

Einige Anwendungsmöglichkeiten von Bodenstabilisierungen im steirischen Straßenbau

Oskar HOMANN, Graz

Mit 5 Abbildungen

1.0 Einleitung

Ende der fünfziger, Anfang der sechziger Jahre begann nach erfolgreicher Anwendung in den USA, wo auf Flugplätzen während des 2. Weltkrieges durch die Stabilisierung mit Kalk höhere geforderte Festigkeiten im Unterbau erzielt werden sollten, auch in Europa, vornehmlich in den Alpenländern, diese Baumaßnahme Fuß zu fassen. Wurden zunächst nur untergeordnete Wegebauten erfaßt, so konnte der Durchbruch der Kalkstabilisierung im größeren Umfang erst durch den Autobahnbau in der Steiermark verzeichnet werden. Die Anfänge in dieser Richtung liegen nun schon 10 Jahre zurück, als damit begonnen wurde, im Probeeinschnitt auf der Laßnitzhöhe für die Südautobahn das Unterbauplanum in schluffig-tonigen Jungtertiärschichten mit Hydratkalk zu versiegeln.

Bei Beobachtungen dieser Maßnahme durch einige Monate bzw. bis zum eigentlichen Baubeginn nach 5 Jahren, konnten Tragfähigkeitszunahmen festgestellt werden, obwohl die mangelnde Herstellung — Verteilung aus in Säcken angeliefertem Hydratkalk von Hand aus und noch nicht so perfektionierter Maschineneinsatz — viele Wünsche offenließ, was vor allem die Homogenisierung Boden—Kalk anlangt. Daß beim Autobahnbau zwischen Gleisdorf und Graz die Anwendung der Kalkstabilisierung nicht zur weiteren Anwendung kam, lag daran, daß aus einigen, der Autobahn nächst gelegenen pliozänen Kiesablagerungen geeignetes Dammschüttmaterial gewonnen werden konnte.

2.0 Verbesserung des Untergrundes

Mit der Trassenführung der Autobahn im Kainachtal wurde besonders das Problem akut, die durch hohe Dammauflasten verursachten Porenwasserüberdrücke im Untergrund abzubauen und die Tragfähigkeiten in der stark durchnässten und zum Teil aufgeweichten Dammaufstandsfläche zu verbessern. Durch zahlreiche, den natürlichen Verhältnissen angepaßte Laboruntersuchungen konnte auch nachgewiesen werden, daß mit Kalk stabilisierte Lehmböden insofern wasserunempfindlich werden, als sie im Wasser ihre Festigkeiten weitestgehend beibehalten. Diese Erkenntnisse waren für den hier vorliegenden Fall von wesentlicher Bedeutung, da die Dammaufstaufflächen niederschlagsbedingt im Talboden der Kainach zeitweise unter Wasser gesetzt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Stabilisierung in den Dammaufstandsflächen erstens der Porenwasserdruck rascher abgebaut, zweitens die Tragfähigkeit erhöht und drittens der Boden gegen Quellung und Auflösung unter Wasser geschützt wird. Letzten Endes wird durch eine Erhöhung der Scherfestigkeit und durch einen geringen Aufbau der Biegezugfestigkeit eine eventuelle Grundbruchgefahr herabgesetzt bzw. verhindert.

Die Herstellung der Kalkstabilisierung erfolgt in der Form, daß im Untergrund auf volle Frästiefe mit einer Bodenvermörtelungsmaschine, d. s. 30 cm, ein Weiß-Feinkalk (Brantkalk) in einer Menge von rund 4 Gew.-% bezogen auf das verdichtete Trockenraumgewicht (erreichbare Proctordichte) homogen in den Boden eingemischt und mittels Gummiradwalzen von 20 t Dienstgewicht verdichtet wird. Zur Erreichung einer Plattenwirkung unter den relativ hohen Dämmen bis 10 m Höhe, wurden weiters 2—4 Schüttlagen von Lehm mit je 20 cm Stärke in gleicher Weise, jedoch mit 3 Gew.-% Kalkzusatz, aufgebracht. Von dieser nun 70—110 cm starken Platte wird vorausgesetzt, daß die zu erwartenden Setzungen gleichförmig ausfallen und bei Überflutung des Talbodens das im Wasser stehende Dammauflager nicht aufgeweicht werden kann und seine Festigkeit beibehält.

