Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 23

Artikel: Die Seekreide am Bielersee
Autor: Zeindler, Hans / Jacobsen, Hans-Jörgen A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73385

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

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

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

Download PDF: 16.07.2025

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

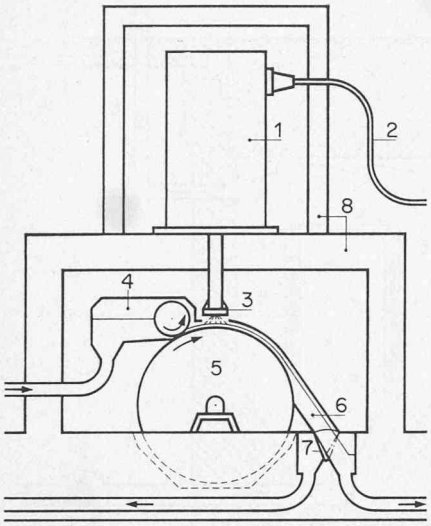

Bild 3. Prinzip der Klärschlammhygienisierung mit Elektronen. 1 Elektronenbeschleuniger, 2 Hochspannungskabel, 3 Scanner-System, 4 Schlammdosierung, 5 Förderwalze, 6 Schlammauslauf, 7 Umsteuerklappe, 8 Abschirmung

Verwendung von Elektronen

Neben dem aerob-thermophilen (Nasskompostierung) und dem Verfahren mit Gammastrahlen gewinnt die *Klärschlamm-Hygienisierung mit Elektronen,* insbesondere für grössere Durchsatzmengen ab etwa 200 m³ Schlamm je Tag, an Bedeutung. Die Anlage zum Hygienisieren von Klärschlamm mit Elektronen besteht im wesentlichen aus dem *Elektronenbeschleuniger mit Scannersystem* (einer dreieckförmigen Vakuumkammer mit Ablenksystem), sowie der *Schlammführung mit Dosier- und Regelungssystem,* die durch eine gemeinsame Steuerungs- und Überwachungseinrichtung miteinander verbunden sind (Bild 3).

Das Prinzip des Elektronenbeschleunigers beruht auf Strahlbildung, Strahlbeschleunigung und Strahlauffächerung. Aus einer Elektronenquelle mit Glühkathode tritt ein fein gebündelter Elektronenstrahl mit geringer Energie aus. Beim Durchlaufen einer Beschleunigungsstrecke im Vakuum gewinnen die Elektronen ihre maximale Energie, die in keV bzw. MeV gemessen wird. Die Anpassung des Elektronenstrahls an die gewünschte Arbeitsbreite erfolgt im Scanner, der am unteren Ende durch eine für die Elektronen durchlässige, dünne Titanfolie abgeschlossen ist. In dieser Kammer wird der Elektronenstrahl durch ein magnetisches Wechselfeld in rascher Folge seitlich abgelenkt und zu einem breiten Fächer auseinandergezogen. Die auf die Schlammschicht auftreffenden Elektronen werden abgebremst und lösen dabei chemische Reaktionen und biologische Prozesse aus. Die *ionisierende Wirkung der energiereichen Elektronen* wird ausgenutzt, um die im Klärschlamm enthaltenen Krankheitserreger auf die gewünschten Werte zu vermindern. Die Strahlenergie ist massgebend für die maximale Dicke der Schlammschicht, während die Durchsatzgeschwindigkeit durch den Strahlstrom bestimmt wird.

Wichtig für eine erfolgreiche Strahlenbehandlung ist die *Schlammführung.* Die Behandlung erfolgt im *Durchlaufbetrieb.* Das *Dosiersystem* hat die Aufgabe, die zu behandelnde Schlammenge in vorbestimmter Zeit und Schichtdicke der Bestrahlung zuzuführen. Der durch ein Dosiersystem auf die Förderwalze aufgetragene Klärschlamm wird in der oberen Peripherie der Walze in einer Breite von etwa 2000 mm und einer der Strahlenenergie angepassten Dicke durchstrahlt. Die Durchsatzmenge wird bestimmt durch Schichtdicke, Schichtbreite sowie Rotationsgeschwindigkeit der Förderwalze. Ein besonderes Regelsystem verhindert, dass im Falle eines Bestrahlungsunterbruches nicht-hygienisierter Schlamm in den Stapelbehälter gelangt.

