

DIE GEOTECHNISCHEN ERFAHRUNGEN EINER DAMMVERBREITERUNG

KOVÁCS, M.—Dr. MARCZAL, L.—Dr. KABAI, I.

Lehrstuhl von Geotechnik,
Technische Universität, H-1521, Budapest

Eingegangen den 9 Mai, 1990

Vorgelegt von Prof. Dr. G. Petrasovits

Abstract

At the broadening of a highway embankment, both the earthwork and the pavement got damaged. The characteristics of the soil used for the broadening were favourable, but differed widely from those of the original fill. The inhomogeneity of the embankment, the different physical parameters caused damage in the structure, that had been constructed only with usual care. Damage was analyzed and solution for reparation was given on the basis of detailed site and laboratory investigations.

Eine sehr häufige Aufgabe bei der Erneuerung unserer Straßen ist die Verbreiterung eines Erdbauwerkes. Die praktischen Methoden einer Dammverbreiterung sind schon lange bekannt und ausgearbeitet. Diese Methoden und Vorschriften haben sich bei gründlicher Ausführung in der Mehrzahl der Fälle als ausreichend erwiesen. Die Stabilität und Tragfähigkeit des verbreiterten Erdbauwerkes genügt den gestellten Anforderungen.

Die Schädigung des verbreiterten Erdbauwerkes sowie der darauf befindlichen Fahrbahndecke ist meistens eine Folge der gemeinsamen Einwirkung von Planungs- und Baufehlern. Es kommt vor, daß bei der Verbreiterung ein über gute geotechnische Parameter verfügender Boden eingebaut wird, dessen Festigkeits- und Verformungsparameter auch in verhältnismässig lockerem Zustand den Anforderungen entsprechen, trotzdem entstehen durch die abweichenden Eigenschaften der übrigen Phasen und die Inhomogenität des Füllmaterials Schäden. Die Möglichkeit einer solchen Schädigung läßt sich nur schwer vorher erkennen. Trotz sorgfältiger Planung des Erdbauwerkes ziehen schon geringfügige Fehler bei der Bauausführung bedeutende Schäden nach sich. Zum Studium der obigen Erscheinung analysierten wir die Schädigung des Erdbauwerkes und Straßenbelages der Kriechspur einer Hauptverkehrsstraße, durch einen systematischen geotechnischen Aufschluß und auf Grundlage von Laborprüfungen.

Örtliche Beobachtungen und Prüfungen

Der Anstieg des geschädigten Straßenabschnittes ändert sich zwischen 0% und 3,6%. Die Länge des Abschnittes beträgt 225 m. Die Höhe der verbreiterten Auffüllung ändert sich zwischen 4 und 6 Metern und die Verbreite-

rung beträgt 3,0 m. Den Lageplan der zu untersuchenden Strecke und die Querschnittsprofile der Aufschlüsse zeigen wir im 1. und 2. Bild. Überblicken wir nun die, auf dem im Bild bezeichneten Abschnitt der Kriechspur, beobachteten, gemessenen und wahrgenommenen Schäden.

Auf der gesamten Länge der Dammverbreiterung sind die Straßenbelaganschlüsse gerissen. Bei den Rissen entstand eine 2,5 cm hohe Stufe. Der äußere Belagrand der Kriechspur ist in größerem Masse abgesunken. Die Setzung beträgt hier zusätzlich zur Straßenbelagsneigung zwischen 5 und 15 cm. Die am Rand der Straßendecke befindliche Leitplanke ist in Richtung der Böschung gekippt, die Planke erfuhr Formänderungen in der Größenordnung von Dezimetern. Auch an der Auffüllung nahmen wir bedeutende Deformationen wahr. Auf der Böschung wachsen an mehreren Stellen Schilf und andere wasserliebende Pflanzen. Das Erdbauwerk der Verbreiterung erschlossen wir durch Bohrungen mit großem Durchmesser und mit, zur Längsachse rechtwinkligen, Forschungsgräben. Das Material der Aufschüttung bildet gelbe, gelbbraune Übergangsböden. In kleinen Linsen kommen sandmehlige, schlammige Sande vor. Über dem Terrainniveau sowie über der treppenförmig ausgebildeten Grenzlinie zwischen der alten und neuen Auffüllung fanden wir bedeutende Aufweichungen. Bei der Inaugenscheinnahme erschien es wahrscheinlich, daß das neue, in lockerem Zustand befindlich scheinende Erdbauwerk den auf die Oberfläche gelangenden Niederschlag und das von der Fahrbahn abfließende Niederschlagswasser aufsaugt, und dieses Wasser sich auf den über eine geringere Durchlässigkeit verfügenden Grenzflächen staut.

Die Grundsicht der Kriechspur besteht aus B100 Beton. Unter den Beton wurde ein 20 cm starkes Bett aus sandigem Kies eingebaut, das alle 20 m unter dem Bankett herausführt. Unter dem Kiesbett fanden wir ein 50 cm starke Schicht, deren Dichte größer ist, als die im übrigen Erdbauwerk gefundene. Hier konnten wir keine Durchnäßung des Erdbauwerkes wahrnehmen, unter der Fahrbahndecke waren keine Wasserdrücke festzustellen.

Das Ergebnis der Laborprüfungen

Entsprechend der identifizierenden Prüfung wird die neue Füllung durch gelbes, gelbbraunes, die alte Auffüllung durch braunes, braungelbes schwach bzw. mittel gebundenes Material gebildet.

Dem Material der alten Auffüllung entspricht die Kornverteilungskurve »A«. Die neue Füllung wird charakterisiert durch die sich an die »A« Kurve anschmiegende »B« Kornverteilung bzw. den Bereich zwischen den beiden Kurventypen »B« und »C« (Bild. 3).