Zur Erläuterung sei folgender Aufbau des Untergrundes festgehalten:

3—5 m Lehm (jungpleistozäne bis alluviale Talfüllung)

3—7 m Sand-Kies (zwischenzeitliche Ablagerungen; mit Grundwasser, zum Teil durch die relativ dichte Lehmdecke gespannt),

bei 8—10 m Tiefe überkonsolidiertes Tertiär (Torton-Badenien) in Form von gelben Feinsanden bis sandig-tonigen graugrünen Schluffen.

3.0 Damm- und Straßenunterbau

Zur Herstellung der Dämme wurde vorwiegend Lehmmaterial aus einer nahe gelegenen Seitenentnahme („Kaiserwaldterrasse“) verwendet. Bei trockener Witterung konnte der Lehm, bestehend aus 10—20 % Ton (unter 0,002 mm), 70—80 % Schluff (0,002—0,06 mm) und Sand (über 0,06 mm) bei einem natürlichen Wassergehalt von 3—6 % über dem nach Proctorbestimmungen optimalen ($w_p \cong 22\%$), mit vollen für einen Straßendamm geforderten Tragfähigkeitsanforderungen eingebaut werden. Bei nasser Witterung wurden nur wenige Zwischenlagen ebenfalls mit Kalk stabilisiert, um den Feuchtigkeitsgehalt, der die Tragfähigkeit herabsetzt, abzubauen.

Das Unterbauplanum erhielt in 1 oder 2 Schichten zu je 20 cm sodann durchgehend eine Stabilisierung mit Kalk, um den Tragfähigkeitsansprüchen ($E_{v2} = 450 \text{ kg/cm}^2$), die von einer Unterlage des Oberbaues gefordert werden, gerecht zu werden. Auch hier wird durch die Beimischung von 3 % Brantkalk eine hohe Wasserunempfindlichkeit und ein hoher Grad von Frostbeständigkeit erreicht.

4.0 Untersuchungen auf Frostbeständigkeit

Zwischenzeitlich wurden kalkstabilisierte Dammschüttungsplanien im Winter und zu jeder Witterung für den schweren Baustellenverkehr verwendet. Es zeigte sich dabei vielfach, daß trotz Frosteindringung und der durch Lastverkehr hohen dynamischen Beanspruchung kaum nennenswerte Schäden in dem für den Bau-

stellenverkehr verwendeten Fahrbahnen auftraten. Aus diesen Erkenntnissen heraus war es naheliegend, die hier verwendeten Lehme, wenn sie mit Kalk stabilisiert wurden, auf Frostsicherheit zu untersuchen. Weiters war zu überlegen, inwieweit Frostschäden an Fahrbahndecken, bei Anwendung solcher Schichten in der Oberbauherstellung als Ersatz von Frostschutzkies, zustande kommen können.

Die Transportweiten von geeignetem Frostschutzkies und vor allem die zunehmende Nachfrage nach qualitativ einwandfreiem Material sind heute im Straßenbau preisbestimmend. Wenn man außerdem die volkswirtschaftliche Seite hinsichtlich der vorhandenen Vorkommensreserven betrachtet, so muß immer wieder die Frage gestellt werden, ob nur reine Sand-Kiesgemenge für die Herstellung von Frostschutzschichten allein geeignet sind.

Die teilweise Frostbeständigkeit von kalkstabilisierten Feinböden ist nun schon allgemein bekannt geworden. Es war daher naheliegend, diese Erkenntnisse praktisch anzuwenden und gleichzeitig parallel dazu im Labor experimentell entsprechende Untersuchungen vorzunehmen.

4.1 Teststrecke

Wie sich nun die Frosteindringungstiefe in alpinen und voralpinen Regionen wirklich auswirkt und wie weit diese vom Materialaufbau bzw. von der Deckenkonstruktion einer Straße abhängig ist, soll aus einer rund 100 m langen Teststrecke auf einer 6spurigen Vollaubahn in einer Dammstrecke hervorgehen. Der Aufbau dieser Teststrecke geht aus Abb. 1 hervor. Für den teilweisen Ersatz der Frostschutzschichte durch kalkstabilisierten Lehm wurden lediglich höhere

