

Dipl.-Ing. B. Schuppener

## ERDDRUCKMESSUNGEN AM SCHIFFSHEBEWERK LÜNEBURG

Earth pressure measurements at the ship hoist in Lüneburg

### Zusammenfassung

Die derzeitigen Kenntnisse über die Größe und Verteilung des Erddruckes hinter hohen Stützbauwerken, insbesondere bei Schnellbeanspruchung infolge jahreszeitlicher Temperaturbewegungen der Bauwerke, sind noch ungenügend. Daher wurde für das Schiffshebewerk Lüneburg ein Meßprogramm ausgearbeitet, mit dem zum einen der Einfluß der Temperaturschwankungen auf die Bauwerksbewegungen, des weiteren der Einfluß der Bauwerksbewegungen auf die Größe und Verteilung des Erddrucks und zum dritten die Veränderungen des Erddrucks im Laufe der Jahre untersucht werden sollte. Die Messungen ergaben für trogförmige Stützbauwerke mit Sporn im unteren Drittel der Wand Erddruckkonzentrationen, die die Ruhedruckverteilung um mehr als das Doppelte überschritten; dagegen wurde für eine annähernd vertikale Wand eine unterlineare Verteilung gemessen. Bei einem Meßzeitraum von fast 3 Jahren konnten die Erddruckänderungen auf die jahreszeitlichen Temperaturbewegungen zurückgeführt werden. Dabei war eine Erhöhung des Erddrucks verbunden mit einem Höherwandern des Angriffspunktes der Erddruckresultierenden und umgekehrt. Im Laufe der Jahre hat sich der Erddruck auf den doppelten Erdruhedruck erhöht. Ein Abklingen des jährlichen Erddruckanstiegs konnte bisher nicht festgestellt werden.

### Summary

Our present knowledge of the magnitude and the distribution of lateral earth pressures against high earth retaining walls is rather poor specially when there are periodical movements of the walls because of seasonal changes in temperature. Therefore a research programme was worked out for the ship hoist in Lüneburg to investigate firstly the influence of temperature changes on the movements of the retaining walls, secondly the influence of the movements on the magnitude and distribution of the lateral earth pressures and thirdly the development of the earth pressure with time. The measurement showed a pronounced concentration of earth pressure in the lower third of a wall with a spur. The earth pressure against a straight, nearly vertical wall was found to increase proportionally with the squareroot of the depth. Three years of observation showed that the wall movements and the resulting earth pressure changes were induced by seasonal temperature changes. In the course of time the earth pressure rose to a value of more than twice as high as the earth pressure at rest as a result of the seasonal wall movements and is still increasing.

Inhalt

	Seite
I. Einleitung	51
II. Beschreibung der Meßeinrichtung	52
III. Meßergebnisse; ihre Bewertung und Deutung	53
IV. Zusammenfassung	61
V. Schrifttum	62

## I. Einleitung

Im Zuge der Gründungsbearbeitung für das Schiffshebewerk Lüneburg stellte sich bei der Erarbeitung der Bemessungsgrundlagen heraus, daß die derzeitigen Kenntnisse über die Größe und Verteilung des Erddruckes hinter hohen Stützbauwerken ungenügend sind.

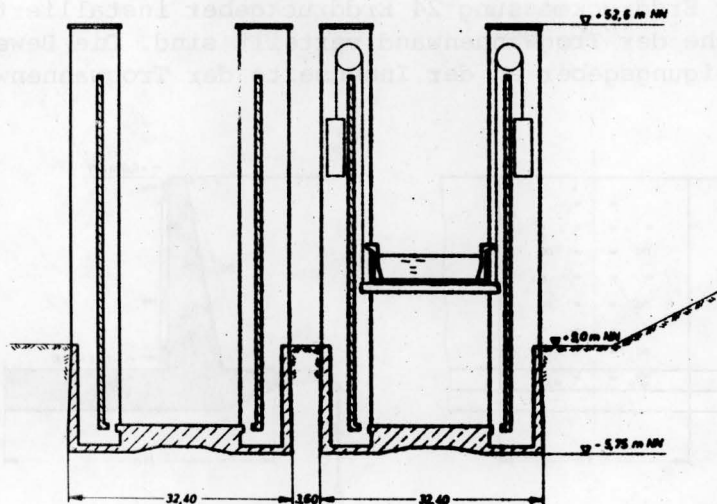


Abb. 1 Schematischer Querschnitt im Turmbereich des Schiffshebewerkes Lüneburg

Abbildung 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch das Schiffshebewerk Lüneburg, das aus zwei trogförmigen Bauwerken besteht, die von beiden Seiten hinterfüllt sind. Die besondere Problematik des Erddruckansatzes liegt darin, daß aufgrund der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen mit den damit verbundenen Dehnungen Bewegungen der Stützwände eintreten werden [2]. So bewegen sich im Sommer die Wände gegen die Hinterfüllung und im Winter von der Hinterfüllung fort. Diese Wandbewegungen werden ihrerseits Änderungen in der Größe und Verteilung des Erddruckes gegen die Wand hervorrufen. Anders als bei der elastischen Bettungsberechnung kann jedoch der Erddruck nicht eindeutig der Wandverschiebung zugeordnet werden. Messungen an russischen Schleusen [3], [5] sowie an einem Brückenwiderlager in Schweden [1] haben ergeben, daß sich der Erddruck im Laufe mehrerer Jahre bis auf den 2,5-fachen Wert des Ausgangszustandes erhöhen kann. Das heißt, daß das Hinterfüllungsmaterial infolge der periodischen Wandbewegung eine "Härtung" erfährt. Da es bisher kein Verfahren gibt, derartige Erddruckerhöhungen infolge periodischer Wandbewegungen theoretisch und quantitativ in den statischen Annahmen zu erfassen, hat die BAW ein Verfahren zur sicheren Abschätzung der Erddrücke in Form einer Grenzbetrachtung vorgeschlagen [4]. Als Ergebnis dieser Grenzbetrachtung wurde als maximaler Erddruck der 2,44-fache Erdruehdruck auf die in Abb. 1 dargestellte Turmwand angenommen. Wegen der ungewöhnlichen Größenordnung des Bauwerkes und trotz allem verbleibender Unsicherheiten in den Lastannahmen hielten wir es zusätzlich für notwendig, durch Messungen die getroffenen Annahmen über den Erddruck, die Bewegungen und Temperaturen zu kontrollieren. Ziel der Messungen war, folgende drei Fragenkomplexe zu klären:

1. Welchen Einfluß haben die Temperaturschwankungen auf die Bauwerksbewegung?
2. Wie groß sind die Bewegungen des Bauwerkes und welche Beziehung besteht zwischen diesen und den Erddruckänderungen ?