Diese Klärschlamm-Hygienisierungsverfahren bilden einen positiven Beitrag zur *Ertragsverbesserung in der Landwirtschaft* und ermöglichen für Mensch und Tier *gefahrloses und energiesparendes Recycling* des in grossen Mengen anfallenden Klärschlammes.

Adresse des Verfassers: *P. Fluri,* Abt. Kessel- und Kernenergieanlagen, Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft, Allg. Pressedienst, 8401 Winterthur.

Die Seekreide am Bielersee

Von **Hans Zeindler** und **Hans-Jörgen Jacobsen,** Zollikofen

Seit einigen Jahren steht längs dem *linken Ufer* des Bielersees die Nationalstrasse N 5 im Bau. Parallel zu diesen Arbeiten erweitern die *Schweiz. Bundesbahnen* ihre Anlagen auf dieser Strecke auf *Doppelspur.* Die Geotest AG hatte seit 1964 die für Projekt und Bau erforderlichen *geotechnischen Untersuchungen* für die seeseitigen Abschlüsse der beiden Verkehrsträger durchzuführen. Zu bearbeiten waren Aufschüttungen, Unterführungen, Stationsgebäude und Stützmauern.

Das Hauptproblem des Geotechnikers bildete in allen Fällen die Seekreide. Der Artikel gibt einige Erfahrungen wieder, welche die Verfasser mit der Seekreide als Baugrund für Aufschüttungen am Land und im See sowie für Kunstbauten sammeln konnten. Er behandelt insbesondere die bodenmechanischen Eigenschaften, wie Scherfestigkeit und Setzungsempfindlichkeit und deren Bedeutung für die Projektierung und den Bauvorgang.

Das Projekt

Die Linienführung der N 5 und der SBB sind aus dem Situationsplan (Bild 1) ersichtlich. Zwischen *Ligerz* und *Twann* ist der Verlauf der Strasse noch nicht im Detail festgelegt. In den folgenden Abschnitten verläuft mindestens einer der Verkehrsträger über Seekreideablagerungen: bei *La Neuveville, Brunnmühle, Twann, Wingreis* und *Tüscherz.* Von *Tüscherz bis Biel* ist die Bahn bereits 1969 in einen Tunnel *(Vingelz-Tunnel)* verlegt worden.

Im Zusammenhang mit den Bauarbeiten planten die durchfahrenen Gemeinden neue Seeufergestaltungen, so z. B. Biel, Vingelz, Wingreis, Twann, Ligerz und La Neuveville. In den meisten Fällen wurden Geländeveränderungen durch Aufschüttung von überschüssigem Aushubmaterial im See vorgesehen.

Geotechnische Untersuchungen

Als Grundlage für die Projektierung wurden zahlreiche *Sondierungen am Land und im See* abgeteuft. Im allgemeinen zeigten sie, dass der Seeboden vielerorts steil abfällt, und dass die Mächtigkeit der Seekreide mit zunehmendem Abstand vom Ufer stark ansteigt. Beide Tatsachen erschwerten die Ausführung bzw. Verbreiterung von Bahn- und Strassendämmen im Uferbereich erheblich.

