Landis, Zürich, G. Schmutz, Bern, und H. Zeindler, Zollikofen

Der Autobahnanschluss Hinterberg liegt etwa 1 km nördlich des Zugersees (Bild 1). Er ermöglicht von Zug, Cham und Steinhausen den Zugang zur Nationalstrasse N4a, die in westlicher Richtung nach Sihlbrugg-Zürich und in östlicher Richtung zur Verzweigung Blegi führt. Von hier kann man nach Luzern (N14) und zum Gotthard (N4.2), und später auch durch das Knouner Amt nach Zürich (N4.1) gelangen.

Planerische und politische Rücksichten sowie die Verknappung des Baugrundes zwingen in zunehmendem Masse dazu, Strassenbauten auf schlecht tragfähigen, setzungsempfindlichen Böden zu erstellen. So musste auch westlich von Zug die Nationalstrasse über ein nacheiszeitlich aufgefülltes Seebecken mit bautechnisch heiklen Seeablagernungen geführt werden [1]. Schüttungen und Kunstbauten waren nur mit

Spezialmassnahmen zu verwirklichen. Beim Anschluss Hinterberg, wo die räumliche und terminliche Koordination verschiedener Bauteile besonders schwierige Probleme stellte, erwies sich die Verwendung von Leca im Dammbau als zweckmässigste Lösung.

Das Projekt

Allgemeines

In der Ebene zwischen Steinhausen und Cham verläuft die Nivellette der Nationalstrasse etwa auf der Höhe des ursprünglichen Terrains. Beim Anschluss Hinterberg mussten daher für die Autobahnzubringerstrasse G und die Rampen Dämme von bis zu 7 m Höhe sowie eine rund 71 m lange Brücke erstellt

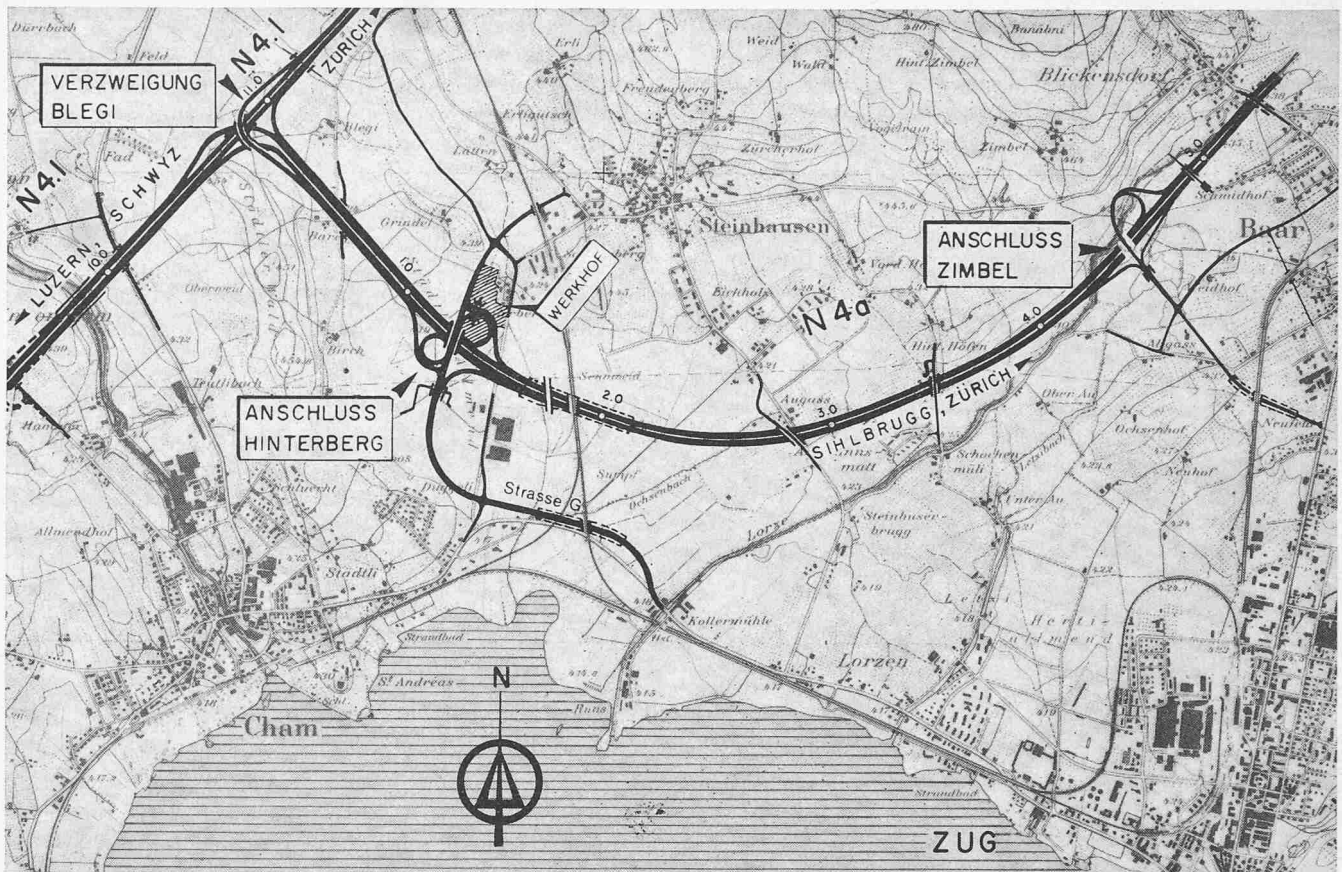
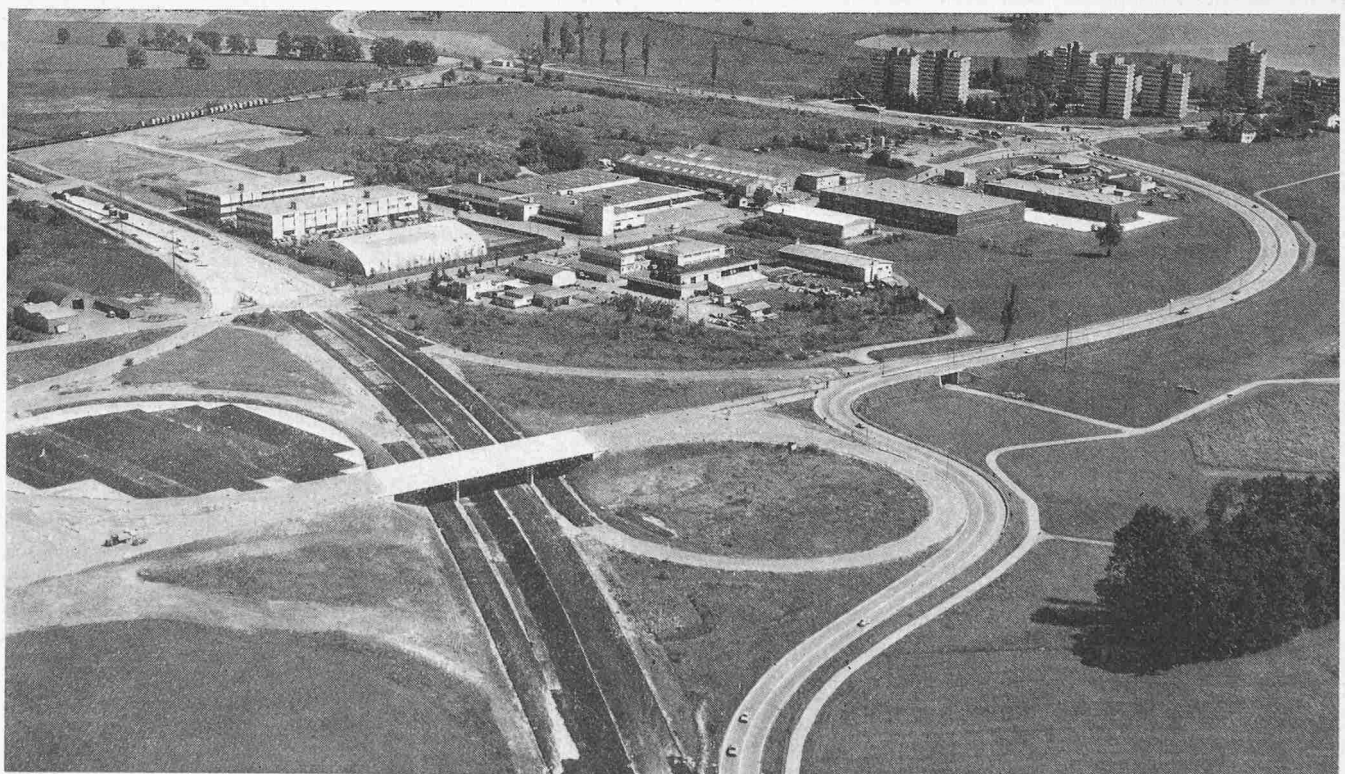