3. Wie ändert sich die Größe und Verteilung des Erddrucks infolge jahreszeitlicher Temperaturbewegungen im Laufe der Jahre?

## II. Beschreibung der Meßeinrichtung

Abb. 2 zeigt die Anordnung der Meßinstrumente im Trogwannenbereich. Hier wurden zur Erddruckmessung 24 Erddruckgeber installiert, die in 8 Reihen über die Höhe der Trogwannenwand verteilt sind. Die Bewegungsmessung erfolgt über 4 Neigungsgeber an der Innenseite der Trogwannenwand und 2 Weggeber am Sporn.

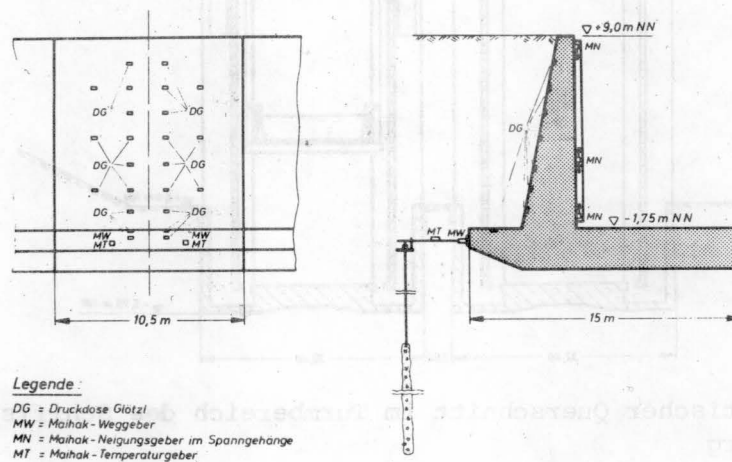


Abb. 2 Ansicht und Schnitt der Trogwannenwand

Abb. 3 zeigt die Anordnung der Meßinstrumente im Turmbereich. Hier wurden zur Erddruckmessung 23 Geber installiert, die in 6 Reihen über die Höhe der Turmwannd verteilt sind.

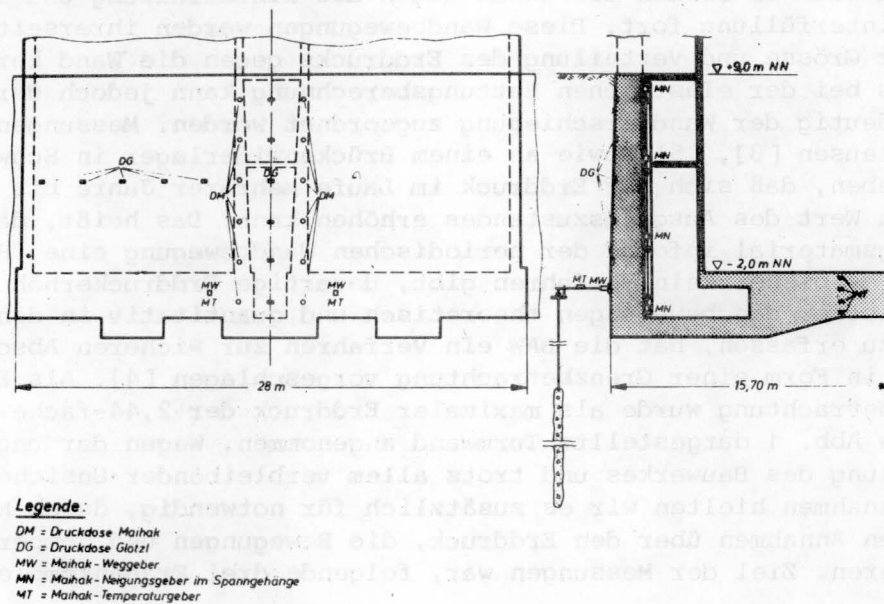


Abb. 3 Ansicht und Schnitt der Turmwannd

Die Bewegungsmessung erfolgt auch hier über 4 Neigungsgeber und 2 Weggeber. Da insbesondere während des späteren Betriebes des Schiffshebe-

werkes die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen die Bauwerksbewegungen verursachen, wurden in der Sohle außerdem 4 Temperaturgeber eingebaut, die neben den Temperaturschwankungen auch die Entwicklung der Temperaturgradienten über den Querschnitt der Sohlplatte zu verfolgen gestatten.

Die Erddruckmessung erfolgte mit Gebern der Firmen MAIHAK und GLÖTZL, die Bewegungs- und Temperaturmessung ausschließlich mit Systemen der Firma MAIHAK.

### III. Meßergebnisse; ihre Bewertung und Deutung

Auf der Abb. 4 sind die Erddruckverteilungen von 3 Messungen während des Hinterfüllvorganges im Trogwannenbereich dargestellt. Die einzelnen Punkte stellen die gemittelten Geberablesungen dar, die durchgezogenen Linien sind die sich theoretisch ergebenden Ruhedruckverteilungen für die entsprechenden Hinterfüllungshöhen. Daneben sind die den Erddrücken entsprechenden Wandverschiebungen und in der Trogwannensole die Ergebnisse der Temperaturmessungen aufgetragen.

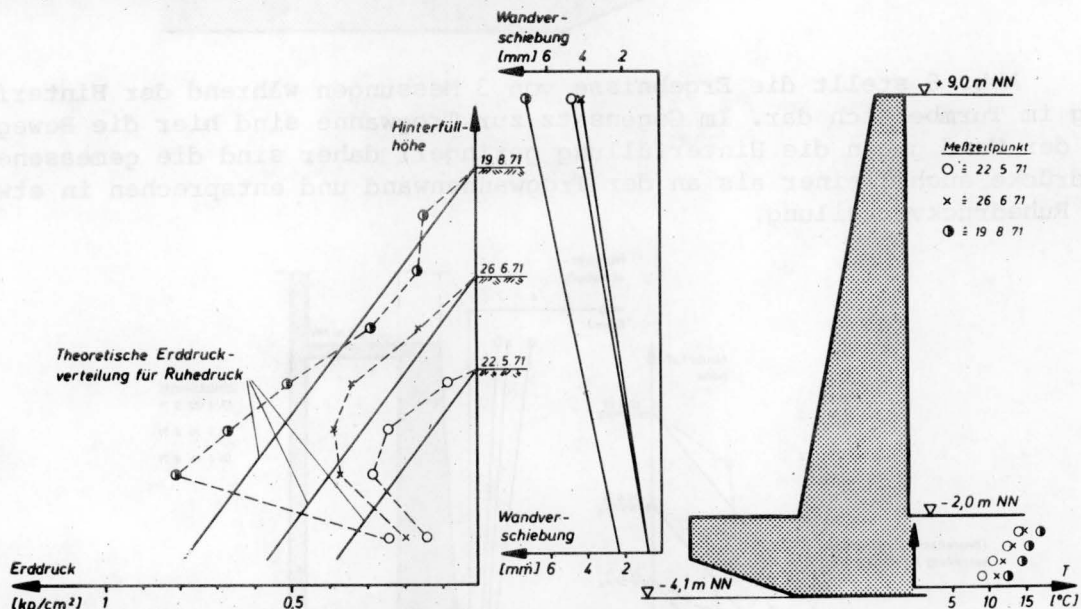


Abb. 4 Meßprofile im Trogwannenbereich während der Hinterfüllung

Wie man sieht, liegen die Meßergebnisse für den Erddruck oberhalb des Sporns meistens über dem Ruhedruck, was im wesentlichen auf die Bewegung der Wand gegen die Hinterfüllung zurückzuführen ist.