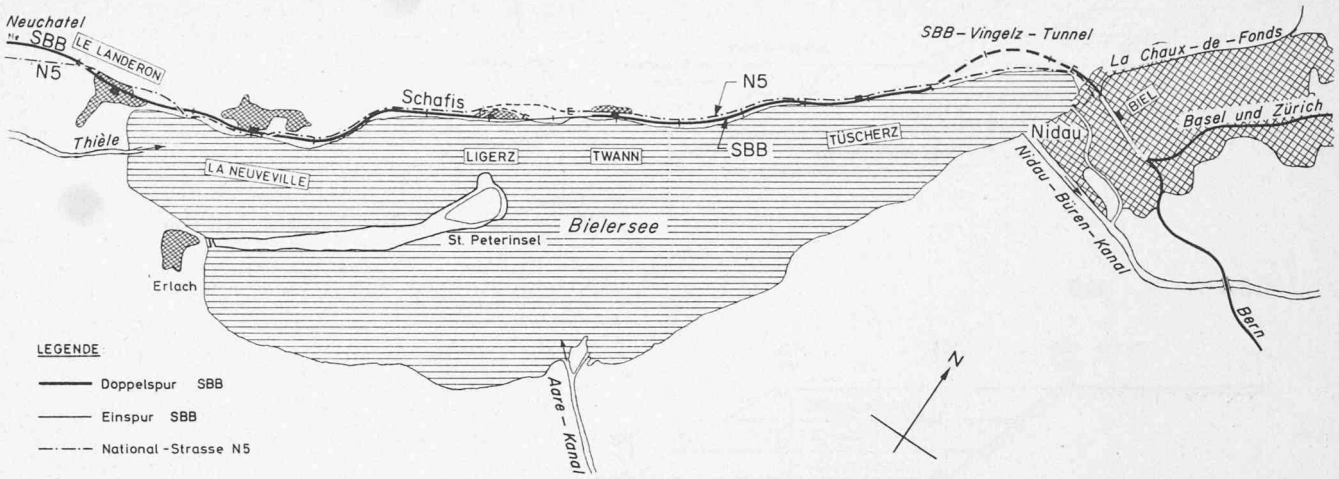

Bild 1. N5 und SBB-Doppelspur am Bielersee

Bei *Aufschüttungen* waren vor allem die *Stabilitätsverhältnisse* entscheidend für die Variantenwahl und für den Bauvorgang. Für *Kunstbauten* – zahlreiche Unterführungen sowie diverse Anschlussbauwerke – mussten die *Tragfähigkeits- und Setzungseigenschaften* der Seekreide untersucht werden.

Eine Reihe von *Scherfestigkeitsmessungen mit Drehflügel* und im *Triaxialapparat* sowie *Zusammendrückungsversuchen im Oedometer* bildeten die Grundlage für die geotechnischen Berechnungen. In den Bildern 2 und 3 und in Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen zusammengefasst.

Undrainierte Scherfestigkeit

Frühere Untersuchungen hatten bereits gezeigt, dass ein klarer Zusammenhang zwischen dem effektiven Überlagerungsdruck (p') und der undrainierten Scherfestigkeit (Su) der Seekreide besteht.

Aus den Ergebnissen von 119 Drehflügelversuchen (Bild 2) konnte für die Seekreide am linken Bielerseeufer folgende Beziehung abgeleitet werden:

$$o < p' < 2{,}8\ \text{t/m}^2: \quad Su = 0{,}35\,p' + 0{,}3\ (\text{t/m}^2)$$
$$p' > 2{,}8\ \text{t/m}^2: \quad Su = p' - 1{,}5 \qquad (\text{t/m}^2)$$

Der grössere Zuwachs der Su-Werte für $p' > 2{,}8$ t/m² deutet auf eine *Vorbelastung* der Seekreide hin.

Tabelle 1. Materialeigenschaften der Seekreide aus Twann am Bielersee (Mittel aus 12 Proben)

	Symbol	Mittelwert	Streuung
Wassergehalt	w	70%	± 10
Raumgewicht, gesättigt	γ	1,55 t/m³	± 0,1
Spezifisches Gewicht	γ_s	2,58 t/m³	± 0,1
Tongehalt		9%	± 1
Siltgehalt		55%	± 10
Sandgehalt		36%	± 9
Fliessgrenze	W_L	54%	± 10
Ausrollgrenze	W_P	36%	± 10
Plastizitätsindex	I_P	18%	± 10
Liquiditätsindex $= \dfrac{W - W_P}{W_L - W_P}$	I_L	1,9	
Strukturempfindlichkeit $= Su/Su'$	r	10	± 5
Kalkgehalt	Ca^{++}	70%	± 10