Zur Ermittlung der Phasenzusammensetzung des Füllmaterials führten wir eine große Anzahl Proben durch (Bild 4). Die Phasenzusammensetzung

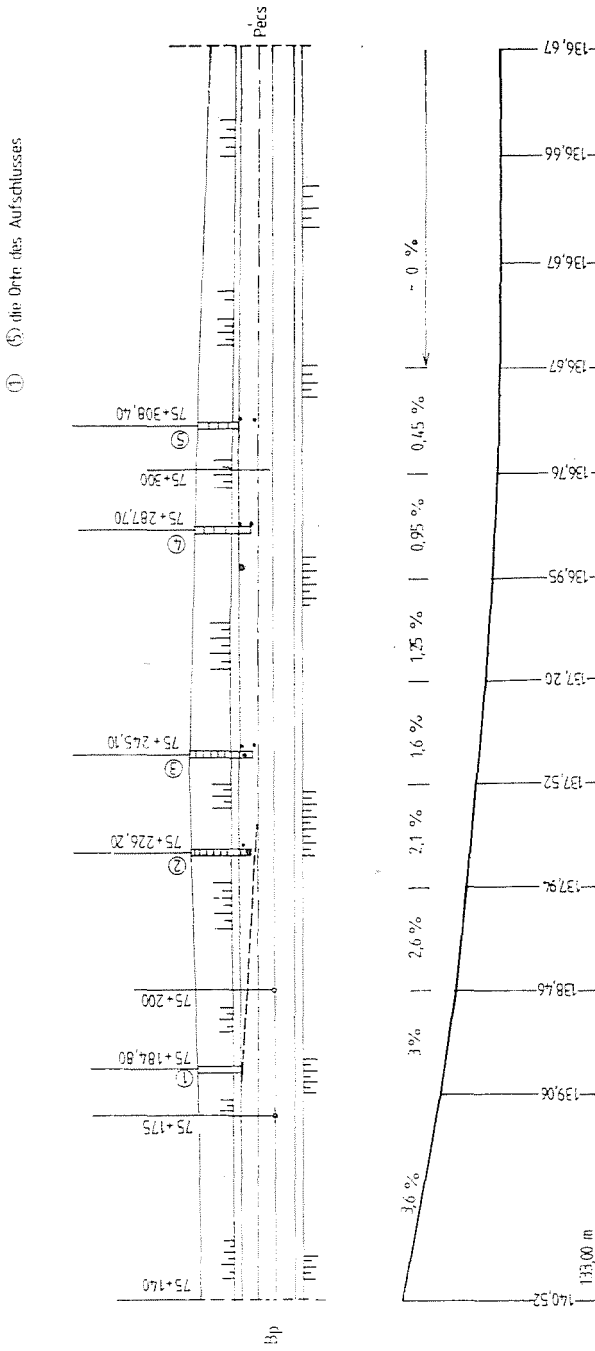


Bild. 1. Der Lageplan des Aufschlusses und die Gefälleverhältnisse der untersuchten Strecke

der neuen Füllung ändert sich zwischen außerordentlich weiten Grenzen. Die Streuung der Werte ist kleiner, wenn wir nur den unter dem Fahrbahnbelag befindlichen 50 cm starken Bereich prüfen. Diese Proben sonderten wir im Interesse einer detaillierteren Analyse aus. Die Phasenzusammensetzung der alten Füllung gleicht annähernd dem Zustand unter der Krone des neuen Erdbauwerkes.

Charakterisierend und bestimmend bei der untersuchten Dammverbreiterung ist die Veränderung der Phasenzusammensetzung mit zunehmender Tiefe, welche wir am 2. freigelegten Querschnitt mit den Angaben der an der mit 2/3 bezeichneten Probenentnahmestelle gewonnen Proben veranschaulichen