Die niedrigen Drücke am untersten, an der Stirnseite des Sporns angebrachten Geber stehen im Widerspruch zu der angezeigten horizontalen Verschiebung am Fuß des Troges. Eine Erklärung hierfür liefern die Erddruckmessungen auf dem Sporn. Die dort installierten Geber zeigten nämlich Meßwerte an, die die geostatische Auflast  $\gamma \cdot t$  um bis zu 80 % überschreiten. Die Ursache dafür liegt in den Setzungsdifferenzen zwischen der weniger stark belasteten Trogwanne und der Hinterfüllung neben dem Sporn. Die damit verbundene Relativverschiebung zwischen der Hinterfüllung auf dem Sporn mobilisiert auf der in Abb. 5 dargestellten Fuge Schubkräfte. Die Hinterfüllung "hängt" sich also über dem Sporn auf. Das führt einerseits zu einem Anstieg der Vertikalspannungen auf dem Sporn über den geostatischen Wert  $\gamma \cdot t$ , andererseits



zu einer Abnahme der Vertikalspannung und damit auch der Horizontalspannung neben dem Sporn.

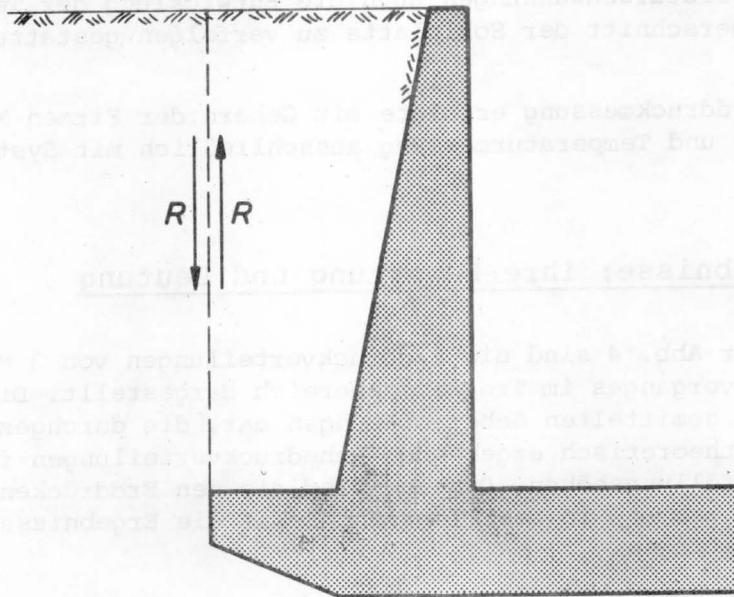


Abb. 5

Abb. 6 stellt die Ergebnisse von 3 Messungen während der Hinterfüllung im Turmbereich dar. Im Gegensatz zur Trogwanne sind hier die Bewegungen der Wand gegen die Hinterfüllung geringer; daher sind die gemessenen Erd drücke auch kleiner als an der Trogwannenwand und entsprechen in etwa der Ruhedruckverteilung.

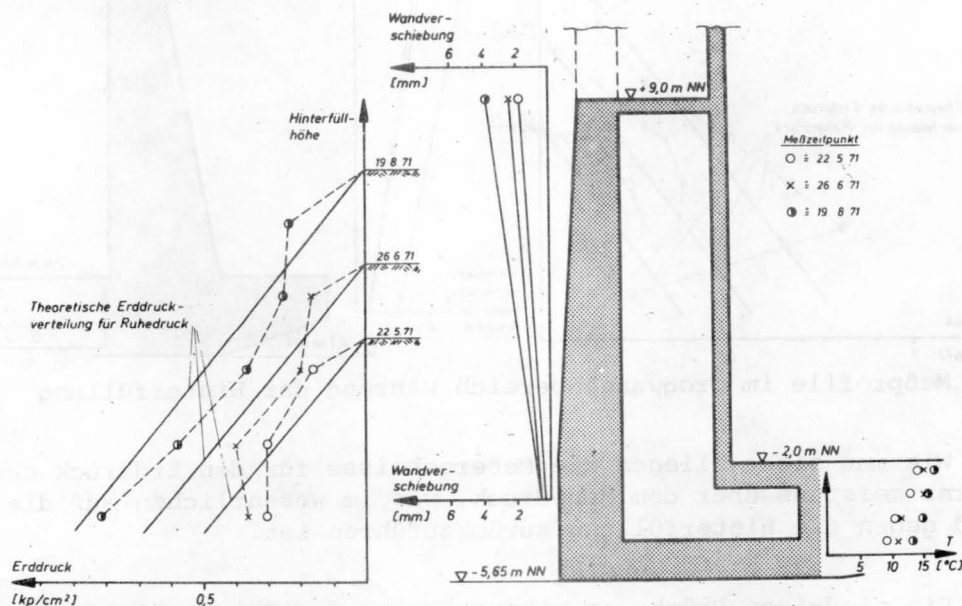


Abb. 6 Meßprofile im Turmbereich während der Hinterfüllung

Bemerkenswert ist, daß die obersten Meßwerte der einzelnen Messungen immer über der Ruhedruckverteilung liegen. Der Grund dafür ist in der Verspannung des Bodens infolge des Verdichtungsdruckes der Verdichtungsgeräte zu sehen. Mit dem weiteren Anwachsen der Hinterfüllungshöhe wird diese Verspannung jedoch wieder überdrückt.

Abb. 7 stellt die Meßergebnisse an der Trogwannenwand zu zwei charak-

teristischen Zeitpunkten dar; im Januar wurde das Minimum der Temperaturen des Jahres 1973 gemessen, das Maximum wurde im Juli erreicht. Während dieser Zeit bewegte sich die Trogwannenwand aufgrund der Temperaturerhöhung am Kopfpunkt um ca. 4 mm gegen die Hinterfüllung. Dementsprechend erhöhte sich der Erddruck von seinem Minimalwert im Januar und erreichte im Juli ein Maximum. Zu diesem Zeitpunkt überschritt der gemessene Erddruck den in der statischen Berechnung angenommenen Wert um etwa 40 %. Dies beweist die Berechtigung der von der BAW geforderten erhöhten Erddruckansätze. Aufgrund der Tatsache, daß der Grundwasserspiegel noch nicht die endgültige Höhe erreicht hatte und die gemessene Verteilung des Erddrucks hinsichtlich der Momente günstig war, wurden jedoch glücklicherweise die Bemessungsmomente am Fuß der Trogwannenwand noch nicht überschritten.