Mittel aus 12 Proben

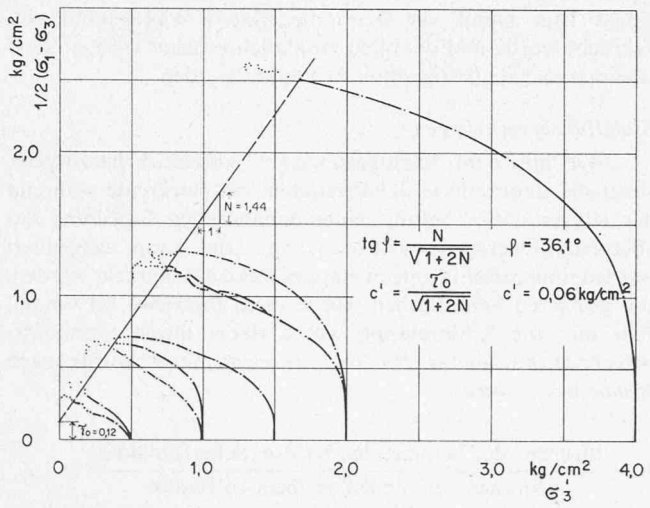

Bild 3. Triaxialversuche an Seekreide

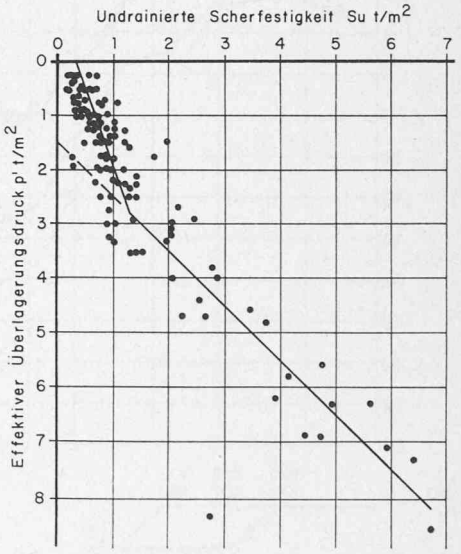

Bild 2. Drehflügelversuche in der Seekreide am Bielersee

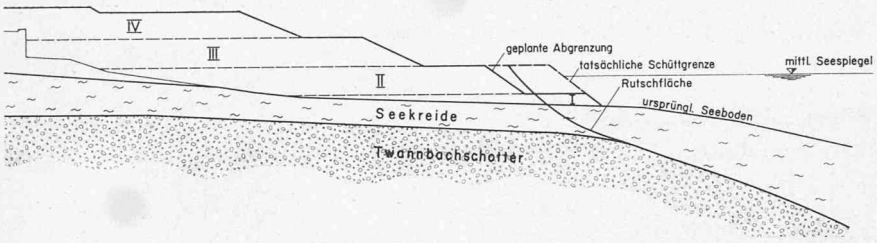

Bild 4. Rutschung in Twann

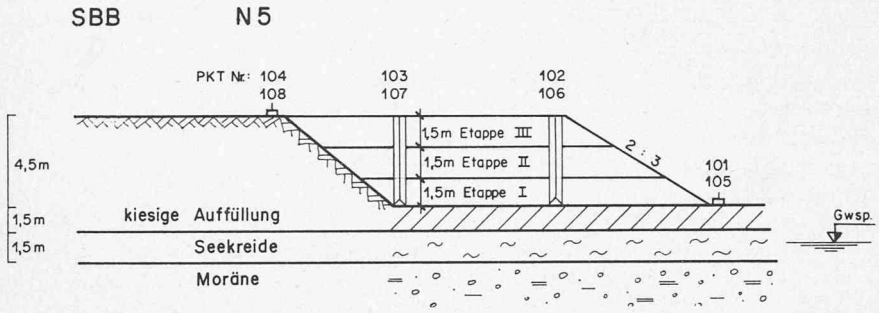

Bild 5. Versuchsschüttung La Neuveville. Schüttetappen und Messstellen

Effektive Scherparameter

In Bild 3 sind die Ergebnisse von insgesamt neun Triaxialversuchen dargestellt. Die Versuche wurden *konsolidiert-undrainiert* mit *Anwendung von Porenwassergegendruck* durchgeführt.