Bild 1. Übersicht

Bild 2. Anschluss Hinterberg aus Nordwest (11.7.1977 Comet Flugaufnahme)



werden (Bild 2 und 3). Die sich daraus ergebenden geotechnischen Probleme wurden vom Büro Dr. A. von Moos AG, Zürich [2], die Wahl der Fundation von der Ingenieurunternehmung Gruner AG, Basel [4], eingehend behandelt.

Die *Schüttung der Dämme* stiess auf erhebliche *Schwierigkeiten*, die zusammenfassend mit den folgenden Hinweisen verdeutlicht werden können:

- Die Mächtigkeit der weichen, zusammendrückbaren Sedimentdecke erreicht beim Anschluss Hinterberg 20 bis 23 m (Bild 4).
- Die Scherfestigkeitswerte der jungen Seebodenablagerungen können bis gegen 1,0 t/m² abfallen.
- Die geringe natürliche Scherfestigkeit dieses Bodens machte bei den Dämmen grossflächige Fusschüttungen notwendig.
- Zur Beschleunigung der Konsolidation des Baugrundes unter den Dämmen und zur Verbesserung der Stabilitätsverhältnisse wurde eine Tiefendrainage mit Kiessand-Säulen angeordnet.
- Das Überführungsbauwerk ist auf Pfählen fundiert (Bild 4).

Stabilitätsverhältnisse

Im Bereich der 7 m hohen *Widerlagerböschungen* gegen das Trasse der N4a waren die Stabilitätsverhältnisse besonders kritisch, da hier keine grossflächige Fusschüttung möglich war. Das maximal zulässige Dammgewicht im Widerlagerbereich ergab sich aus den Forderungen, die fehlende Fussbelastung ausgewogen zu halten und unzulässige Mehrbelastungen der Pfähle zu vermeiden. Dies war technisch nur durch den Einbau von *Hohlkörpern* oder durch die Verwendung eines Leichtbaustoffes als Schüttmaterial möglich. Im Leichtbaustoff «Leca lose» bot sich ein beständiger, relativ druckfester Ersatz für die Kiesschüttung an.

Ausmass der Schüttung

Die Stabilitätsberechnungen zeigten, dass mindestens die obersten 3 m der Schüttung bis 15 m hinter die Widerlager mit Leca auszuführen waren. Dieses Mass wurde jedoch aus folgenden Überlegungen gemäss Bild 4 vergrössert:

- Die Dammsetzungen waren noch namhaft (Bild 5).
- Indem die vorhandene Dammast zusätzlich vermindert wird, werden die zukünftigen Setzungen kleiner.
- Der Setzungsunterschied vom praktisch festen Widerlager zum Dammquerschnitt mit voller Kiessand-Schüttung wird zwar kaum kleiner, kann aber bei einer keilförmigen Ausbildung der Lecaschüttung $\pm$ linear zunehmen.
- Es kann eine kürzere Schleppplatte gewählt werden.
- Sanierungsmassnahmen wie das Aufschriften des Belags, das Angleichen von Entwässerungsleitungen, Strassenrändern und die damit verbundenen Verkehrsbehinderungen sind nur in grösseren zeitlichen Abständen notwendig.

Die neueren Setzungsmessungen bei der Messstelle 4 (Bild 5) zeigen den gewünschten Erfolg der Damm-Entlastung. So wurde in der Messperiode September 1976/Oktober 1977 nur noch eine Setzung von 1 cm gemessen. Anschliessende, konventionell geschüttete Dammportionen wiesen im gleichen Zeitraum bis zu 10 cm Setzung auf.