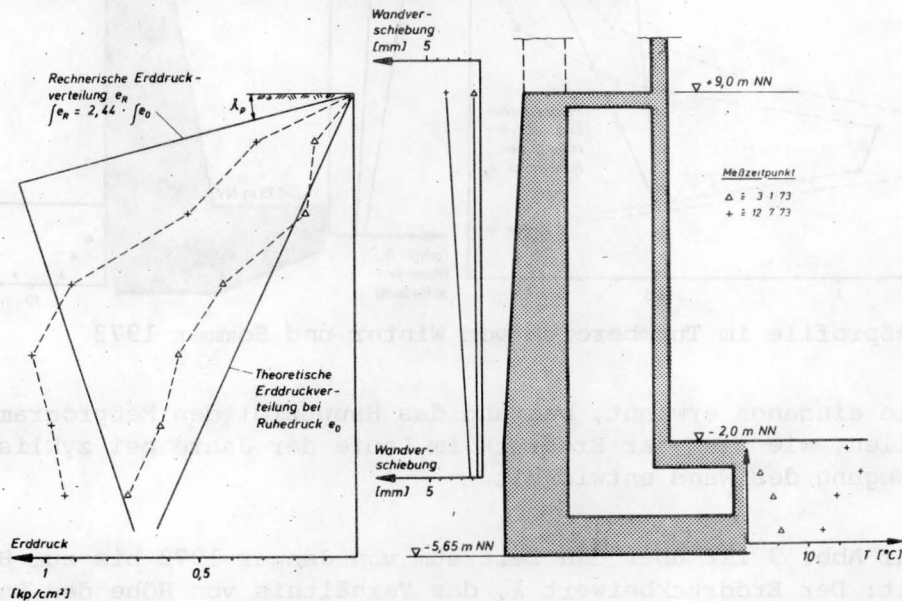


Abb. 7 Meßprofile im Trogwannenbereich vom Winter und Sommer 1973

Zum Vergleich wurden in Abb. 7 die rechnerischen Erddruckverteilungen als ausgezogene Linien eingezeichnet. Die "Rucksackform" der rechnerischen Erddruckverteilung wurde gewählt, weil man annahm, daß die Erddruckerhöhung infolge der jahreszeitlichen Temperaturdehnungen in der oberen Hälfte der Wand prozentual am größten ist. Ein Vergleich der Messungen im Januar und im Juli zeigt, daß auch diese Annahme zutreffend war.

Wie schon bei den vorhin gezeigten Meßergebnissen für verschiedene Hinterfüllungshöhen, ergibt sich auch nach vollendeter Hinterfüllung im unteren Drittel der Wand eine Konzentration der Erddrücke; hier überschreiten die Meßwerte die theoretischen Werte um mehr als das Doppelte. Der Grund dafür liegt in dem vorher erläuterten "Aufhängen" der Hinterfüllung über dem Sporn.

Abb. 8 zeigt als Vergleich die Ergebnisse der Messungen im Januar und im Juli 1973 im Bereich der Turmwand. Im Gegensatz zur Erddruckverteilung an der Trogwannenwand ist hier die Verteilung im Winter etwa linear und wird im Sommer parabolisch.

Zwar ist die Wandbewegung am Turm gegen die Hinterfüllung geringer als an der Trogwannenwand, doch auch hier ist deutlich zu erkennen, daß die prozentuale Erddruckzunahme infolge der Temperaturdehnung in der oberen Hälfte der Wand größer ist als in der unteren. Der gemessene Erddruck

hat - wie ein Vergleich zwischen den Meßergebnissen und der rechnerisch angenommenen Erddruckverteilung zeigt - den in der Statik angesetzten Wert bisher noch nicht überschritten. Die weitere Entwicklung bleibt abzuwarten.

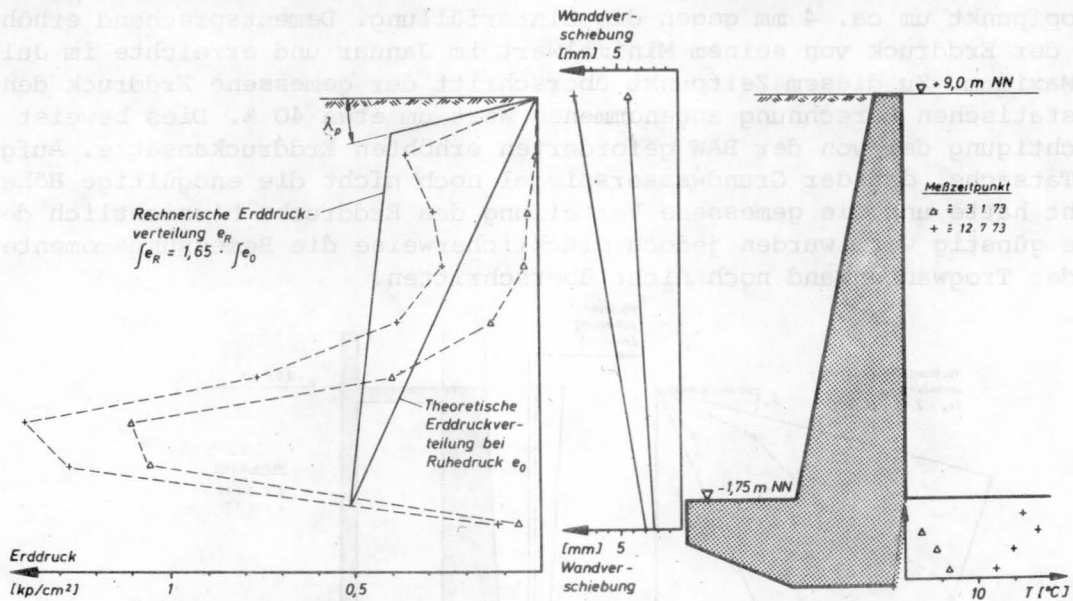
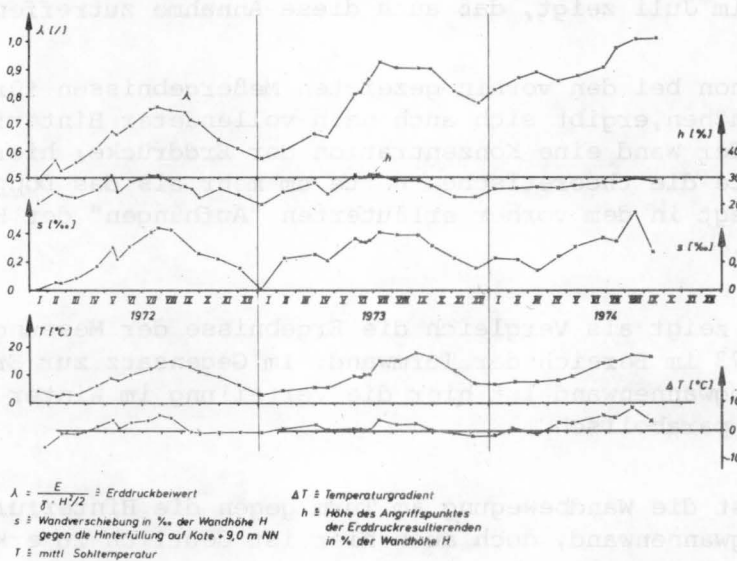