Die Auswertung nach der *Methode Janbu* ergab einen effektiven Reibungswinkel $\Phi' = 36{,}1°$ und eine effektive Kohäsion $c' = 0{,}06$ kg/cm². Der Bruch erfolgte bei einer Deformation von ε_B = rund 7 Prozent der Anfangsprobenhöhe.

Ein Vergleich mit der von *Bjerrum und Skempton* [3, 4] aufgestellten Beziehung

$$Su/p' = \frac{K + (1 - K)\, A \sin \Phi'}{1 + (2\,A - 1) \sin \Phi'}$$

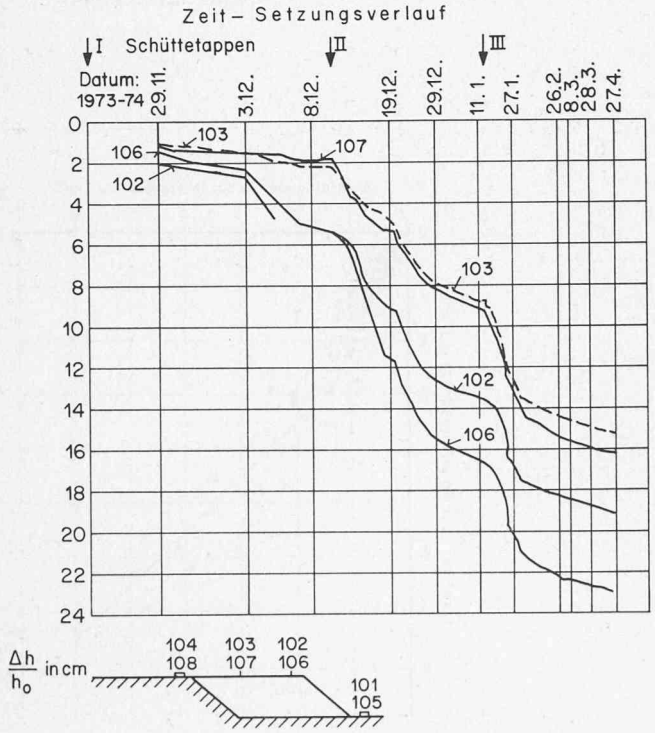

Bild 6. Versuchsschüttung La Neuveville. Zeit-Setzungsverlauf

wobei $K = 1 - \sin \Phi'$

und $A = \dfrac{\Delta u}{\Delta\,(\sigma_1 - \sigma_3)}$

ergab mit dem Wert $A = 1$ und mit dem bei diesem Wert aus den Versuchen ermittelten Winkel $\Phi' = 19$ bis $31°$ (nach *Huder* [2]) folgendes Resultat:

$$Su/p' = 0{,}25 \text{ bis } 0{,}34$$

Stabilitätsverhältnisse

Bruchverhalten der Seekreide

Typisch für die *strukturempfindliche* Seekreide ist, dass sich ein Bruch sehr schnell entwickelt, meist wenige Minuten bis wenige Stunden nach einer Lasterhöhung. Dieses Verhalten ist bei mehreren *Rutschungen* im Gebiet von Twann und Tüscherz bestätigt worden. Im Normalfall bleibt somit nach dem Auftreten von Rissen an der Oberfläche sehr wenig Zeit für den Baumaschinenführer, um sich und die Geräte in Sicherheit bringen zu können.

Der Bruch der Seekreide erfolgt demnach meist undrainiert, d.h. kurz nach einer effektiven Lasterhöhung. Als Lasterhöhung ist auch eine Absenkung des See- oder Grundwasserspiegels zu betrachten. Bleibt dagegen eine Schüttung einige Tage stabil, die beim niedrigsten Wasserstand eingebracht wurde und die nicht zusätzlich belastet wird, so darf sie auch als langfristig stabil betrachtet werden.