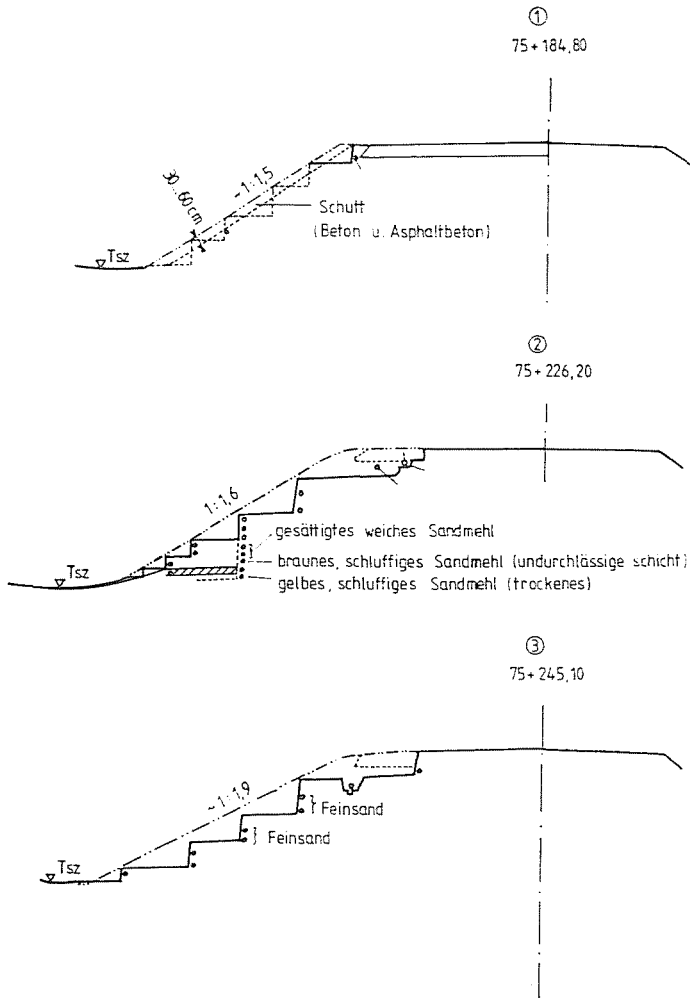


Bild. 2. Die Querschnittsprofile der Aufschlüsse

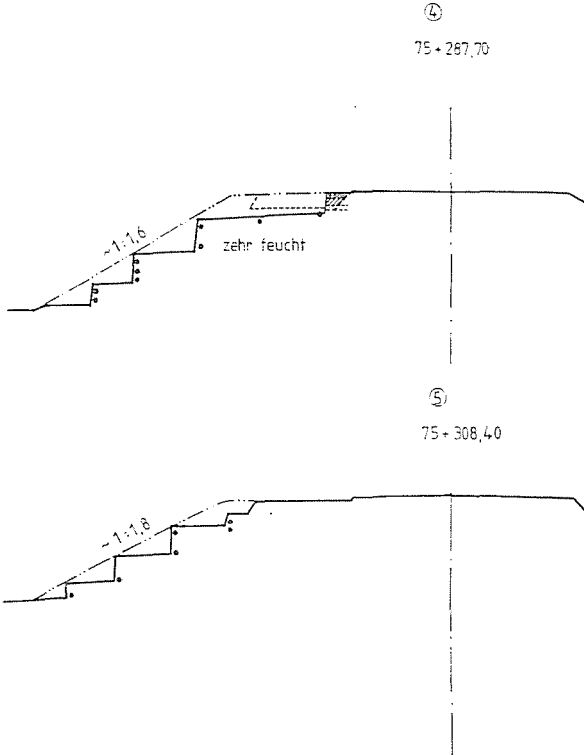


Bild. 2/B

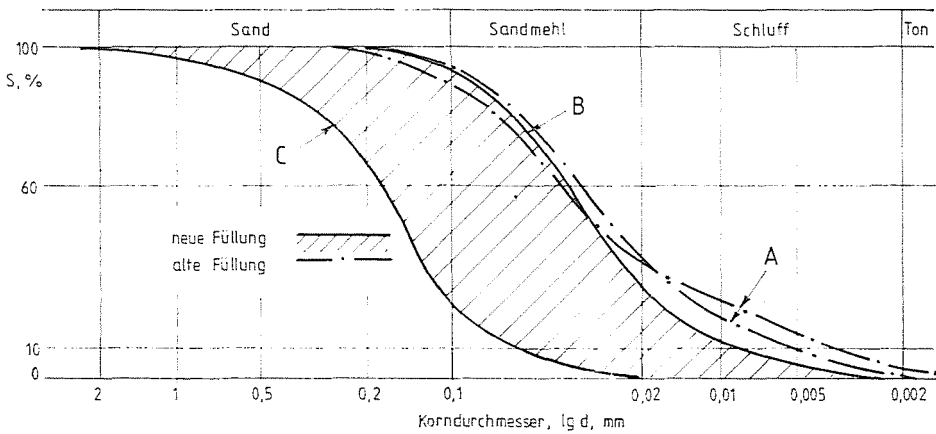


Bild. 3. Die Kornverteilungskurven der Füllstoffe

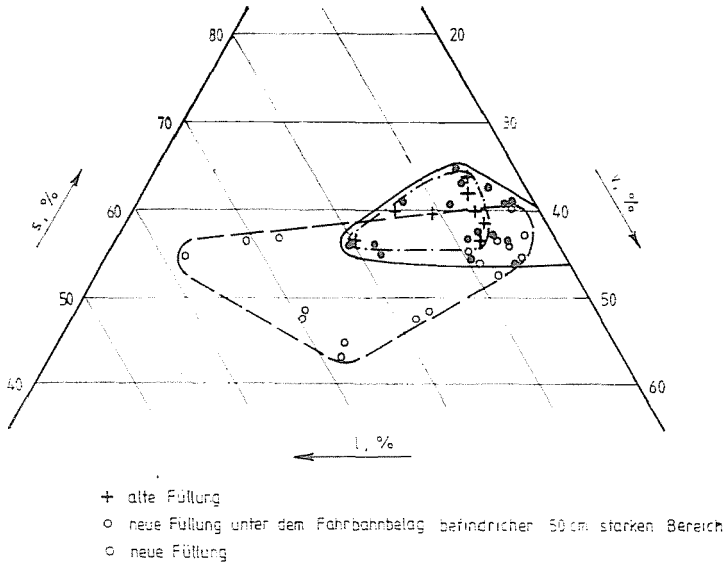


Bild. 4. Die Phasenzusammensetzung der Füllstoffe

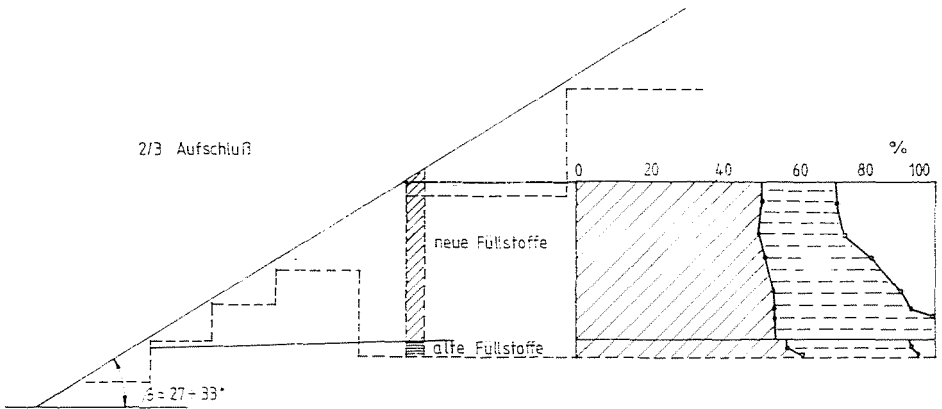


Bild. 5. Die Veränderung der Phasenzusammensetzung mit zunehmender Tiefe an der Probenentnahmestelle 23