Abb. 8 Meßprofile im Turmbereich vom Winter und Sommer 1973

Wie eingangs erwähnt, bestand das Hauptziel des Meßprogramms darin, festzustellen, wie sich der Erddruck im Laufe der Jahre bei zyklischer Temperaturbewegung der Wand entwickelt.

Auf Abb. 9 ist über den Zeitraum von Januar 1972 bis zum Herbst 1974 dargestellt: Der Erddruckbeiwert  $\lambda$ , das Verhältnis von Höhe des Angriffspunktes der Erddruckresultierenden zur Wandhöhe, die Verschiebung des Kopfes der Trogwannenwand in % der Wandhöhe, die mittlere Sohltemperatur und der Temperaturgradient in der Sohle. Die Darstellung beginnt mit Januar 1972, nachdem die Hinterfüllung abgeschlossen war und die Höhe des Grundwassers in etwa ihren Endzustand erreicht hatte. Bis auf die Füllung des Stahltroges mit Wasser im Juni 1973 wurde die Messung von keinen wesentlichen Änderungen äußerer Lasten beeinflusst.



$\lambda = \frac{E}{\gamma \cdot H/2}$  = Erddruckbeiwert  
 $s$  = Wandverschiebung in % der Wandhöhe H gegen die Hinterfüllung auf Kote +9,0 m NN  
 $T$  = mittl. Sohltemperatur  
 $\Delta T$  = Temperaturgradient  
 $h$  = Höhe des Angriffspunktes der Erddruckresultierenden in % der Wandhöhe H

Abb. 9 Meßergebnisse an der Trogwannenwand in Abhängigkeit von der Zeit



Die Darstellung zeigt zunächst die bekannte Tatsache, daß bei Bewegung der Wand gegen die Hinterfüllung der Erddruck zunimmt, bei Bewegung der Wand von der Hinterfüllung fort der Erddruck abnimmt. Weiterhin macht dieses Diagramm aber deutlich, daß die Bewegungen der Wand eindeutig auf die Temperaturänderungen zurückgeführt werden können. Positive  $T$  und  $\Delta T$  erzeugen in dem Trogwannenquerschnitt in Höhe Wandoberkante die als positiv bezeichnete Verschiebung  $s$  gegen die Hinterfüllung. Wie erwartet, ist auch die Höhe des Angriffspunktes der Erddruckresultierenden abhängig von der Wandbewegung. Bei einer Bewegung gegen die Hinterfüllung geht mit dem Anstieg des Erddruckbeiwertes  $\lambda$  ein Höherwandern der Erddruckresultierenden einher. Entsprechendes gilt für Bewegungen von der Hinterfüllung fort. Allerdings wächst die absolute Höhe des Angriffspunktes nicht wie der Erddruckbeiwert im Laufe der Jahre an, sondern pendelt um einen Mittelwert. Dieser liegt wegen der Erddruckkonzentration über dem Sporn unter dem Drittelpunkt der Trogwannenwand.

Die bemerkenswerteste Erkenntnis, die für ähnliche Bauwerke künftig berücksichtigt werden muß, ist, daß der Erddruck von Jahr zu Jahr anwächst. Ausgehend von einem Erddruckbeiwert  $\lambda$  von 0,5, der schon größer ist als der Ruhedruckbeiwert, erreicht  $\lambda$  nach 2,5 Jahren hier einen Wert von 1,0. Zwar ist an der Trogwannenwand der Zuwachs vom Sommer 1973 zum Sommer 1974 nicht ganz so groß wie der vom Sommer 1972 zum Sommer 1973, doch bleiben im Sommer 1974 die Sohltemperaturen hinter denen des Vorjahres zurück. Es läßt sich daher aufgrund dieses Diagrammes noch nicht eindeutig feststellen, ob der jährliche Erddruckanstieg an der Trogwannenwand schon im Abklingen begriffen ist.

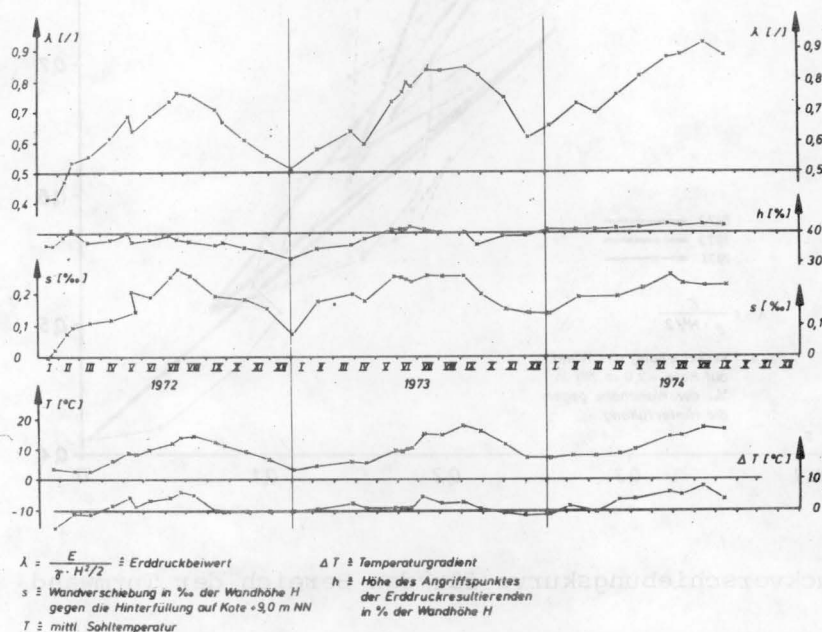


Abb. 10 Meßergebnisse an der Turmwand in Abhängigkeit von der Zeit

Abb. 10 stellt die Meßergebnisse an der Turmwand über der Zeit dar. Man stellt fest, daß sie denen an der Trogwannenwand qualitativ entsprechen. Allerdings sind 3 Besonderheiten zu erkennen:

Zum einen hat trotz der relativ niedrigen Temperatur der Bauwerkssohle im Sommer 1974 der Erddruckzuwachs pro Jahreszyklus an der Turmwand

noch nicht abgenommen;

- zum anderen zeigt sich sehr deutlich, daß mit dem Anstieg des maximalen Erddrucks von Sommer zu Sommer auch der Angriffspunkt der Erddruckresultierenden immer höher wandert. Damit wird qualitativ die von der BAW zur Statik getroffene Annahme bestätigt, daß beim Anwachsen des Erddruckes über den Ruhedruck der Angriffspunkt der Erddruckresultierenden ansteigt und der Erddruck eine Verteilung in Form einer "Rucksackkurve" annimmt;
- des weiteren fällt auf, daß sich der Erddruckbeiwert am Turm vom Minimalwert im Januar zum Maximalwert im Spätsommer im Jahre 1972 um fast 100 % erhöht, dagegen an der Trogwannenwand lediglich um ca. 50 %. Die entsprechenden Bewegungen sind jedoch an der Trogwannenwand größer als an der Turmwand. Ähnliches läßt sich auch für die Jahre 1973 und 1974 feststellen. Der Grund für dieses unterschiedliche Verhalten kann nicht mit Unterschieden der Wandhöhen im Turm- und Trogwannenbereich erklärt werden. Die Ursache wird vielmehr der Unterschied im Wandprofil sein, da der Sporn - wie vorher beschrieben - den Erddruck wesentlich beeinflusst.

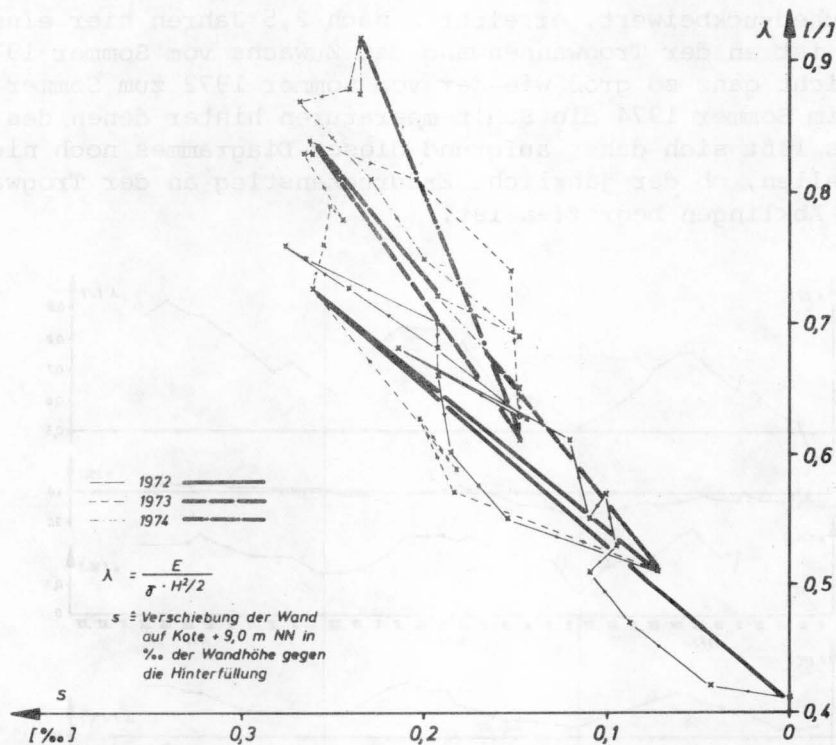


Abb.11 Erddruckverschiebungskurve für den Bereich der Turmwand

Auf Abb.11 wurde über der Verschiebung  $s$  der Turmwand der Erddruckbeiwert  $\lambda$  für die seit Januar 1972 durchgeführten Messungen dargestellt. Die einzelnen Messungen sind mit Kreuzen bezeichnet und durch Linien mit der zeitlich vorausgehenden und der nachfolgenden Messung verbunden, so daß ein Erddruck-Verschiebungsdiagramm entsteht. Um die auf den ersten Blick unübersichtliche Darstellung der Erddruck-Verschiebungsmessung klarer werden zu lassen, wurden die Meßpunkte für die maximalen und minimalen Erddruckbeiwerte für die Jahre 1972 bis 1974 verbunden. Diese Darstellung macht zweierlei deutlich:

Einmal erkennt man, daß der Turm von Jahr zu Jahr kleinere Bewegungen macht. Im Winter erreicht er nicht mehr seine alte Ausgangslage, während die Verschiebungen im Sommer etwa die gleiche Größe behalten. Zum anderen macht diese Darstellung deutlich, daß der Anstieg der Erddruck-Verschiebungskurven von Jahr zu Jahr steiler wird. Das aber bedeutet, daß der Widerstand der Hinterfüllung gegen die Temperaturbewegungen der Wand von Jahr zu Jahr anwächst, das heißt eine deutliche "Härtung" mit den jährlichen Bewegungszyklen eintritt. Wann dieser Prozeß abgeschlossen ist - also die Neigung der Erddruck-Verschiebungskurve einen konstanten Endwert erreichen wird - ist bislang noch nicht abzusehen; vermutlich wird es wenigstens 5 bis 7 Jahre dauern.