Stabilitätsberechnungen

Wie aus dem vorangegangenen Abschnitt hervorgeht, steigt die undrainierte Scherfestigkeit der Seekreide während der Konsolidation infolge einer andauernden Erhöhung des effektiven Überlagerungsdruckes an. Dies kann ausgenützt werden, indem Schüttungen etappenweise aufgebracht werden. Bei grösseren Schütthöhen wurde diese Bauweise verwendet. Jede einzelne Schüttetappe wurde dabei durch Stabilitätsberechnungen überprüft. Als *Sicherheitsfaktor* wurde nach *Bishop* bzw. *Janbu*

$$F = \frac{\text{Moment der hemmenden Kräfte (Scherfestigkeit)}}{\text{Momentsumme der treibenden Kräfte}} \geq 1{,}3$$

verlangt.

Die Rutschung in Twann (Dezember 1970)

Wie knapp die Stabilitätsreserven sein konnten, zeigt das Beispiel der Rutschung in Twann am 17.12.1970. Ungefähr 100 m östlich des Bahnhofes sollte eine Aufschüttung mit Konsolidations-Ruhepausen in vier Etappen verwirklicht werden: Etappe I unter Wasser (mit Klappschiff), die Etappen II, III, IV vom Land aus gegen den See hin mit Lastwagen und Trax aufgeschüttet.

Während der Schüttetappe II wurde versucht, zusätzlich ein dreieckförmiges Gebiet seeseits des durch Stabilitätsberechnungen überprüften Profiles zu schütten. Es mass lediglich 15 × 15 m im Grundriss. Unmittelbar nach Abschluss der Schüttung rutschte das soeben erstellte Vorland auf einer Breite von 15 m in den See ab. Der Traxführer konnte gerade noch sich selbst und seine Maschine in Sicherheit bringen.

Die Rutschfläche wurde in der Folge durch Taucher der Seepolizei aufgenommen. Sie bildete eine Rinne von 15 m Breite, 50 m Länge und bis zu 6 m Tiefe (Bild 4).

Setzungsverhalten

Die Seekreide enthält im Bielersee in der Regel *wenig organische Beimengungen*. Örtlich, besonders landseits, können aber recht viel Torf, Holzresten usw. auftreten, was besonders auf den Verlauf der sekundären Setzungen einen Einfluss hat.

Ferner kann die *Setzungsempfindlichkeit* von Ort zu Ort beträchtlich schwanken.

Der *Setzungsmodul* – oder nach Janbu: der «Spannungswiderstand» – einer vorbelasteten Seekreide kann zehnmal höher sein als der einer normalkonsolidierten Seekreide. Dies wurde ausgenützt, indem man die Seekreide mit Kiesmaterial vorbelastete. Nach erfolgter Konsolidation wurde das Material wieder entfernt und mit den Fundationsarbeiten begonnen. Auf diese Weise wurden z. B. die Kunstbauten zwischen Twann und Tüscherz fundiert.

Konsolidationssetzungen

In La Neuveville wurde anschliessend an den bestehenden SBB-Damm ein 4,5 m hoher Versuchsdamm der N5 in drei Etappen geschüttet. Es musste wegen der Stabilitäts- und Setzungsgefahr für die stark befahrene SBB-Linie mit aller Vorsicht vorgegangen werden.

Der Schichtaufbau, die Anordnung der Setzungspegel sowie der Schüttvorgang sind in Bild 5 dargestellt.

Die Konsolidationszeit je Etappe betrug im Maximum drei Wochen. Nach Konsolidation der 3. Etappe erreichten die Setzungen der Messpunkte 102 und 103 im Mittel $s = 17$ cm.