(Bild 5). Besonders ins Auge fallend ist das Ansteigen der Sättigung. Über den Grenzflächen ist das Material der neuen Füllung in durchweichten, gesättigtem Zustand.

Überblicken wir nun die Dichte der Auffüllungen bezogen auf die im Standard vorgeschriebenen Dichtegrade. Die Dichteversuche, die mit dem Material der alten und der neuen Füllung gemacht wurden, ergaben gleiche

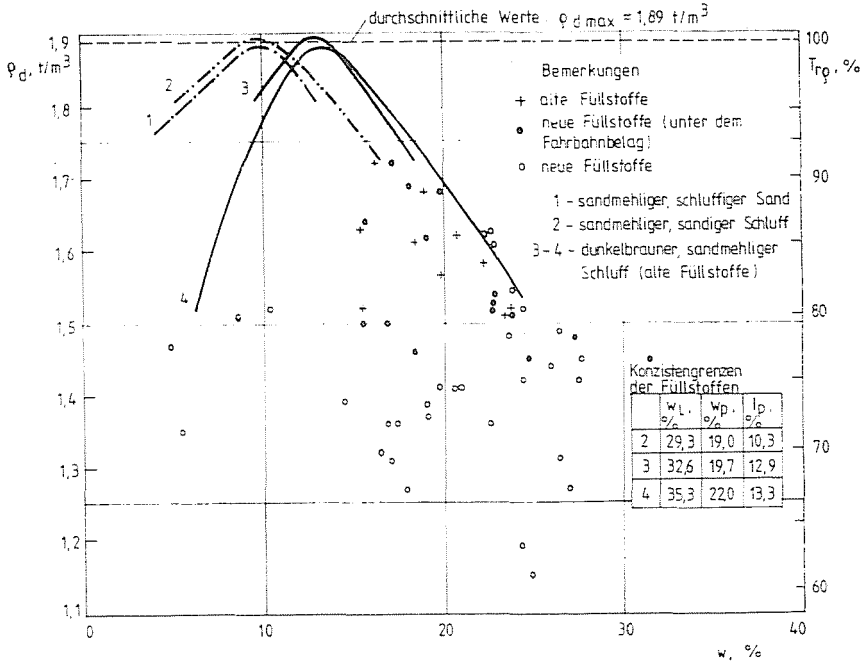


Bild. 6. Versuch nach Proctor

d_{\max} -Werte, bei unterschiedlichem optimalen Wassergehalt. Im Bild der Dichtekurven haben wir die Angaben aller im geschädigten Dammbereich gewonnenen Proben dargestellt, ergänzt mit der Angabe der Dichtegrade (Bild 6). Es wird sichtbar, daß der Dichtegrad der neuen Füllung weder im Bereich 50 cm unter der Fahrbahndecke noch an anderen Stellen die vorgeschriebenen $T_{r0} = 90\%$ bzw. $T_{r0} = 85\%$ Werte erreicht.

Die Ergebnisse der zur Bestimmung der Durchlässigkeit durchgeführten Experimente bestätigten die örtlichen Beobachtungen, nach denen die Durchlässigkeit des neuen Füllmaterials um ein Vielfaches größer ist, als die des alten. Bild 7 zeigt gut den Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit und Dichte für beiden Füllmaterialien. Die Durchlässigkeiten der tatsächlich vorhandenen lockeren und der im Standard vorgeschriebenen verdichteten Auffüllung weichen ungefähr um eine Größenordnung voneinander ab.

Zur Prüfung der Formänderung führten wir Oedometerexperimente an aus der Füllung gewonnenen ungestörten Proben durch. Für die weiteren Berechnungen bestimmten wir unter Beachtung des tatsächlichen Spannungszustandes der Füllung die Werte der Zusammendrückungs-Module der Füllungsmaterialien. Die im Bild 8. vorgestellten Ergebnisse zeigen — im Gegensatz zu den abweichenden Wassergehalten — einen bestimmten Zusammenhang zwischen der Dichte und dem Zusammendrückungs — Modul.