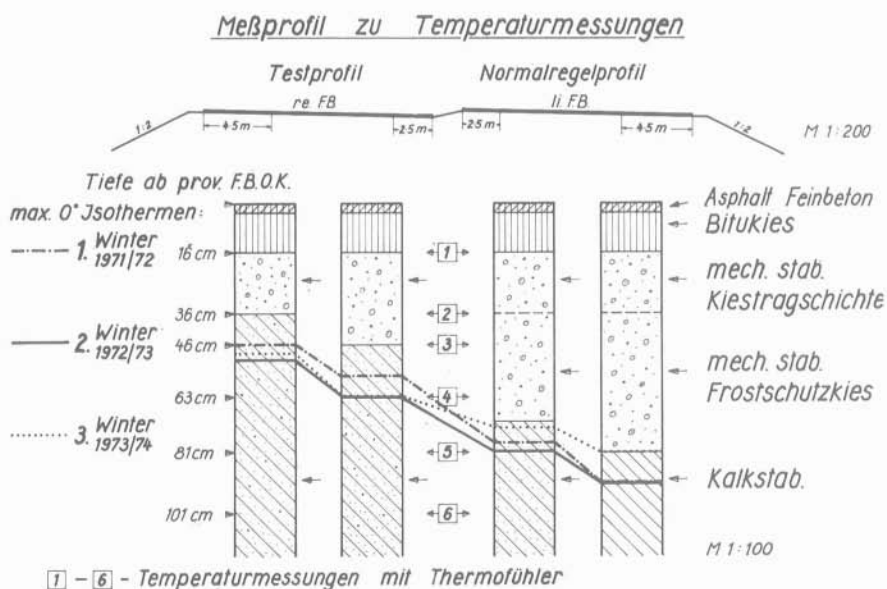


Abb. 1: permanente Temperaturmessungen auf einer Teststrecke zeigen die maximalen Frostbeanspruchungen an.

Tragfähigkeitsansprüche gefordert, und zwar Werte, die für eine Frostschutzschicht gefordert werden, d. s. mindestens 1000 kg/cm^2 im Zweitbelastungswert an durchgeführten Lastplattenversuchen. Von dieser Schichtlage wird also vorausgesetzt, daß eine volle Frostbeständigkeit besteht. Um nun die eigentliche Frostbeanspruchung kennenzulernen, wurden in einem Querprofil, über die beiden Fahrbahnen verteilt, vier Meßpunkte errichtet, die in 6 Stufen bis in eine Tiefe von 1 m permanent die Temperaturen aufzeichneten. Die einzelnen Thermoelemente, 24 an der Zahl, wurden an 4 Schreiber, die in einer Meßhütte am Mittelstreifen untergebracht sind, angeschlossen.

Die größte Frosteindringung (siehe Abb. 1) wurde, bedingt durch eine Kälteperiode von ca. 10 Tagen mit einer Durchschnittstemperatur von -10°C , am 1. 2. 1972 registriert. Man sieht daraus ganz deutlich die Abhängigkeit der Frosteindringungstiefe von der Mächtigkeit des Frostschutzkieses. Durch die gute Temperatur-Leitfähigkeit des Kiesmaterials bedingt, werden Frost-Tauwechsel in rascher Aufeinanderfolge auf das Unterbauplanum übertragen. Vielfach sind Frostlinsen dort noch längere Zeit resistent, wo mächtigere Frostschutzkieslagen eingebaut werden, während bei geringer Kieslage unter Verwendung frostbeständiger, kalkstabilisierter Lehmböden im sogenannten Frostschutzbereich bereits volle Plustemperaturen vorhanden sind.

Diese Teststrecke wurde 3 Winter hindurch zunächst unter sehr starkem Baustellenverkehr und nunmehr unter öffentlichem Verkehr beobachtet. Es sind bisher keinerlei Fahrbahnschäden aufgetreten.

In Verlängerung dieser Teststrecke wurde eine weitere in der Form hergestellt, daß die 20 cm mächtige, frostsichere Sand-Kieslage durch eine zementstabilisierte Tragschicht ersetzt wurde, bei der das dazu verwendete Sand-Kiesmaterial mit 15—20% Schluffanteil und einer 7%igen Zementzugabe ebenfalls im „mixed in place“-Verfahren (mittels Bodenfräse) eingebaut wurde. Es wurde also hier ganz auf ein frostsicheres Sand-Kiesmaterial verzichtet (siehe Abb. 2, Teststrecke II). Es ist naheliegend, den vollständigen oder teilweisen Ersatz von Frostschutzkies — bzw. ungebundenen Tragschichten unter Anwendung von Stabilisierungsmaßnahmen je nach Kornzusammensetzung mit Kalk oder Zement überall dort anzustreben, wo frostsicheres Sand-Kiesmaterial bei wirtschaftlicher Gewinnung fehlt.