Die Summe der ursprünglichen effektiven Spannung in der Mitte der Seekreideschicht p_o' (= 0,3 kg/cm²) und der Zusatzspannung infolge Dammauflast Δp (= 0,9 kg/cm²) ergibt:

$$p' = p_o' + \Delta p = 1{,}2 \text{ kg/cm}^2$$

Nach Janbu [5] lässt sich der Spannungswiderstand M aus folgenden Formeln berechnen:

$$s = H \cdot \frac{1}{m} \cdot \ln \frac{p'}{p_o'}$$

$$M = m \cdot p'$$

Darin bedeuten: s = primäre Konsolidationssetzung in cm
H = Mächtigkeit der Seekreide in cm
m = Modulzahl

Man erhält: $m = 12$ und $M = 14$ kg/cm²

Im selben Spannungsbereich ergab ein Oedometerversuch den Wert

$$M = 15 \text{ kg/cm}^2$$

Sekundäre Setzungen

Bild 6 zeigt im halblogarithmischen Massstab die unter der Versuchsschüttung in Funktion der Zeit gemessenen Setzungen. Vor allem ist die *Neigung der Sekundärsetzungsgeraden* von Interesse.

Die sekundären Setzungen wurden bis etwa 7 Wochen nach Beendigung der Konsolidationssetzungen, d.h. bis zum 33. Tag nach Beginn der 3. Etappe, verfolgt. Wird der Berechnung die zuletzt bestimmte Neigung zugrunde gelegt, dann beträgt die Setzung über eine Dekade, d.h. zum Beispiel vom Tag 33 bis zum Tag (33 + 330) = 363 (d.h. 1 Jahr), rund 3,5 cm oder 2,3 Prozent der Seekreidemächtigkeit.

Im erwähnten Oedometerversuch wurde lediglich eine Dekadeneigung von 0,6 Prozent bestimmt. Die Berechtigung von *Versuchsschüttungen im Massstab 1:1* wurde somit noch einmal bestätigt.

Zitierte Literatur:

[1] *H. Zeindler:* «Zur Bestimmung und Verbesserung der Scherfestigkeit einiger Materialien». Schweiz. Bauzeitung, Heft 29, 1968.

[2] *H. Zeindler:* «Remblai d'essai pour la N5 dans la baie d'Auvernier». Strasse und Verkehr, Nr. 4, 1972.

[3] *J. Huder:* «Bestimmung der Scherfestigkeit strukturempfindlicher Böden unter besonderer Berücksichtigung der Seekreide». Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau ETH, Nr. 41, 1963.

[4] *L. Bjerrum:* «The effective shear parameters of sensitive clays». Int. Kongress, Paris, 1961.

[5] *N. Janbu:* «Grunnlag i Geoteknikk». NTH, 1970.

[6] *L. Bjerrum* und *N. E. Simons:* «Comparison of Shear Strenght Characteristics of Normally Consolidated Clays». NGI-Publikation, Nr. 35, Oslo 1960.

Adresse der Verfasser: *H. Zeindler,* dipl. Ing. ETH und *H. J. A. Jacobsen,* dipl. Ing. DTH, c/o Geotest, Birkenstr. 15, 3052 Zollikofen.

ETH-Grossversuch mit Hagelraketen wird weitergeführt

Vom 16. Mai bis 13. September wird im erweiterten Napfgebiet zwischen Langnau und Eschenbach wieder mit den 2,05 Meter langen «Oblako»-Hagelabwehrraketen geschossen. Der auf fünf Jahre angesetzte Versuch der ETH Zürich, der im Sommer 1976 begann, soll zeigen, ob mit den russischen Raketen eine Reduktion des Hagels um 70 bis 90 Prozent erreicht werden kann. Im vergangenen Jahr hatten die Bauern Glück und die Wissenschafter Pech: es entwickelten sich keine Hagelunwetter, so dass die Raketen nie abgefeuert werden konnten.

Der von Dr. Bruno Federer geleitete Versuch mit den «Oblako»-Raketen, an dem sich auch Wissenschafter aus Italien und Frankreich beteiligen, wird vom Institut für Atomsphärenphysik der ETH Zürich im Auftrag der Abteilung für Landwirtschaft des Eidgenössischen Volkswirtschaftdepartementes durchgeführt. Die Abschussrampen befinden