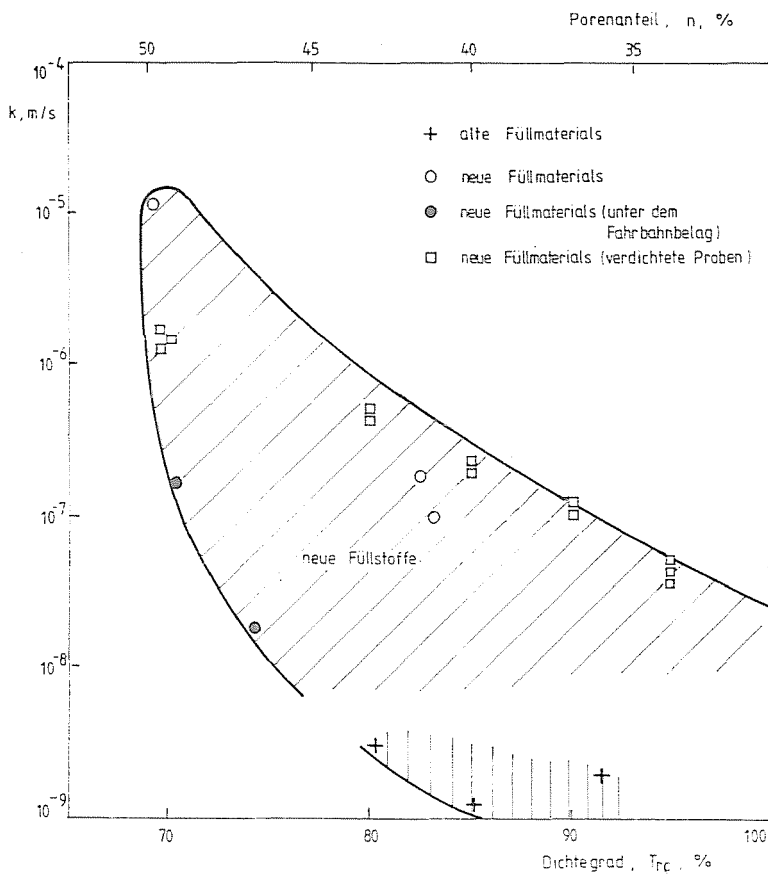


Bild. 7. Die Durchlässigkeit der Füllstoffe als Funktion der Dichte

Die Scherfestigkeit der Füllmaterialien bestimmten wir mit dem triaxialen Scherversuch. Im Verlaufe der Untersuchung maßen wir auch den Porenwasserdruck (CU-Experiment) und die Ergebnisse verarbeiteten wir als Funktion der Gesamtspannung und der wirksamen Spannung (Bild 9).

Die Analyse der Schäden der Fahrbahndecke

Die Risse und Setzungen der Fahrbahndecke kommen eindeutig in Folge der Setzung des Dammes zustande. Die Setzung entstand durch den weichen Bodenzustand und in Folge der großen Zusammendrückbarkeit des Materials, aber man muß auch die Wirkung des Wasser überprüfen.

Die Zusammendrückbarkeit steht im umgekehrten Verhältnis zur Dichte. Wenn die Dichte noch den Anforderungen entspricht, so ist die Zusammendrückbarkeit sehr groß.

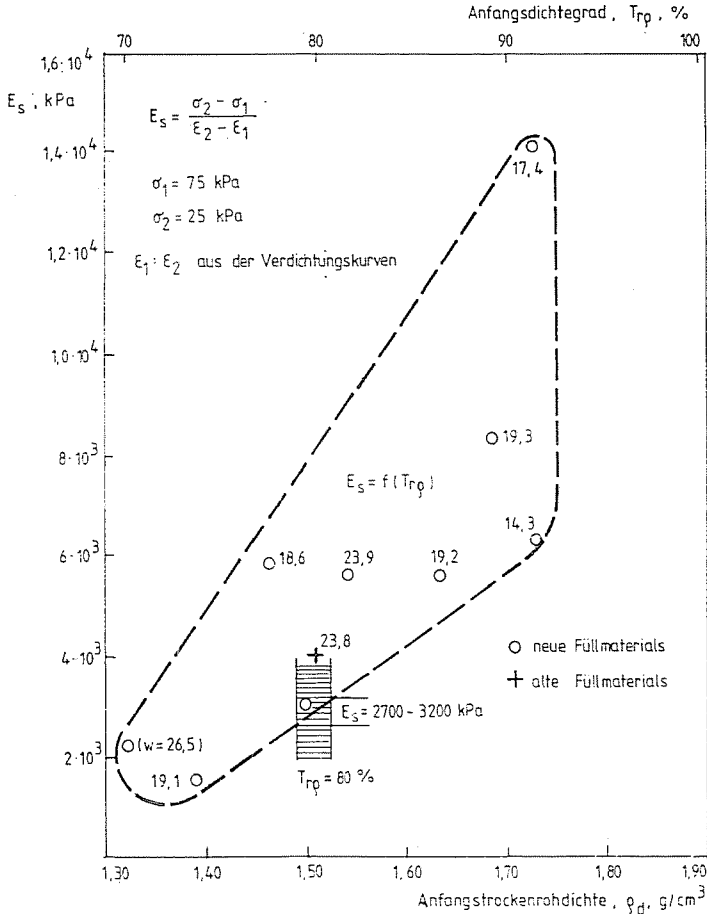


Bild. 8. Der Bereich der Zusammrückungsmodule der Proben

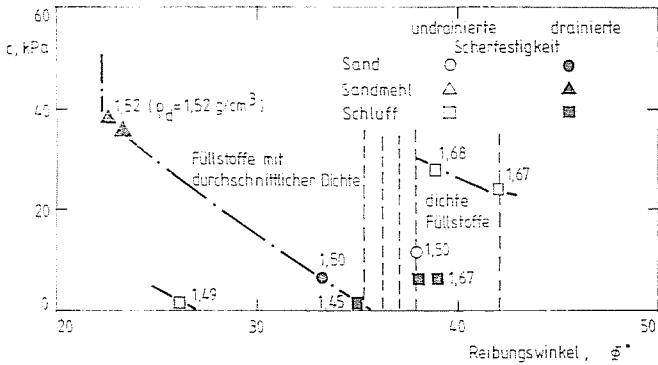


Bild. 9. Die Scherfestigkeitsparameter der Füllstoffe

Die Dichte der Proben ist in Bild 6 enthalten von den 54 Proben erreichten bzw. überstiegen eine 90%-ige Dichte 2 Stück, die 85%-ige Dichte erreichten bzw. überstiegen 11 Stück der Proben. Von den untersuchten Proben ergaben also 24% eine akzeptable Dichte. Bei der weiteren Analyse der Proben fanden wir 21 Stück, deren Wassergehalt so hoch war, daß sie auch nach der Proctorkurve die 85%-ige Dichte gar nicht erreichen könnten. Das sind 39% der Proben.