Problemstellung

Der Kanton Zug als Bauherr stimmte dem Vorschlag des Ingenieurbüros zu, die Dammschüttung im Widerlagerbereich teilweise mit Leca vorzunehmen. Er verlangte jedoch, dass die Eigenschaften von Leca den Anforderungen der SNV-Normen entsprechen und dass die Böschungsstabilität gewährleistet sei. Dieser Nachweis konnte nur mit Hilfe von Versuchen im Massstab 1:1 erbracht werden.

Es waren zwei Probleme abzuklären:

a) *Stabilität der Dammböschungen*. Als Grundlage für den Stabilitätsnachweis musste festgestellt werden, welche Scherfestigkeit das zu verwendende Leca-Material aufweist und wie die Böschungsoberfläche gegen Erosion bzw. Beschädigung zu schützen sei.

b) *Tragfähigkeit und Setzungsempfindlichkeit*. Die Leca-Schüttung musste die Kriterien der Norm SNV 640585a «Verdichtung, Anforderungen» erfüllen. Auf dem Planum musste ein ME-Wert von mind. 150 kg/cm² und auf der Planie ein solcher von mind. 1000 kg/cm² nachgewiesen werden.

Materialeigenschaften

Der verwendete Leca-Blähton wurde bereits früher von R. H. Weiss als Strassenbau-Material beschrieben [5].

Die *Raumgewichte* der im Strassenbau interessierenden Handelskörnungen werden wie folgt angegeben:

	<i>Trocken-Raumgewicht</i> (Schüttgewicht)	<i>Praktisches Raumgewicht für Berechnungen im Strassenbau</i>
Leca 3–10 mm	0,45 t/m ³ $\pm$ 10 %	0,65 t/m ³
Leca 10–20 mm	0,35 t/m ³ $\pm$ 10 %	0,55 t/m ³

Die *Wasseraufnahme* bei Leca kann durch Wassereinlagerung an den rauen Kornoberflächen sowie Einlagerung in den äusseren Kornporen erfolgen. Erst nach langfristiger Lagerung unter Wasser tritt eine Sättigung der tieferen Poren ein.

Unter normalen Bedingungen im Strassenbau (Lage der leichten Schüttung oberhalb des Grundwasserspiegels, Feuchtigkeit wie üblich von unten aufsteigend sowie als Regen- und Schmelzwasser von oben eindringend) ist mit einer Wasseraufnahme von etwa 0,15 bis maximal 0,2 t/m³ zu rechnen. Entsprechende langjährige Messungen wurden insbesondere vom *Erdbau-Forschungslabor des finnischen Amtes für Strassen- und Flussbau* durchgeführt.

Die *Kornverteilungen* sind in Bild 6 sowohl für die zwei Fraktionen 3–10 bzw. 10–20 mm wie auch für eine daraus hergestellte Mischung 1:1 aufgetragen. Beim Anschluss Hinterberg wurden die zwei Komponenten lastwagenweise abwechselnd eingebracht. Durch das Verteilen des Leca mit dem Trax dürfte eine zumindest teilweise Durchmischung stattgefunden haben, die neben einem leicht höheren Raumgewicht (infolge Einlagerung des feineren Korns zwischen das gröbere) bessere Festigkeitseigenschaften bewirkt.

Die *Verdichtung* von geschüttetem Leca ist gemäss zahlreichen Versuchen (z. B. Proctor) nur sehr beschränkt möglich; es werden Verdichtungsmasse von 1–3 % genannt. In der Praxis können etwas höhere Werte beobachtet werden.

Das *Berechnungs-Raumgewicht* des eingebauten Leca 3–20 mm wurde unter Beachtung der oben genannten Punkte zu 0,65 t/m³ angenommen.

Nachweis der Stabilität

Die Standfestigkeit der Böschungen der aus Leca geschütteten Dämme musste für das Projekt nachgewiesen werden. Im Vordergrund stand dabei die *Sicherheit gegen ein Abrutschen der Böschung*. Daneben war eine *möglichst wirtschaftliche Sicherung der Böschungsoberfläche* gegen natürliche und künstliche Erosion zu finden, da ein «Ausfliessen» des rolligen Lecas verhindert werden musste.

Als Grundlage für die Stabilitätsberechnungen war daher die *Scherfestigkeit* des Leca-Materials zu bestimmen. Wohl

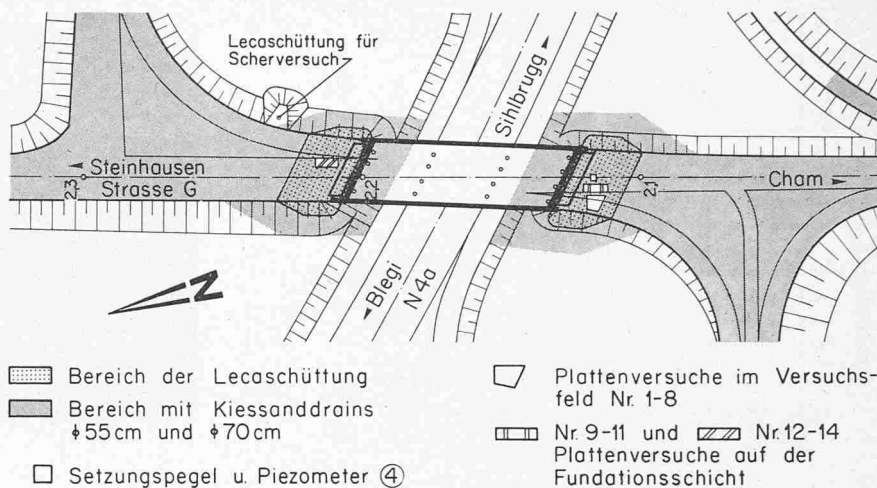


Bild 3. Situation mit Versuchs- und Messstellen und dem Bereich der Leca-Schüttung