4.2 Frosthebungsversuch im Frostschrank

Leider kamen dieser o. a. Teststrecke die letzten 3 Winterperioden, denen sie ausgesetzt war, nicht besonders entgegen. Der Winter 1972/73 war zwar noch der kälteste, beeinträchtigte aber die Bodenverhältnisse mit Frosttemperaturen nur bis Anfang Februar 1972. Der Winter 1973/74 begann zwar sehr früh, bereits Mitte November 1973, aber mit Mitte Jänner 1974 drang keine Frosttemperatur mehr in die Frostschutzschicht ein.

In Anbetracht dieser Situation wurden von Beginn dieser Untersuchungen parallel dazu Frostversuche im Frostschrank vorgenommen. Sie sollen über die Frostbeständigkeit dieser kalkstabilisierten Böden und ihrer eventuellen Auswirkung auf die Fahrbahndecke eine Aussage zulassen.

Es wurden daher Probekörper, um die Langzeitreaktion kalkstabilisierter Böden und die damit zusammenhängende Festigkeitszunahme zu erfassen, in eigens

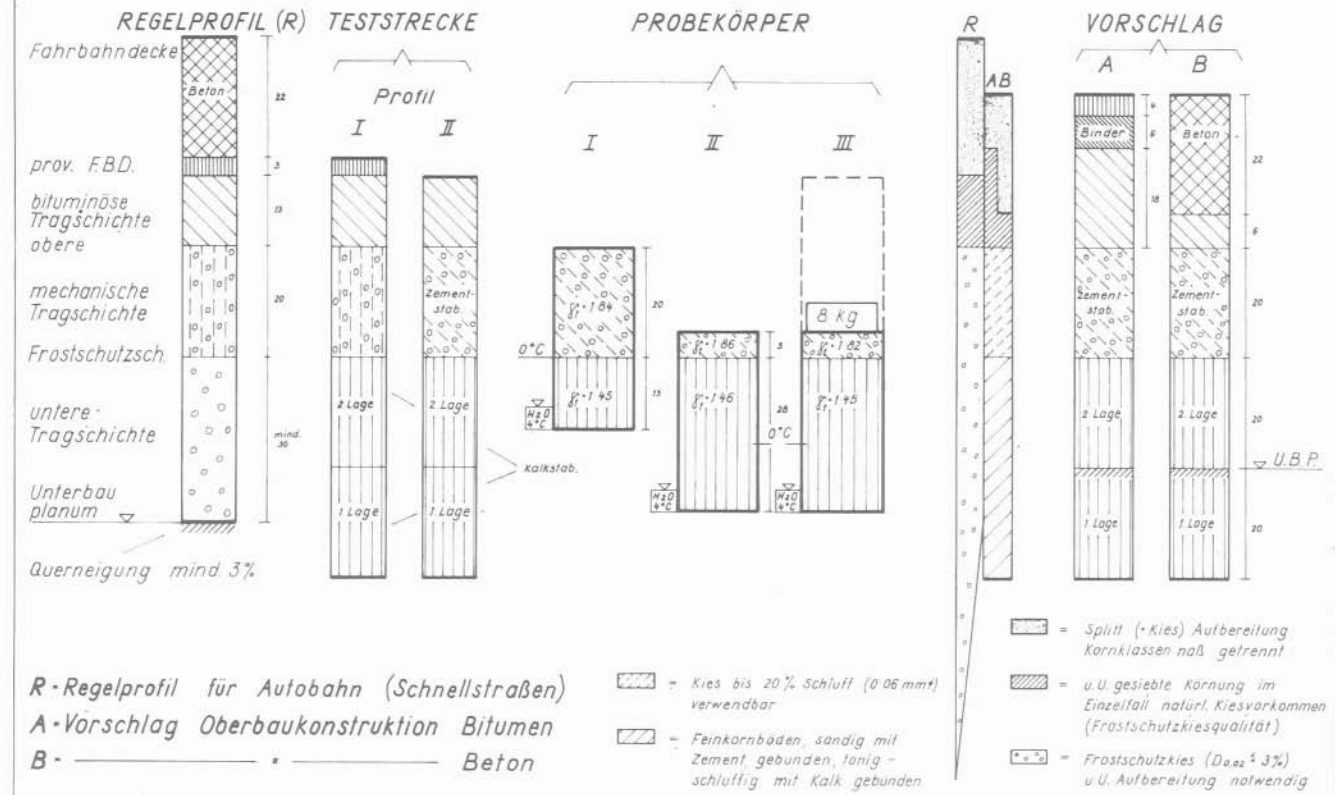


Abb. 2: graphische Darstellung von Fahrbahnkonstruktionen (R, A, B) unter Gegenüberstellung von Materialverbrauch an einwandfreiem Sand-Kies einerseits und Stabilisierung von für Frostschuttkies ungeeigneten Böden andererseits, sowie Darstellung der Probekörper

dafür konstruierten Zylindern aus Kunststoff hergestellt und nach Lagerungszeiten von 1 Monat, 3 Monaten, 6 Monaten und nach 1 Jahr Frostbeständigkeitsprüfungen unterzogen.

Die Probekörper mit 33 cm Höhe und 15 cm \varnothing wurden mit derselben Verdichtungsleistung, wie sie für den Proctorversuch vorgeschrieben ist, verdichtet und zunächst unter Luftabschluß gelagert. Circa 1 Woche vor dem Frosttest wurden die Probekörper, die an ihrer Unterseite einen Filterstein eingebaut bekamen, in Wasser gestellt, so daß sie kapillar Wasser aufnehmen konnten. Im Frostschrank wurde von oben her der Probekörper auf -20° C befrosten und gleichzeitig dem Probekörper die Möglichkeit gegeben, von unten Wasser aufzunehmen. Während der Befrostung von rund 1 Woche wurde die Hebung an der Oberseite und die Wasseraufnahme gemessen.