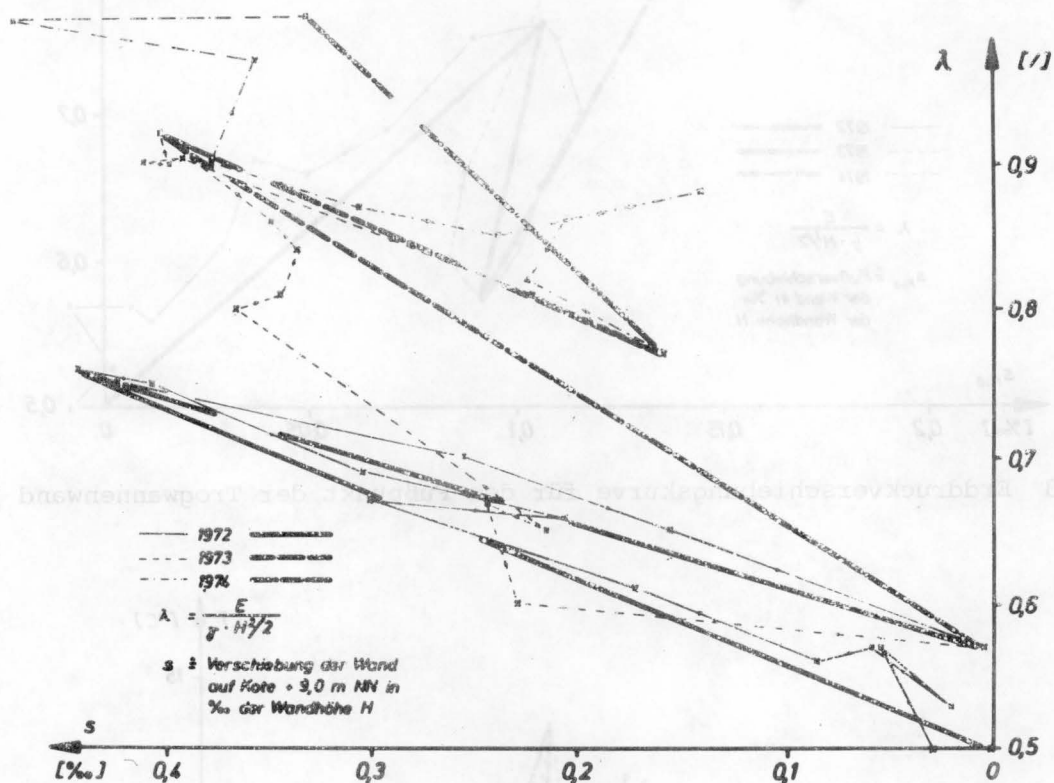


Abb. 12 Erddruckverschiebungskurve für den Kopfpunkt der Trogwannenwand

Auf Abb. 12 ist eine Erddruck-Verschiebungskurve für die Trogwannenwand dargestellt. Auch hier ist wieder ein deutliches Steilerwerden der Erddruckverschiebungskurve im Laufe der Jahre festzustellen, doch ist die Steigung der Erddruck-Verschiebungs-Charakteristik an der Trogwannenwand geringer als an der Turmwand. Außerdem fällt auf, daß die Meßpunkte wesentlich stärkere Abweichungen von der Verbindungslinie der maximalen und minimalen Erddruckbeiwerte der einzelnen Jahre aufweisen. Das ist wahrscheinlich wieder auf den Einfluß des Sporns an der Trogwannenwand zurückzuführen.

Auf Abb. 13 sind die Erddruckbeiwerte in Abhängigkeit von der Fußverschiebung dargestellt worden. Das Diagramm macht deutlich, daß sich auch die Trogwannenwand von Jahr zu Jahr weiter gegen die Hinterfüllung bewegt. Das war auf Abb. 12 deshalb nicht so deutlich geworden, weil dort die Kopfbewegung der untersuchte Parameter war. Mit ansteigendem Erddruck wird sich die Wand jedoch immer stärker zur Trogachse verbiegen, so daß die Bewegungsmessung am Kopf der Wand nur bedingt die Bewegungen des gesamten Troges widerspiegelt.