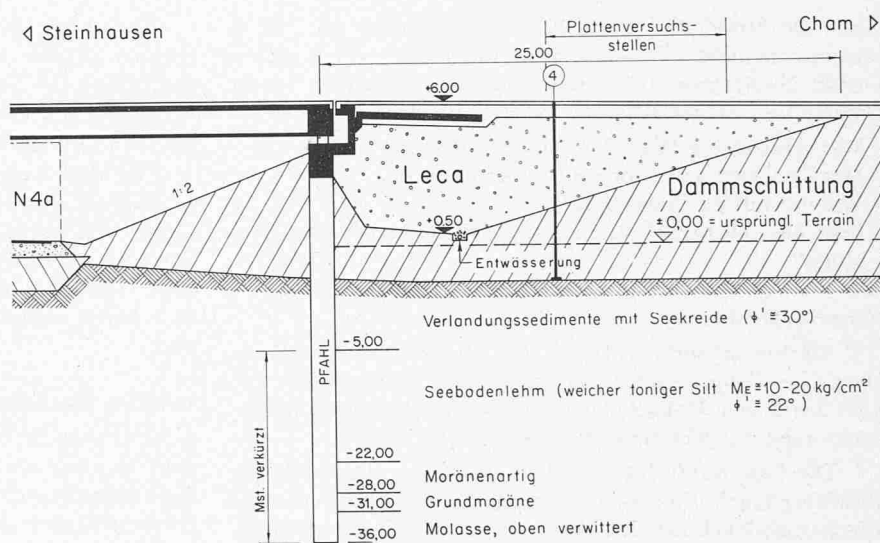


Bild 4. Widerlagerbereich Seite Cham mit der Ausdehnung der Leca-Schüttung, dem Setzungspegel und dem Piezometer Nr. ④

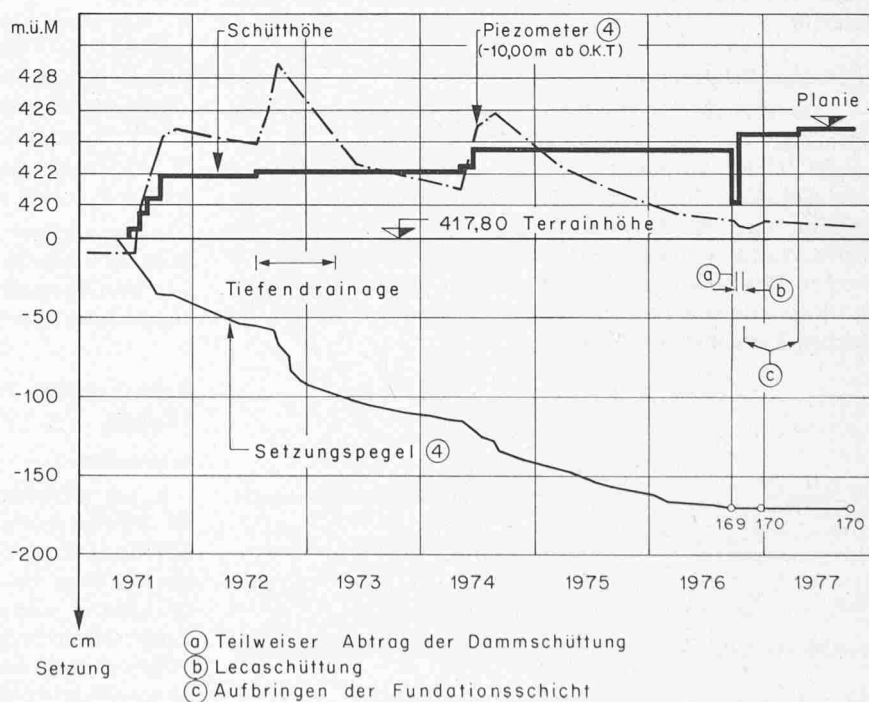


Bild 5. Zeitsetzungsdiagramm und Ganglinie der Porenwasserspannung bei der Messstelle ④

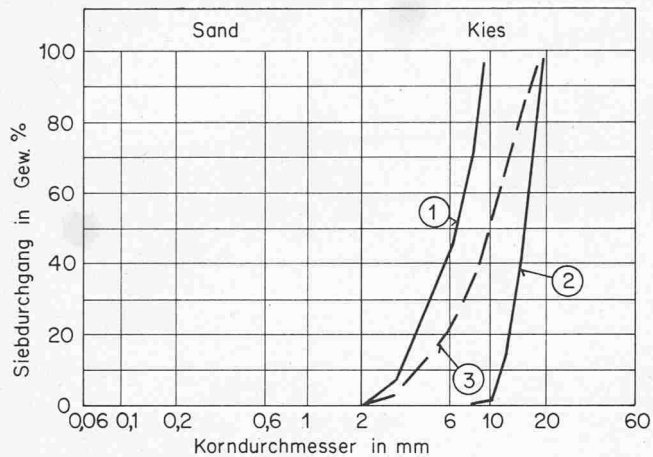


Bild 6. Kornverteilungskurven von Leca lose

lagen die Resultate vereinzelter Laborversuche vor, doch schienen sie nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse in einem Damm übertragbar. Es wurde daher beschlossen, in einem *Grossversuch auf der Baustelle* folgende Fragen abzuklären:

- Wie gross ist der Winkel der inneren Reibung?
- Hat Leca eine Kohäsion und wie gross ist sie?
- Wie verläuft die Gleitfläche?
- Sind die üblichen Berechnungsmethoden auch für Leca gültig?

Versuchsdurchführung

Als Versuchsprinzip wurde das *Abdrücken der Böschung eines Leca-Dammes durch Aufbringen einer Last* gewählt. Als Last diente eine Holzschalung von 2×2 m Grundriss, welche stufenweise mit Kiessand gefüllt wurde (Bild 9).

Die Last wurde bis auf 35,1 t gesteigert, ohne dass die Böschung brach. Ihre Neigung betrug 28° und entsprach dem Böschungswinkel, der sich bei der Schüttung eingestellt hatte. Da die Last aus technischen Gründen nicht weiter erhöht werden konnte, wurde die Steilheit der Böschung durch Abgraben des Böschungsfusses schrittweise erhöht, bis der Bruch bei einer Böschungsneigung von etwa 32° eintrat (Bild 10).

Ergebnisse, Folgerungen

Die Bruchfläche (Bild 10) wurde vermessen und als Grundlage für die Berechnung des Reibungswinkels verwendet. Unter Voraussetzung einer ebenen Gleitfläche und einer Kohäsion $c' = 0$ wurde der effektive Winkel der inneren Reibung nach der *Methode Janbu* zu $\Phi' = 31^\circ$ berechnet. Dieser Winkel stimmt ungefähr mit dem Böschungswinkel β überein. Das bedeutet: die Last auf dem Böschungskopf hat die Scherfestigkeit und die treibenden Kräfte ungefähr im gleichen Verhältnis vergrössert.