Die weitere 20 Proben waren in solchem boden-physikalischen boden-physikalischen Zustand, bei welchem die gewünschte Dichte gesichert werden könnte, aber sie erreichten nicht den vorgeschriebenen Dichtegrad. (Man muß anmerken, daß wir auf der trockenen Seite 2 Proben fanden, die in ihrem Zustand nicht sondern erst nach Anfeuchtung verdichtbar waren.)

Die Dichte des Dammes entspricht im verbreiterten Bereich nicht den Anforderungen.

Die aus dem Durchschnitt der 54 Proben errechnete — Raumdichte beträgt:

$$\rho_d = 1,51 \text{ t/m}^3.$$

Auf dieser Grundlage ist der durchschnittliche Dichtegrad.

$$T_{re} = 80\%$$

Prüfen wir nun die Wirkungen fehlender Verdichtung.

Bei der Analyse der Belastungsverhältnisse kann man feststellen, daß die maximale Höhe der neuen Auffüllung über der alten Füllung bzw. dem Terrainniveau ungefähr 2 m beträgt. Der durchschnittliche Wert des Eigengewichts ist 20 kPa. Dazu kommt die aus der Belastung durch Autos stammende dynamische Wirkung, zu deren Untersuchung wir einen Versuch an einer zu 85% verdichteten Bodenprobe durchführten. Nach dem Ergebnis des Versuches, ist die Wirkung der Belastung durch Kraftfahrzeuge zu ersetzen durch eine statische Belastung von ungefähr 30 kPa. Die Belastungsspannung des Füllmaterials ist die folgende.

20 kPa Eigengewicht

30 kPa Kraftfahrzeuglast

zusammen

50 kPa statische Last.

An der allerhöchsten Strecke ist der zu verdichtende Damm ungefähr 6 m hoch, wobei die Höhe der alten Aufschüttung ungefähr 4 m beträgt.

In der ursprünglichen Auffüllung verursacht die Dammverbreiterung eine Mehrbelastung von 40 kPa.

Zur Analyse der Setzungen haben wir die im Bild 8 gezeigten Formänderungskomponenten benutzt. Die in der Berechnung maßgebende Steifzahl bestimmten wir unter Beachtung des tatsächlichen Spannungszustandes und des durchschnittlichen Dichtegrades ($T_{rq} = 80\%$).

Die 2 m starke neue Füllung verdichtet sich unter der Einwirkung der $\sigma = 50$ kPa Belastung um 3,6 cm. Dazu kommt die Verdichtung der bisher unbelasteten ursprünglichen Auffüllung durch die Mehrbelastung der neuen Füllung von $\sigma = 40$ kPa, die $h = 5$ cm beträgt. Die Gesamtsetzung beträgt also 7—8 cm. Demgegenüber beträgt die durch das Nivellement bestimmte Straßenbelagssetzung nach Abzug der Querneigung 5—15 cm.

Das Endergebnis unserer Prüfung zeigt also, daß die nicht ausreichende Dichte keine solch große Straßenbelagssetzung verursachen kann, welche wir am Rande der straßendecke maßen, und die, was besonders wichtig ist, den Verkehr gefährdende Risse und Oberflächenunebenheiten verursachte.

Die Scherfestigkeit sichert die Stabilität der Aufschüttung. Es war notwendig, die Scherfestigkeitsparameter des Füllmaterials zu prüfen. Das Material der Füllung ist gut verdichtbar und bei einem Wassergehalt von

$$w_{\text{opt}} = 10-13\%$$

ist eine Proctordichte von

$$\rho_{d\text{max}} = 1.89 \text{ t/m}^3 \text{ erreichbar.}$$

Aus den in diesem Zustand durchgeführten Scherfestigkeitsversuchen ergab sich ein Reibungswinkel von

$$\varphi = 38-42^\circ$$

und eine Kohäsion von

$$c = 6-28 \text{ kPa.}$$

Die zur Stabilität des Dammes notwendigen Festigkeitsparameter sind im Bild 10 aufgezeigt. Die dichte Füllung wäre stabil und man kann mit einem Sicherheitsbeiwert von $\nu = 1,7$ rechnen.

Die zur durchschnittlichen Dichte gehörende Scherfestigkeit ist allerdings kleiner. Aus den durchgeführten Versuchen ergab sich ein Reibungswinkel von

$$\varphi = 22-35^\circ$$

und eine Kohäsion von

$$c = 0-39 \text{ kPa.}$$

Die tatsächlichen Werte beachtend geht der Sicherheitsbeiwert gegen $\nu = 1$ und nur das Vorhandensein der Kohäsion hält die Stabilität aufrecht.