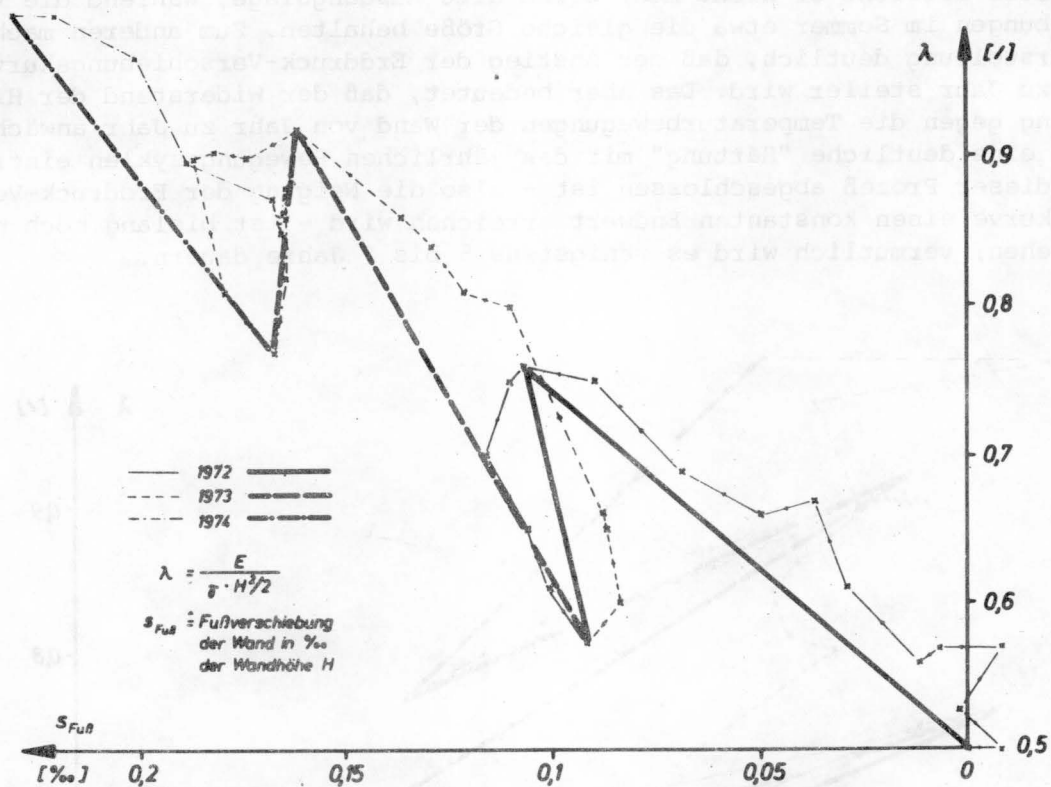


Abb. 13 Erddruckverschiebungskurve für den Fußpunkt der Trogwannenwand

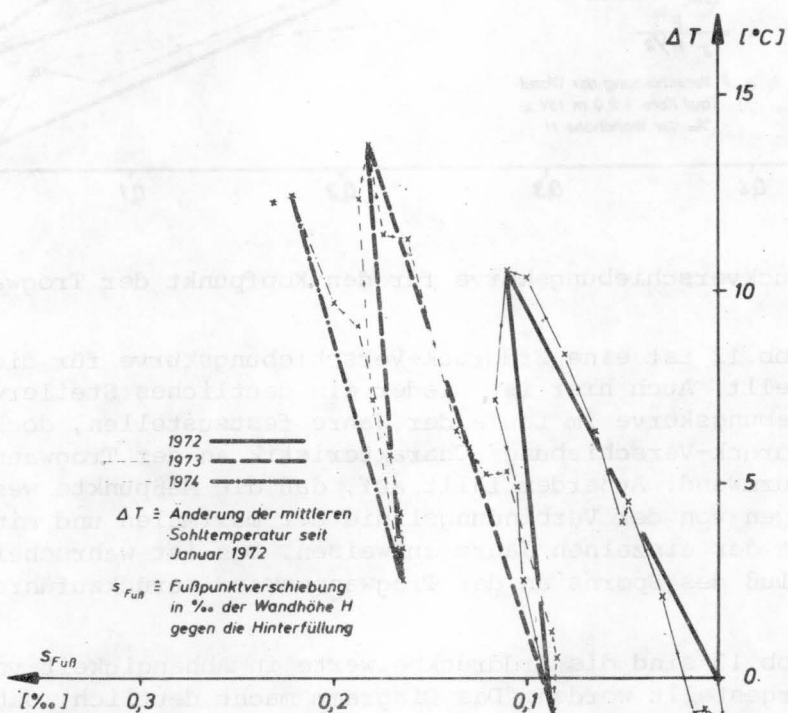


Abb. 14 Temperaturverschiebungskurve für den Bereich der Trogwannenwand



Da alle Wandbewegungen nach Abschluß der Bauarbeiten durch die Temperaturänderungen eingeprägt werden, ist in Abb.14 die Fußverschiebung an der Trogwannenwand in Abhängigkeit der Änderung der mittleren Sohltemperatur seit Januar 1972 dargestellt. Neben dem deutlichen Steilerwerden der Temperaturverschiebungscharakteristik in den Jahren 1972 und 1973 - was auf den zunehmenden Widerstand der Hinterfüllung gegen die Temperaturdehnungen hinweist - erkennt man wieder, daß sich der Fußpunkt der Trogwannenwand von Jahr zu Jahr weiter gegen die Hinterfüllung bewegt. Diese pilgerschrittartige Bewegung gegen die Hinterfüllung, die sowohl bei der Trogwannenwand als auch bei der Turmwand zu beobachten ist, findet ihre Erklärung in folgender Tatsache:

Wie man auf Abb. 1 erkennt, trennen nur wenige Meter Hinterfüllung die beiden Stahlbetontröge. Dieser schmale Zwickel verhält sich im Sommer bei Temperaturdehnungen wie ein starres Widerlager, da sich im Gegensatz zu den beiden Außenwänden hier kein passiver Gleitkeil ausbilden kann. Die Temperaturdehnungen werden also im Sommer voll an den äußeren Wänden des Doppelhebewerkes auftreten.

Zum Winter dagegen werden die Temperaturbewegungen der Stahlkonstruktionen nicht durch den Zwickel zwischen den beiden Trögen behindert. Der Temperaturabfall wird sich also in Bewegungen der Außen- als auch der Innenwände der Tröge bemerkbar machen. Die im Laufe der Jahre festgestellte, pilgerschrittartige Bewegung des Troges gegen die Hinterfüllung findet nun darin seine Erklärung, daß im Winter die Hinterfüllung in den horizontal vergrößerten Zwickel nachsackt und damit Temperaturbewegungen an den Innenwänden im nächsten Sommer wieder blockiert sind. Diese Überlegungen werden im übrigen durch die Messungen der Sohldruckverteilung unterstützt, die darauf hindeuten, daß die Erddrücke zwischen den beiden Trögen erheblich höher sind als an den Außenwänden.

#### IV. Zusammenfassung

Hinsichtlich der Erddruckverteilung haben die Messungen bisher zu folgenden Ergebnissen geführt:

1. Bei starren, trogförmigen Bauwerken mit Sporn liegt die Vertikalspannung auf dem Sporn um bis zu 80 % über den rechnerischen Spannungen der Auflast. Desgleichen überschreitet der Erddruck im unteren Drittel der Wand den Ruhedruck bis zu 100 %.
2. Bei starren, hinterfüllten U-förmigen Bauwerken mit vertikaler Wand ist die Erddruckverteilung nicht linear, sondern eher parabolisch (konvex).
3. Während der Hinterfüllung von starren, unverschieblichen Stützbauwerken überschreitet der gemessene Erddruck in den oberen 2,0 bis 3,0 m die angenommene Ruhedruckverteilung, da hier eine Verspannung infolge der Verdichtungsarbeit entsteht. Bei weiterer Hinterfüllung wird diese Verspannung durch die hinzukommende Auflast überdrückt.

Bei einem Meßzeitraum von etwa drei Jahren, bei dem die beobachteten Erddruckänderungen nicht auf die Änderung äußerer Lasten (wie z.B. Hinterfüllung, Baufortschritt, etc.) zurückgeführt werden können, führte die Langzeitmessung bisher zu folgenden Ergebnissen:

1. Bei starren, trogförmigen Bauwerken, die von beiden Seiten hinterfüllt sind, sind die Bewegungen der Wände und damit die Erddruckänderungen auf die jahreszeitlichen Temperaturbewegungen des Betons zurückzuführen.
2. Der Erddruck hat sich dabei von Jahr zu Jahr bis über den doppelten Erdruhedruck erhöht. Ein Ende dieses "Härtungsprozesses" der Hinterfüllung kann nach 3 Jahren Beobachtungszeit noch nicht angegeben werden.
3. Der Anstieg des Erddruckes infolge der Temperaturdehnungen des Bauwerkes ist verbunden mit einem Höherwandern des Angriffspunktes des resultierenden Erddruckes, d.h. die Erddrücke wachsen bei Bewegungen der Wand gegen die Hinterfüllung im oberen Teil der Wand prozentual am höchsten an. Insbesondere bei Bauwerken mit vertikaler Wand ohne Sporn führt dies zu einer Erddruckverteilung, die hinsichtlich der Bemessungsmomente wesentlich ungünstiger ist als die üblicherweise angesetzte linear mit der Tiefe zunehmende Erddruckverteilung.

## V. Schrifttum

- |     |                         |   |  |
|-----|-------------------------|---|--|
| [1] | BROMS,<br>INGELSON      | : | Earth pressure against the abutments of a rigid frame bridge. Geotechnique 1/1971  |
| [2] | CLOUGH,<br>DUNCAN       | : | Temperatur effects on behaviour of Port Allen Lock. Proc. ASCE, Speciality Conference "Performance of Earth and Earth-Supported Structures". Purdue University, Lafayette, Indiana/USA, 1/1972 |
| [3] | FELDMANN,<br>ZAREW      | : | Der Druck von sandigen Anschüttungen bei den Kammern von schiffbaren Schleusen. Übersetzung aus "Gidrotechnitscheskoe Stroitelstwo" 9/1965.  |
| [4] | FRANKE,<br>BERNHARD     | : | Erddruckansatz bei trogförmigen Bauwerken und Wechselwirkung zwischen Erd- und Sohlendruck am Beispiel des Schiffshebewerkes Lüneburg. Mitteilungsblatt der BAW, H. 32/1972                    |
| [5] | SINYAVSHAYA,<br>PAVLOVA | : | Effect of periodic displacements of a lock wall on earth pressure on reinforcement stresses. Hydrotechnical construction 3/1971.   |