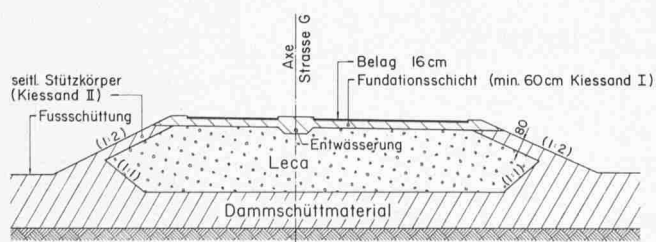


Bild 7. Dammquerschnitt im Bereich der Leca-Schüttung



Bild 8. Verdichten des seitlichen Stützkörpers mit dem Plattenvibrator AT 2000

Das Leca-Material kann deshalb als *kohäsionslos* bezeichnet werden. Die Stabilität einer Böschung aus Leca ist unabhängig von ihrer Belastung; der Sicherheitsfaktor beträgt $F = \tan \Phi' / \tan \beta$. Bei einer Böschungsneigung von 1:2 beträgt die Sicherheit gegen Bruch $F = 1,20$.

Auf dem Werkareal Olten der *Firma AG Hunziker + Cie.* wurden die Böschungswinkel von Leca lose ebenfalls bestimmt. Die Versuche mit der Fraktion 3–10 mm ergaben 33° , jene mit der Fraktion 10–20 mm 30° . Der Böschungswinkel eines Gemisches aus den beiden Fraktionen dürfte etwa bei $31,5^\circ$ liegen, womit die Ergebnisse des Grossversuchs bestätigt sind.

Seitlicher Stützkörper aus Kiessand II

Die seitliche Überdeckung der Leca-Schüttung mit Kiessand II dient als Stützkörper und als Sicherung der Leca-Schüttung gegen äussere Einflüsse (Wegschwemmen bei Niederschlägen, Sabotageakte usw.). Für die Dammstabilität hätte ein Stützkörper mit 65 cm Dicke genügt. Ausführungstechnisch erwies sich jedoch eine Dicke von 80 cm als günstiger, da sie eine Verdichtung des Stützkörpers mittels Plattenvibrator gestattete (Bild 8).

Daneben wurden auch Stützkörper aus Steinkörben, Leca-Bitumen, Betonplatten, terre armée, Vliesmatten und Drahtnetzen in Betracht gezogen. Aus finanziellen sowie ausführungstechnischen Erwägungen und zum Teil aus Stabilitätsgründen wurde der Stützkörper aus Kiessand II bevorzugt.

Die *rechnerische Sicherheit* der ausgeführten Böschung beträgt $F = 1,35$ ($\Phi'_{\text{Leca}} = 31,5^\circ$).

Die *effektive Sicherheit* bzw. der Winkel der inneren Reibung dürfte in der Dammschüttung eher grösser sein, da hier im Gegensatz zur Versuchsschüttung das Leca-Material durchmischt und verdichtet wurde.

Nachweis der Tragfähigkeit und Setzungsempfindlichkeit

Allgemeines

Aus geotechnischen und wirtschaftlichen Gründen war ein *direktes* Aufbringen der Fundamentalschicht auf die Leca-Schüttung anzustreben. An ihrer Oberfläche musste demnach ein M_E -Wert von mindestens 150 kg/cm^2 (Laststufe 0,5 bis $1,5 \text{ kg/cm}^2$) nachgewiesen werden. Bereits früher waren auf Versuchsfeldern der AG Hunziker + Cie. M_E -Werte auf Leca-Schichten von 12–35 cm Dicke bestimmt worden [3]. Sie liessen erwarten, dass auch auf mächtigeren Leca-Schüttungen

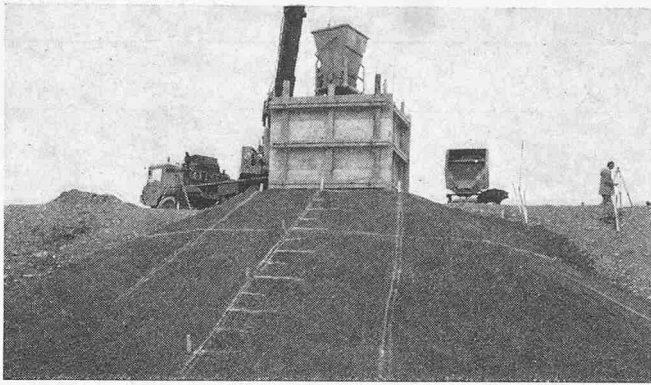


Bild 9. Versuchsanordnung beim Scherversuch

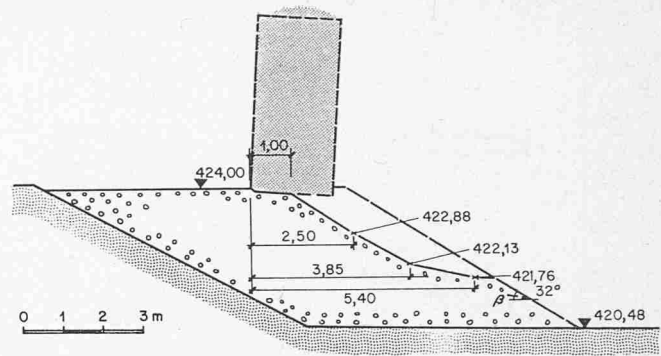


Bild 10. Scherversuch; die Gleitfläche entspricht ungefähr der Leca-Oberfläche nach dem Bruch

der geforderte Wert erreicht werden kann. Doch war dies noch durch *Plattendruck-Versuche* nachzuweisen.

Einbau und Verdichtung

Während dem Einbringen des Leca-Schüttmaterials wurde das gekippte Material mit dem Trax Caterpillar D4, der mit Moorraupen ausgerüstet war, schichtweise in Stärken von rund 50 cm durch mehrmaliges Hin- und Herfahren verdichtet. Beim erstmaligen Befahren von frisch geschütteten Schichten sanken die Raupen etwa 30–40 cm ein. Nach drei- bis viermaligem Befahren wurden nur noch Fahrrinnen von etwa 5 cm Tiefe beobachtet. Wie bereits *Versuche in Finnland und am Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB)* der ETH Zürich zeigten, ist das *Leca-Schüttmaterial praktisch nicht verdichtbar*. Eine übermäßige Verdichtung führt lediglich zur teilweisen Zertrümmerung der Körner. Dies bewirkt neben besseren Festigkeitseigenschaften (schwache Einzelkörner werden zertrümmert) auch ein höheres Raumgewicht der Gesamtfraktion.