Versuche im Frostschrank an Probekörpern ($d=150$ mm, $h=330$ mm)
mit 3 Gewichtsprozenten Brannkalk

Probenalter	Wasseraufnahme in cm^3					Frosthebungen nach 7 Tagen Dauerfrost bei -20°C	Zylinderdruck- festigkeiten in kg/cm^2 an Proctorproben Wasserlagerung ohne mit		
	A			B	A+B				
	nach 1 ^h	nach 20 ^h	nach 4 Tg						
0 bzw. ohne Kalk	—	—	—	980	980	71 mm	18	0	
7 Tage	—	—	—	600	600	45 mm	3.6	1.8	
1 Monat	m	68	214	273	142	415	16 mm	6.2	5.2
	o	119	195	212	140	352	13 mm		
3 Monate	m	68	176	268	150	418	13 mm	14.0	7.7
	o	52	80	103	100	203	6 mm		
6 Monate	o	0	65	170	60	230	11 mm	19.4	9.7
1 Jahr	o	5	38	62	0	62	4.5 mm	29.0	12.1

A - vor Versuchsbeginn m - mit
B - während der Versuchsdauer o - ohne } Wasseraufnahmemöglichkeit während
der Lagerungszeit

Abb. 3: tabellarische Übersicht der Frosthebungsversuche an 33 cm hohen Probekörpern bei gleichzeitiger Registration der Wasseraufnahmefähigkeit aus einem Grundwasser.

Es zeigt sich dabei ganz deutlich eine mit der Abbindereaktionszeit zunehmende Frostbeständigkeit, die wiederum von der Zylinderdruckfestigkeit und Wasseraufnahme abhängig ist (Abb. 3). Eine Wiederholung der Befrostung führt zu einer geringen Wasseraufnahme und ebenfalls geringeren Hebung nach einer teilweisen Zerstörung des Gefüges in horizontalen Fugen. Vergleicht man nun die Hebungs- und Wasseraufnahmewerte während der Befrostung, so kommt ganz deutlich der Vorteil der Kalkzugabe im allgemeinen als auch der Langzeitreaktion im besonderen zum Ausdruck. Wesentlich erscheint mir, auf die Wasseraufnahmefähigkeit hinzuweisen, die sowohl vor der Befrostung als auch während der Befrostung mit zunehmender Reaktionszeit stark abnimmt. Von der Wasseraufnahmefähigkeit kann auch die Frostbeständigkeit abhängig gemacht werden.

Mit der zunehmenden Wasseraufnahme sind größere Frostschäden zu erwarten. Diese in der Tabelle (Abb. 3) zusammengestellten Werte werden gleichzeitig in einem Diagramm (Abb. 4) anschaulich dargestellt.