Die Kohäsion zeigt allerdings bei steigender Feuchtigkeit eine sinkende Tendenz. Die untersuchten Proben gaben in vier Fällen $c = 6$ kPa und in

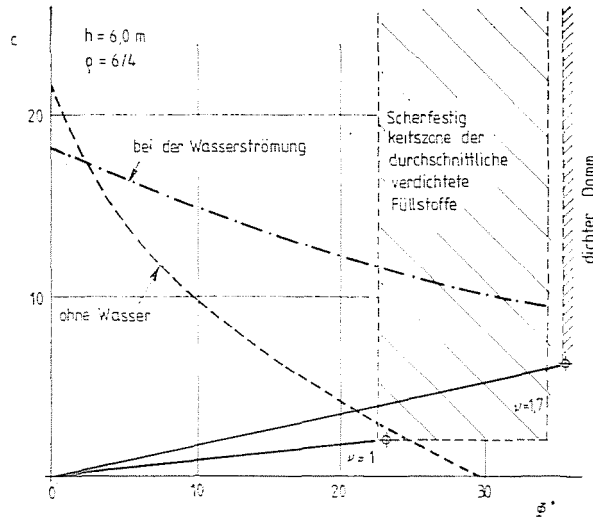


Bild. 10. Die Stabilität des Damms auf der Grundlage der durchschnittlichen Scherfestigkeit

zwei Fällen bekamen wir $c = 0-2 \text{ kPa}$. Diese Kohäsionswerte garantieren keine ausreichende Sicherheit mehr. Dies beweist, daß das Fehlen der Dichte die Aufschüttung in die Nähe eines Grenzzustandes bringt und eine Durchnäßung zur Zerstörung des Damms führt.

Die Wirkung des Wassers auf die Stabilität der Auffüllung

Wie wir bereits erwähnten, ruft das Ansteigen der Feuchtigkeit ein Absinken der Kohäsion hervor, so daß die Stabilität ungünstig beeinflußt wird und der Damm in einen Grenzzustand kommen kann.

Noch ungünstiger ist es, wenn die Auffüllung durchnäßt wird und im Falle einer fortlaufenden Wasserzufuhr Filtration einsetzt. Das Wasser ist bestrebt, sich in Richtung der Böschung zu entfernen. Wenn der Wassernachschub durch das auf das Bankett fallende Niederschlagswasser gesichert ist, entsteht die im Bild 11 sichtbare Situation auf die bezogen eine Stabilitätsprüfung durchführbar ist. Bei der Verwendung der allgemeinen Festigkeitsparameter ergab sich ein Sicherheitsbeiwert von

$$\nu = 0,91.$$

Das bedeutet, daß die Wasserströmung das Gleichgewicht des Damms stören kann.

Diese Feststellung wird noch unterstützt durch das erfahrungsmäßige Ergebnis aus der Untersuchung eines der Wasserströmung ausgesetzten Dam-

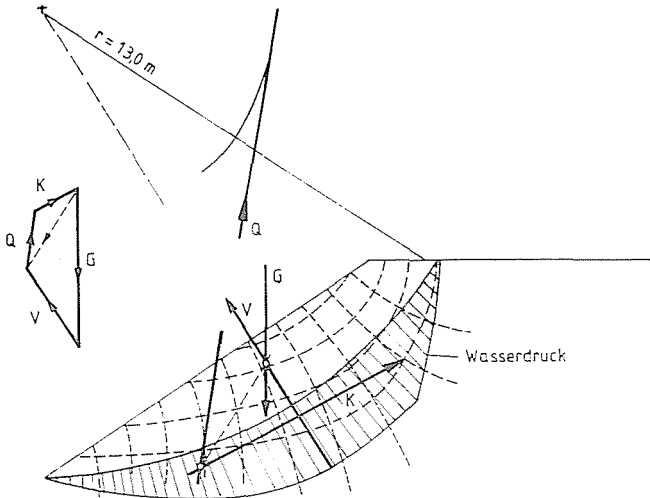


Bild. 11. Die Wirkung der Wasserströmung auf die Stabilität des Dammes

mes nach dem der stabile Böschungsneigungswinkel bei körnigen Böden $\beta = 0,55 \varphi$ beträgt. Die Böschung ist auch im Falle des maximalen Reibungswinkels nicht stabil, weil die Neigung von $\rho = 6/4$ einem Neigungswinkel von $\beta = 33^\circ 40'$ entspricht. In unserem Falle erfordert jedoch der Reibungswinkel von $\varphi = 38-31^\circ$ eine stabile Böschungsneigung von $\beta = 21-22,5^\circ$. Natürlich sind die obigen Ausführungen nur dann gültig, wenn das Wasser tatsächlich in die Auffüllung gelangt und sich dort Filtration ausbilden kann.

Auf der Grundlage der Feldbesichtigung kann gesagt werden, daß das auf das lockere Bankett fließende Wasser schnell in die Füllung eindringt und die Umgebung sättigt. So gelangt es auch teilweise unter die Straßendecke. Danach bestimmt die Durchlässigkeit den Weg der Filtration. Wenn das Wasser weniger durchlässige Bereiche findet, dringt es in diese nicht ein, sondern folgt dem Weg in Richtung des kleinsten Widerstandes.

Die Durchlässigkeitsprüfungen zeigten, daß die Durchlässigkeit des neuen, aufgesetzten Füllmaterials mit dem Faktor

$$k = 10^{-5} - 10^{-7} \text{ m/sec}$$

gekennzeichnet werden kann. Aus den an der Grenze zur alten Füllung gewonnenen Proben ergaben sich Werte in der Größenordnung von

$$k = 10^{-8} - 10^{-9} \text{ m/sec,}$$

das heißt die Durchlässigkeit der alten Füllung ist bedeutend kleiner.

Die Erscheinung ist nach dem oben Angeführten folgendermaßen zu beschreiben:

— Im Falle eines andauernden Regens oder der Schneeschmelze gelangt das Wasser auf das Bankett, von dort fließt es zum Teil auf der Böschung ab, zum Teil versickert es in der Füllung. Bei ausreichender Wasserzufuhr gelangt das Wasser bis zur Grenze der alten Füllung, an der das Wasser der kleineren Durchlässigkeit wegen, nur nach außen in Richtung der Böschung abfließen kann.