Inwieweit Feinbestandteile aus der Foundationsschicht durch Vibration in die Leca-Schüttung eindringen, war bei Versuchsbeginn noch ungewiss. Die Erfahrungen in nordischen Ländern deuten darauf hin, dass eine spezielle Filterschicht über dem Leca nicht erforderlich ist. Beobachtungen beim Versuchsfeld zeigten, dass durch die Raupen die oberen Leca-Körner zum Teil zertrümmert werden. Dadurch erhöht sich der Prozentsatz von Leca-Feinbestandteilen in den obersten 5–10 cm der Schüttung. Diese Schicht wirkt damit als *Filter* gegenüber der Foundationsschicht. Auf besondere Massnahmen wie z. B. eine Filterschicht aus Sand oder Vliesmatten, kann so verzichtet werden.

Einbau und Verdichten des Kiessandes I

Versuchsfeld

Auf einem rund 300 m² grossen Versuchsfeld sollte die genügende Verdichtbarkeit des Kiessandes I über der Leca-Schüttung und die genügende Tragfähigkeit von Leca nach-

gewiesen werden. An den Messstellen betrug die Dicke des Kieskoffers 54–68 cm und die Dicke der darunterliegenden Leca-Schüttung 134–365 cm.

Beim Verdichten des Kiessandes I im Versuchsfeld wurde festgestellt:

- Eine 5 t schwere Anhängewalze ermöglicht weder mit noch ohne Vibration eine zufriedenstellende Verdichtung (10 Passen). Die Verdichtungsenergie wurde offenbar zur Hauptsache von der darunterliegenden Leca-Schüttung absorbiert oder führte zu einer teilweisen Auflockerung des Kiessandes seitlich des Verdichtungsgerätes (M_E -Werte von 230 bzw. 378 kg/cm²).
- Ein 750 kg schwerer Plattendrucker, mit dem das Versuchsfeld während einem Tag verdichtet wurde, vermochte – trotz des relativ kleinen Gewichtes – die Tragfähigkeit des Kiessandes I überraschend stark zu erhöhen (Bild 12, Versuchs-feld).

Die relativ hohen M_E -Werte auf der Leca-Oberfläche und die zum Teil grosse Verbesserung der M_E -Werte auf der Kiesoberfläche bei entsprechenden Verdichtungs-massnahmen liessen erwarten, dass auf einer 50–60 cm dicken Foundationsschicht die gewünschte Tragfähigkeit erreicht werden könne.

Um die dynamische Belastung der obersten Leca-Schicht durch den Schwerverkehr (Versorgungsrouten II. Klasse) geringer zu halten und in Anlehnung an ausländische Beispiele wurde der Kieskoffer mindestens 60 cm dick gewählt.

Foundationsschicht, Vibrationswalze

Im Spätherbst 1976 wurde die gesamte Oberfläche der Leca-Schüttung mit rund 50 cm Kiessand I bedeckt und provisorisch abgewalzt. Im April 1977 wurde die Planie bei der Strasse G erstellt. Dabei wurde auch über der Leca-Schüttung noch Kies aufgebracht und anschliessend analog dem übrigen Strassenabschnitt verdichtet (Bild 11). Nach den Verdichtungs-massnahmen ①–③ zeigten die nachträglich ausgeführten Plattenversuche noch bei einigen Messstellen M_E -Werte unter 1000 kg/cm² (Bild 12, Foundationsschicht ①–③).

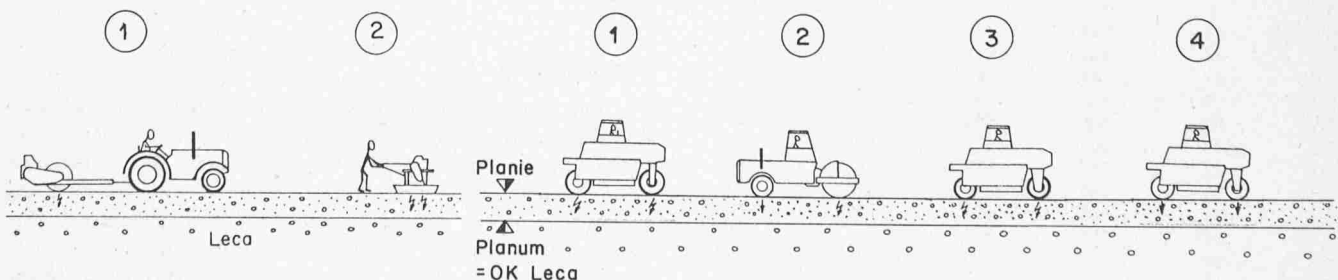
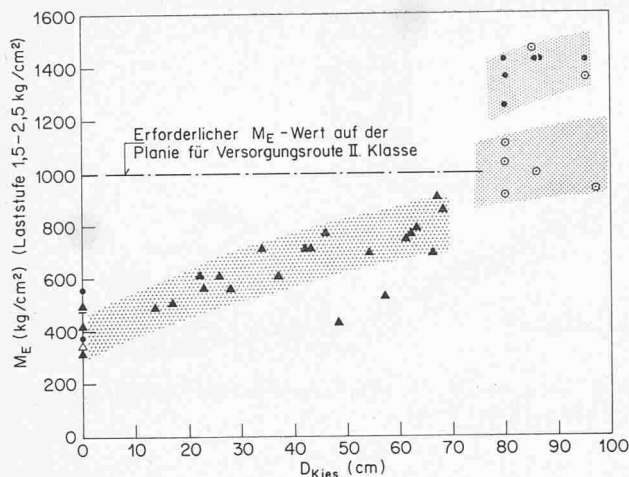


Bild 11. Arbeitsgänge beim Verdichten von Kiessand I über der Leca-Schüttung



- ▲ M_E-Wert auf dem Versuchsfeld
 ○ M_E-Wert auf der Fundationsschicht nach den Verdichtungsmassnahmen ①-③
 ● M_E-Wert auf der Fundationsschicht nach den Verdichtungsmassnahmen ①-④

Bild 12. M_E in Funktion der Verdichtungsmassnahmen und der Kiesand I-Dicke

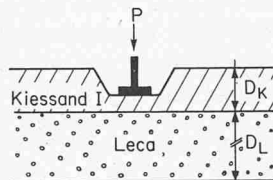
Fundationsschicht, Pneuwalze

Nachdem die erste Serie Plattenversuche auf der Fundationsschicht teils ungenügende Verdichtungswerte zeigte, wurde die Planie im Leca-Bereich zusätzlich mit einer 25-t-Pneuwalze (Bild 11) befahren. Die nachfolgenden Plattenversuche zeigten überaus zufriedenstellende Verdichtungswerte (Bild 12, Fundationsschicht ①-④).