In der Natur selbst sind extreme Frostbedingungen, wie sie experimentell im Frostschrank vorgegeben sind, kaum vorhanden, da jedes Unterbauplanum bzw. jede Straßenoberbaukonstruktion eine absolut funktionierende Entwässerung haben muß.

Versuche an mit 3 Gew.%, stabilisierten Probekörpern unter Luftabschluß gelagert

- a) Zylinderdruckfestigkeiten q (Probekörper $d=100\text{ mm}$, $h=120\text{ mm}$)
 b) Frostversuche (Probekörper $d=150\text{ mm}$, $h=330\text{ mm}$)

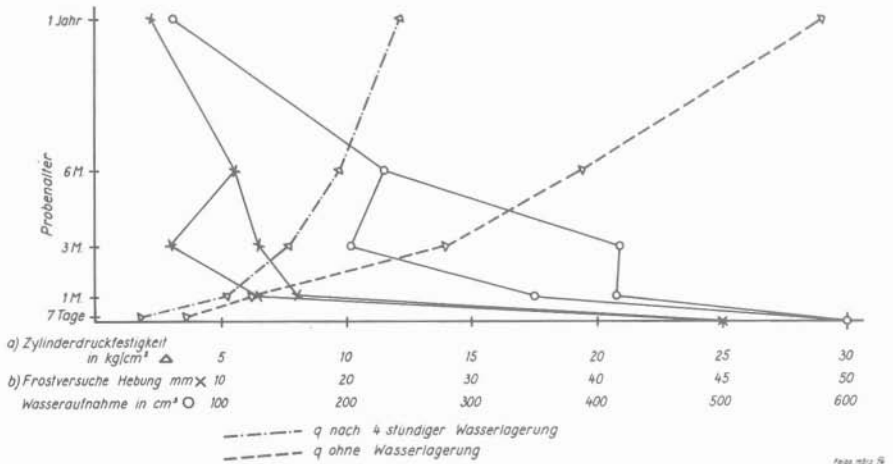


Abb. 4: graphische Darstellung der Frosthebungen und Wasseraufnahme an verschiedenen alten Probekörpern.

4.3 Konstruktive Ausblicke

Aus all diesen Erfahrungen und experimentellen Untersuchungen leiten sich einige volkswirtschaftliche Überlegungen ab, die ihren Niederschlag darin finden, daß von den bisherigen konservativen Regelprofilgestaltungen einer Straßenbaukonstruktion auf andere Fahrbahnaufbauten im Straßenbau übergegangen werden soll. Es wird regional verschieden vorzugehen sein, inwieweit die eine oder andere Oberbaukonstruktion ausfallen soll. Abgesehen von der Oberbaudimensionierung, die durch Verkehrsbelastung und Verkehrsfrequenz bestimmt wird, ist die Art des Aufbaues vom örtlich zur Verfügung stehenden Material abhängig zu machen. Nicht nur, daß die Transportweiten den Herstellungspreis bestimmen, soll auch der Umweltschutz, wie Lärmbelästigung und Luftverschmutzung, bei der Wahl des Konstruktionstypes Beachtung finden. Wenn also in unmittelbarer Nähe für eine Großbaustelle einwandfrei frostsicheres Sand-Kiesvorkommen fehlt, soll man sich nicht scheuen, den vollen oder teilweisen Ersatz von Frostschutzkies durch kalkstabilisierten Lehm oder Zementstabilisierung von lehmigem

Kies bzw. gebrochenem Felsmaterial auszuführen. Es ist derzeit kaum mehr volkswirtschaftlich vertretbar, reine Sand-Kiesvorkommen für Frostschuttschichten im Straßenbau auszubeuten, wenn andere minderwertige Materialvorkommen unter Stabilisierung mit Kalk oder Zement einen gleichwertigen Ersatz bieten. Außerdem ist aus rein bodenmechanischen Berechnungen und langjährigen Erfahrungen im Straßenbau für die Haltbarkeitsdauer einer Straßendecke eine gebundene (Verfestigung mit Zement, Kalk, Bitumen o. ä.) Tragschicht bzw. Frostschuttschicht einer ungebundenen, mechanisch verfestigten vorzuziehen. Eine Übersicht von Fahrbahnkonstruktionen und der damit verbundene Materialverbrauch soll mit der Tabelle (Abb. 2) die hier aufgezeigten Verhältnisse darstellen.