— Da unter der Stufe keine wasserableitende Sickerdrainage ist, kann das Wasser die neue Dammfüllung bis in größere Tiefen, sogar bis zur Sohle der Füllung durchnäßen und in der gesamten Füllmasse kann eine andauernde Filtration auftreten, die das Gleichgewicht des Dammes zerstört.

Zu den oben beschriebenen Erscheinungen fanden wir zahlreiche Spuren an Ort und Stelle:

- weiche, mit Löchern und Kratern versehene Stufenbereiche
- ausgewaschene Böschungstrecken, welche mit Kiesstreuung stabilisiert wurden
- Bewegungszeichen an der Böschung, Ausbeulungen, die Leitplanke hat sich auch nach aussen bewegt
- das Vorhandensein wasserliebender Pflanzen auf der Böschung (Schilf, usw.)

Die Analyse der aus dem Fehlen der Verdichtung und Entwässerung entstehenden Wirkungen; die Schlußfolgerungen

Bei der Untersuchung der Dichte stellten wir fest, daß im gegenwärtigen Zustand das Material der Dammverarbeitung die vorgeschriebene Dichte nicht erreicht. Das Fehlen der Verdichtung zieht in erster Linie eine nachträgliche Setzung nach sich, welche experimentell bewiesen und berechnet werden kann. Die sich darauf beziehenden Ergebnisse beweisen allerdings, daß die fehlende Verdichtung allein nicht die durch das Nivellement bestimmbare Setzung verursachen konnte.

Es kann gezeigt werden, daß durch die permanente Wasserströmung die Stabilität sinkt, der Sicherheitsbeiwert den gewünschten Wert nicht erreicht, und daß im ungünstigsten Fall die Stabilität zerstört wird.

Die Bedeutung der Dichte besteht darin, daß einerseits die Scherfestigkeitsparameter des entsprechend verdichteten Materials besser sind, das heißt die Zerstörung des Dammes setzt später ein, andererseits das Wasser in eine dichte Füllung bedeutend schwerer eindringt und nicht in der Lage ist eine fortdauernde Wasserströmung auszubilden. In einer lockeren Füllung findet das Wasser durch die größeren Zwischenräume schnell einen Weg und nicht Filtration, sondern eine innere Erosion verursachender Abfluß bildet sich aus. Dadurch beginnt die Auswaschung der Böschung früher, das Einsinken und die Schädigung der Fahrbahndecke wird beschleunigt.

Der Erscheinung kann vorgebeugt werden, indem das Eindringen des Wassers verhindert wird. Das ist erreichbar durch eine sorgfältige Verdichtung des Bankettes und durch den Einbau einer in Richtung der Böschung auslaufenden, in vollständiger Breite errichteten Sickerdrainage mit Decke, im gegebenen Fall durch den Einbau von Geotextilien, unter dem Bankett bzw. unter der Fahrbahndecke, oder durch die wasserdichte Verkleidung des Bankettes.

Die Pläne schreiben unter der Betongründung den Einbau einer 15 cm starken sandigen Kiesschicht vor, aus der das Wasser alle 20 m durch Stufensickerdrainagen herausgeführt werden kann. Diese Lösung beugt leider nicht der Möglichkeit des Wassereindringens über das Bankett vor. Richtiger ist es die Stufensickerdrainagen in der gesamten Länge zu bauen, und unter der Sickerdrainage eine gut verdichtete (eventuell mit Ton vermischte), gering durchlässige Fläche herzustellen. Die erwähnte Planungsvoraussicht schaltet den leider verbreiteten, schwer zu umgehenden Ausführungsmangel der ungenügenden Verdichtung des Bankettes bzw. der Ränder der Auffüllung aus. Wahrscheinlich entstand deswegen, nach der Setzung des ursprünglichen Dammes, die flachere Neigung der Böschungen. Diese Setzung ist dann nicht gefährlich, wenn sie in der gesamten Füllmaße gleichmässig eintritt. Die Fahrbahndecke kann Setzungen in der Größenordnung von mehreren Zentimetern, ja Dezimetern folgen, wenn sich diese auf größere Strecken verteilen. Die Lage wird dann gefährlich, wenn auf einen alten, abgesetzten Damm eine Verbreiterung gebaut wird und nicht mit der notwendigen Sorgfalt vorgegangen wird.

Auf schmalen Oberflächen läßt sich die Verdichtung nur mit kleinen Verdichtungsmaschinen durchführen. Die Verdichtungsmaschine lößt nur im Verhältnis zur Oberfläche eine verdichtende Wirkung aus.

Das bedeutet, daß die unter der Maschine vorgeschriebene Verdichtung von 90% nur dann gesichert werden kann, wenn in Schichten von 20–30 cm verdichtet wird. Wenn wir in stärkeren Schichten verdichten, dann kommt die verdichtende Wirkung nur in den oberen 20 cm zur Geltung und im darunterliegenden Bereich bleibt die Füllung unverdichtet. Man muß auch anmerken, daß das Kriterium der 85%-igen Dichte keinen dichten Zustand bedeutet und nachträgliche Setzungen auch hier noch erwartet werden können. Bei einem Erdbauwerk — auch wenn es nur geringen Umfang hat — unter einer auf Setzungen empfindlich reagierenden Konstruktion ist die sich auf 85%-ige Verdichtung beziehende Vorschrift nicht zu akzeptieren, sondern es muß eine mindestens 90%-ige Verdichtung im gesamten Bereich der Erdarbeit gefordert werden, verbunden mit der Sicherung der ausführbaren Technologie.