Ergebnisse der Plattenversuche

Die Plattenversuche wurden mit der 700 cm² Kreisplatte gemäss Norm SNV 670317 durchgeführt. Die gemessenen

Tabelle 1. M_E-Werte auf dem Versuchsfeld



Versuch Nr.	Dk cm	Dl cm	Laststufen [kg/cm ²]		
			0,5/1,5	1,5/2,5	2,5/3,5
1	68	134	649	853	1066
1,1	48	134	328	433	597
1,2	28	134	433	563	586
1,3*	0	134	498	498	393
2	67	197	807	905	1194
3	66	228	474	694	728
3,1	46	228	649	766	728
3,2	26	228	369	609	524
3,3*	0	228	378	360	260
4	61	270	515	747	807
5	57	307	482	533	635
5,1	37	307	506	609	711
5,2	17	307	404	506	490
5,3*	0	307	482	415	243
6	63	144	467	786	586
6,1	43	144	853	711	853
6,2	23	144	482	563	622
6,3*	0	144	393	490	515
7	62	249	609	766	747
7,1	42	249	622	711	933
7,2	22	249	439	609	553
7,3*	0	249	284	321	299
8	54	365	467	694	679
8,1	34	365	543	711	746
8,2	14	365	446	490	597
8,3*	0	365	299	351	332

* OK Leca

Tabelle 2. M_E-Werte auf der Fundationsschicht

Versuch Nr.	Dk cm	Dl cm	Laststufen [kg/cm ²]			
			0,5/1,5	1,5/2,5	2,5/3,5	3,5/4,5
9	97	149	679	933	1030	-
9a	95	256	1244	1357	1422	-
9a**	95	256	1194	1422	1357	-
9a*	0	256	566	526	492	441
10	86	375	467	635	766	-
10**	86	375	1493	1422	1659	-
10a	86	375	878	995	963	-
11	85	470	1422	1493	1572	-
11**	85	470	2133	1422	2297	-
12	80	424	878	905	1194	-
12**	80	424	963	1357	1493	-
13	80	324	829	1030	878	-
13**	80	324	905	1244	1572	-
14	80	224	1030	1106	1298	-
14**	80	224	1066	1422	1244	-
14*	0	224	385	435	416	361

* OK Leca

** Nachverdichtung mit Pneuwalze (Bild 11, Arbeitsgang ④)

Werte sind in Tabelle 1 und 2 zusammengestellt. Sie können in mehrfacher Hinsicht ausgewertet werden.

M_E-Wert von Leca (Planum)

Im ganzen wurden acht Versuche auf der Leca-Oberfläche ausgeführt. In dem für das Planum massgebenden Spannungsbereich von 0,5–1,5 kg/cm² beträgt der Mittelwert mit Standardabweichung 411 ± 98 kg/cm². Der kleinste gemessene Wert beträgt 284 kg/cm², der grösste 566 kg/cm². In [3] wurde der M_E-Wert von Leca auf rund 130–290 kg/cm² geschätzt. Jene Schätzung liegt aufgrund der jetzigen, zuverlässigeren Messwerte an der unteren Grenze der effektiv vorhandenen M_E-Werte.

Die Versuche zeigen, dass bei einem Unterbau aus Leca mit einem minimalen M_E-Wert von rund 300 kg/cm² gerechnet werden kann, sofern verhindert wird, dass Leca nach oben ausweichen kann, z.B. durch eine auf die Oberfläche geschüttete Kiessandschicht.

Die Norm SNV 640585a verlangt auf dem Planum einen M_E-Wert von mindestens 150 kg/cm². Mit den Plattenversuchen wurde der Nachweis erbracht, dass Leca lose ohne Bedenken als Strassen-Unterbau verwendet werden kann.

M_E-Wert auf Kiessand I über Leca

In Bild 12 sind die M_E-Werte in Funktion der Kiesdicke dargestellt. Die minimale Dicke des unter dem Kies liegenden Leca-Materials ist mit 134 cm grösser als der vierfache Durchmesser der Lastplatte. Ein Einfluss des unter dem Leca anstehenden Untergrundes auf die Versuchsergebnisse kann somit ausgeschlossen werden. Dagegen beeinflussen Verdichtungsgerät und -methode erwartungsgemäss die Messergebnisse sehr stark. So konnten mittels Plattenvibrator und Vibrowalze nicht durchwegs genügende Verdichtungswerte erreicht werden. Erst nach dem Einsatz einer statischen Pneuwalze ergaben sich zufriedenstellende M_E-Werte.

Folgerungen

Die Versuche haben erwiesen, dass mit Leca als Damm-schüttmaterial die Tragfähigkeitsanforderungen der SNV-Normen ohne weiteres erfüllt werden können. Beim Anschluss Hinterberg musste die Fundationsschicht bei guter Verdichtung mindestens 55 cm dick sein, damit auf ihrer Planie ein M_E-Wert von 1000 kg/cm² erreicht wurde. Für einen M_E-Wert von 800 kg/cm² würden rund 35 cm genügen. Massgebend für die Bestimmung der Dicke der Fundationsschicht bleibt jedoch die

Bemessung entsprechend der zu erwartenden Verkehrslast, sofern sie 35 cm übersteigt.

Im vorliegenden Fall wurde die Foundationsschicht mindestens 60 cm dick ausgeführt.

Die Verdichtung erfolgt mit Vorteil zuerst mittels eines vibrierenden Gerätes und zum Abschluss mit einer statischen Pneuwalze.

Der Winkel der inneren Reibung für ein unverdichtetes Leca-Gemisch mit Kornabstufung 3–20 mm ergab sich im Grossversuch zu rund 31°.

Literaturverzeichnis

[1] *Schwegler H.*: «Besondere Probleme des zugerischen Nationalstrassenbaues.» *Strasse und Verkehr*, April 1974.

[2] *Gyger M.*: «Dammschüttungen auf weichen Seeablagerungen.» *Strasse und Verkehr*, April 1974.