5.0 Sanierung von Böschungsrutschungen

Als ganz junge Anwendungsmöglichkeit soll die Sanierung von Böschungsrutschungen beschrieben werden. Im Anstieg auf die Pack mit der Südautobahn unmittelbar nach der Anschlußstelle Mooskirchen werden tertiäre Schluffe, z. T. mergelig-sandig, bis 10 m tief eingeschnitten. Die bei einer Böschungsneigung von 2 : 3 vorliegende Böschung bis zu 30 m Länge im Gefälle erwies sich nur im Anfangsabschnitt für diese Neigungsbildung genügend standfest. Im weiteren Verlauf, genau unterhalb eines Wohnhauses, zeigten sich im Zuge der Böschungsherstellung Gleitharnische, die sich mit ca. 60° gleichsinnig mit der Böschung ausbildeten. Eine zuerst von der Bauleitung angeordnete Böschungsverflachung brachte keinen Stillstand in die bereits ausgelöste Bewegung und die damit zurückversetzte Böschungstirn kam bedrohlich nahe an das Wohnhaus zu liegen. Der Entschluß, diese Böschung in Lagen mit Kalk stabilisiert, unter Verwendung des do. anfallenden Materials vom Böschungsfuß neu aufzubauen, mußte rasch getroffen werden. Der Vorteil für diese Maßnahme bestand in der kurzen Ausführungszeit von nur 2 Tagen, bei einer Massenbewegung von rd. 1700 m³ Material unter Einsatz einer Schubraupe (Cat D 6), eines zeitweilig im Einsatz stehenden Ladegerätes, 2 LKWs und dem Kalkstabilisierungszug, bestehend aus Bodenfräse und Verteilergerät.

Das Bodenmaterial wurde von der Schubraupe unter gleichzeitigem Unterschneiden der Böschung bzw. der Gleitharnische gewonnen. Der muldenartige Aufbau erfolgt auf durchschnittlich 2 Arbeitsspuren der Bodenfräse. In ca. halber Höhe der Böschung wurde eine wasserführende Schicht angetroffen, die für die Gleitung verantwortlich war. Sie wurde mittels Drainagekies an die Böschungsaußenseite entwässert und zunächst provisorisch über die Böschung abgeleitet. Die Wasserführung lag bei ca. 1 l/min. Das zu befürchtende Weitergreifen der Rutschung in Richtung des Wohnhauses wurde unter kürzestem Arbeitsaufwand verhindert. Eine sonst in der Steiermark übliche Böschungssanierung mittels Steinmaterial hätte zeitlich ca. 1 Woche Arbeit in Anspruch genommen, wobei dies die vollständige Wegnahme des Böschungsmaterials bedeutet hätte. Das Material wäre dabei als nicht brauchbar auf Deponie zu schützen und durch Steinmaterial zu ersetzen gewesen. Diese hier aufgezeigte Methode konnte allerdings nur durch die Möglichkeit einer Böschungsverflachung auf nahezu 20° durchgeführt werden. Gleichzeitig lag die Voraussetzung vor, daß das in der Böschung angetroffene Bodenmaterial für eine Kalkstabilisierung geeignet war (siehe Abb. 5).

Sanierung einer Einschnittböschung mittels Kalkstabilisierung
 Südaulobahn, Edenberg
 Km 207+883-83