[3] *Zeindler H.* und *Schmutz G.*: «Untersuchungen zur Anwendung des Leichtbaustoffes Leca im Strassenbau.» *Strasse und Verkehr*, Juli 1975.

[4] *Wackernagel A.*: «Pfählfundation der Brücke des Autobahnanschlusses Zug in junger Seeablagerung.» *Strasse und Verkehr*, April 1974.

[5] *Weiss R.H.*: «Verwendung von Leca im Strassenbau.» *Schweizer Baublatt*, Nr. 52, 1975.

Adressen der Verfasser: *W. Isele*, Bauingenieur, c/o Eichenberger AG, 8006 Zürich, *W. Landis*, dipl. Ing. ETH, c/o Eichenberger AG, 8006 Zürich, *G. Schmutz*, dipl. Ing. ETH, c/o GD SBB, Bauabteilung, 3000 Bern, *H. Zeindler*, dipl. Ing. ETH, c/o GEOTEST AG, 3052 Zollikofen.

Fragen um den Ausbau der Schweizer Verkehrswege

ASIC-Arbeitstagung in Bern

Die diesjährige ASIC-Arbeitstagung wurde unter dem Vorsitz des Präsidenten *Frédéric Matter* im «Schweizerhof» in Bern abgehalten (25. Nov. 1977). Der Natur des beratenden Ingenieurs entsprechend, stand eine Umschau über kommende Entwicklungen und Probleme im Mittelpunkt. Die Vorträge der Gastreferenten vermittelten sehr interessante Einblicke in die Aufgaben, denen sich Staat, Bürger, Planung und Ingenieur in den nächsten Jahren stellen müssen.

Vernachlässigte Wasserstrassen

Der Präsident der Association de la navigation du Rhône au Rhin, *Georges Béguin* (Neuenburg), erläuterte die Bestrebungen betreffend die Errichtung von *Wasserstrassen in der Schweiz* für den *Gütertransport*. Eine Umschau in unsere Nachbarländer, alles seefahrende Nationen mit langjähriger Binnenschiffahrtstradition, lässt Entwicklungen von grosser Tragweite für unser Land erkennen. Als Alpenland ohne Meeresanstoss war die Schweiz nie zu einer wesentlichen Schiffahrtstradition gekommen, was wohl einer der Gründe sein mag, weshalb der massive Ausbau der uns umgebenden Wasserwege (Rhein-Rhône-Kanal, Rhein-Main-Donau-Kanal usw.) kaum beachtet wurde. Nun zeichnen sich bei unserer Industrie jedoch schwerwiegende Konkurrenz Nachteile zur *Anliegerindustrie* an den besagten Wasserstrassen ab. Die Wasserstrasse ist, wie der Referent anschaulich darstellte, prädestiniert für den *Massen- und Schwerguttransport*, also für den *Import von Rohmaterialien* und den *Export von Investitionsgütern*. Die Bilanz von Vor- und Nachteilen unter Einschluss von Energieverbrauch, Umweltschutz und Lebensqualität wird nur noch von Pipelines übertroffen. Diese Tatsachen haben schon einige Industrien bewogen, sich an diesen Wasserstrassen nach geeigneten Grundstücken umzusehen. Es scheint der Moment gekommen zu sein, sich mit dem Gedanken um die Errichtung von schweizerischen Wasserstrassen ernsthaft auseinanderzusetzen. Es sei nur angedeutet, dass schon erhebliche Planungsleistungen für die Schiffbarmachung der Rhône bis Genf und die Verbindung des Léman mit Basel erbracht worden sind. Eine der kommenden Hauptaufgaben der Initianten der Schiffahrtsidee ist die *Aktivierung des politischen Willens*, den die Bewältigung einer solchen Aufgabe voraussetzt.

Zwischenstellung der Schweizerischen Bundesbahnen

Der Direktor der Bauabteilung GD-SBB, *Kurt Ensner* (Bern), vermittelte einen der seltenen Überblicke über die *Aufgaben der SBB im europäischen Eisenbahnsystem*. In allen Ländern Europas stehen die Eisenbahnen in einer Periode der Wandlung. Viele Entwicklungen auf welche die Bahn selbst keinen Einfluss hat, wirken tief in ihr Gefüge hinein. Zwischen Strassen- und Luftverkehr nimmt sie funktionell eine Zwischenstellung ein, die schwer zu definieren ist, da die beiden Hauptkonkurrenten sich rasant entwickeln. Am Beispiel des Reiseverkehrs zeigte der Referent, wie sich der Verkehr zwischen den verschiedenen grossen und kleinen Zentren abspielt und welche Verkehrsmittel der Reisende für bestimmte Distanzen bevorzugt.

Die Gegenüberstellung einer Idealstudie des europäischen Eisenbahnnetzes mit dem Ist-Zustand zeigte, dass Wunsch und Wirklichkeit gar nicht so weit von einander entfernt sind und dass die Gestalt und Dichte des schweizerischen Bahnnetzes in den internationalen Rahmen passt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Weiterausbau von gewissen Hauptlinien nicht hinausgeschoben werden darf, sofern die Bedeutung der Schweiz als *Drehscheibe Europas* nicht schwinden soll. Das umliegende Ausland ist bereits heute unter Verwendung grosser Mittel mit dem Ausbau seiner Bahnen beschäftigt.

Besinnung im Ausbau des Nationalstrassennetzes

Dem Direktor des Amtes für Strassen- und Flussbau, *Jules Jakob*, blieb es vorbehalten, den jüngsten und am meisten kontroversen Verkehrsträger, die *Strasse*, im Lichte einer schwierigen Zeit zu beleuchten. Bei keinem der übrigen Verkehrsträger haben sich die *Randbedingungen in so kurzer Zeit derart weitgehend geändert*. Die Ausgangslage beim Beginn des Autobahnbaues in der Schweiz war gekennzeichnet durch eine langanhaltende Prosperität, einen wachsenden Wohlstand, einem zunehmenden Mobilitätsbedürfnis einer rapide wachsenden Wohnbevölkerung und einem dadurch bedingten schnell wachsenden Fahrzeugbestand. Die *Euphorie* der Projektionen für eine *«10-Millionen-Schweiz»* griff um sich und forderte gebieterisch nach einem zügigen Ausbau des Strassen- und Autobahnnetzes. Jede Prognose stellte die früheren in