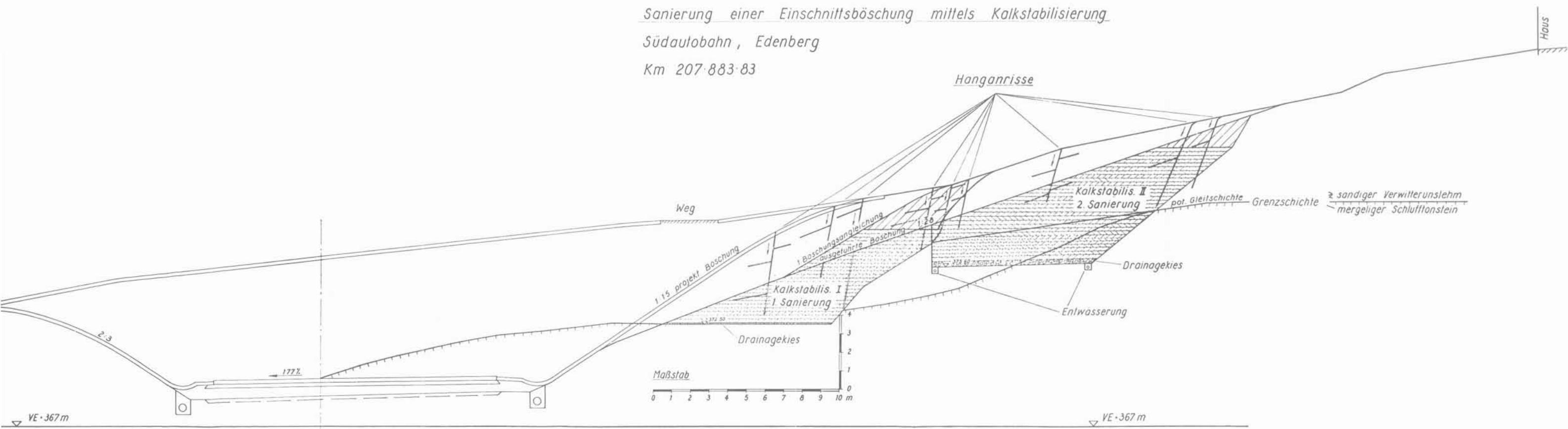


Abb. 5: Schematische Darstellung einer Hangsicherung mittels Kalkstabilisierung in einem Querschnitt.

6.0 Schlußbemerkung

Aus den aufgezeigten Anwendungsmöglichkeiten der Stabilisierung mit Kalk als auch mit Zement, wobei die Wahl des Bindemittels im wesentlichen vom Kornaufbau abhängig ist, geht hervor, daß an einzelnen Straßenbaukonstruktionen bei Verwendung von für den Straßenbau als minderwertig bezeichneten Materialien eine bedeutende Qualitätsverbesserung erreicht werden kann. Darüber hinaus kann durch die aufgezeigten Maßnahmen aus volkswirtschaftlichen Erwägungen — dem Raubbau an Sand-Kiesvorkommen — diese Vorkommen sollten ausschließlich zur Herstellung von Fahrbahndecken, sowohl Beton als auch Bitumen, d. h. der Gewinnung für Betonzuschlagstoff im allgemeinen vorbehalten bleiben — Einhalt geboten werden. Es geht dabei nicht um eine technisch billige Ersatzmaßnahme, sondern um eine echte Verbesserung bzw. wirtschaftlichere und im einzelnen umweltfreundlichere Herstellung von Straßenbaukonstruktionen.

Literaturhinweise

- AICHHORN, W. & WINTERKORN, H.: Grundlagen der Bodenstabilisierung im Straßen- und Wegebau — Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen im ÖIATV, Arbeitsgruppe Untergrundforschung — Wien 1960.
- BRAND, W.: Die Bodenverfestigung als konstruktive und betriebstechnische Maßnahme im Erd- und Straßenbau — Zeitschrift Straßenbautechnik, Heft 13/1964.
- HINTSTEINER, E.: Der ländliche Wegebau in der Steiermark — Zeitschrift Straße und Autobahn, Heft 4/1969.
- HOMANN, O. & ANDERSSON, H.: Das Baulos 5 „Kaiserwald“ bei Graz der österreichischen Südautobahn — Europastraßen, Heft 3/70 — München 1970.
- HOMANN, O. & BAUMGARTNER, E.: Kalkstabilisierung als notwendige Baumaßnahme im Autobahnbau — Zeitschrift Bau im Spiegel, 3 Jg. Nr. 2 — Wien 1970.
- HOMANN, O.: Kalkstabilisierung beim Autobahnbau in der Steiermark — Österreichische Ingenieurzeitschrift, Jg. 14, Heft 3 — Wien 1971.
- : Untersuchung für einen Ersatz von Frostschutzkies durch Kalkstabilisierungsschichten. — abgedruckter Vortrag zur 3. Internationalen Kalktagung in Berlin am 9. 5. 1974.
- KUONEN, V.: Boden- und Straßenunterbau — Schweizerische Bauzeitung, 91. Jg., Heft 10 — Zürich 1973.
- SPATZEK, H., & BROUSEK, CH. — SAUER, E.: Die Bodenstabilisierung mit Kalk — Montanrundschau 1961, Sonderheft Steine und Eden.

Anschrift des Verfassers: Reg. OBR. Dr. Oskar HOMANN, Rohrbachhöhe 76, 8010 Graz, Österreich.