

2610-4427

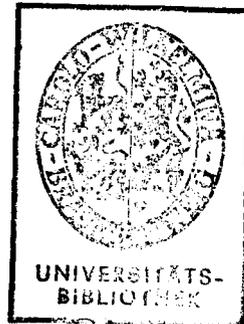
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

Amtliche Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen
Direktoren:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Karl Kordina
Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy

DRUCKMESSUNGEN IN SILOZELLEN MIT EINER NEU ENTWICKELTEN SONDE

von
Karl Kordina
und
Helmut Fröning



Abschlußbericht eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens mit dem Titel
»Druckmessungen im inneren von mittleren bis großen Silozellen«

HEFT 44 ● BRAUNSCHWEIG ● OKTOBER 1979

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Versuchsübersicht	1
2. Beschreibung der Versuchseinrichtung	2
3. Versuchsergebnisse	12
4. Zusammenfassung	17
5. Literaturverzeichnis	19
6. Anlagenverzeichnis	20
7. Anlagen (Bild 2.1.1 - Bild 3.10.12)	

1. Einleitung und Versuchsübersicht

Die hier angegebenen Versuche dienten der Erkundung der Innendrücke in mittleren bis großen Silozellen. Neben dieser allgemeinen Untersuchung sollte speziell der Druckwechsel von Ruhe zu Bewegung, also bei Entleerungsbeginn untersucht werden, da hierzu, wie schon im Forschungsantrag angegeben, unterschiedliche Versuchsergebnisse vorlagen [1, 2, 3, 4]. Da dieser Druckwechsel nach theoretischen Untersuchungen [5] von einem unterschiedlichen Wandreibungswinkel zwischen Ruhe und Bewegung abhängen kann, wurden außerdem die Reibungswinkelveränderungen bei kleinen Gleitgeschwindigkeiten gemessen.

Die Druckmessungen wurden in den Siloanlagen der Firmen WTAG und Rhenania in Braunschweig und im Siloversuchsstand der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt. Für die kostenlose Zurverfügungstellung der Anlagen sei allen, insbesondere den Firmen WTAG und Rhenania, nochmals gedankt.

Die ergänzend zum ursprünglichen Forschungsprogramm durchgeführten Versuche am Siloversuchsstand der TU Braunschweig dienten vornehmlich der Ermittlung des "Sondenfremdkörper-effektes". Hier konnten die von der Sonde aufgezeichneten Drücke mit den im Versuchsstand gemessenen verglichen werden.

Die Reibungsmessungen wurden am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz durchgeführt.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die durchgeführten Versuche.

Versuch-Nummer	Art der Messung	Versuchsort	Versuchsgut
1,2,3,4,7,9,10,11,12,13	Druckmessung	WTAG, Braunschweig	Gerste, Weizen
5,6,8	Druckmessung	Rhenania, Brg.	Weizen
14,15	Druckmessung	Siloversuchsstand der TU Braunschwg.	Mais
	Reibungsmessung	Institut für Baustoffe, Massivbau u. Brandschutz der TU Braunschwg.	Mais, Weizen, Gerste, Kunststoffgranulat, Sojabohnen, Sojaschrot, Senfkörner

2. Beschreibung der Versuchseinrichtungen

2.1 Druckmeßsonde

Die Drücke wurden mit der in den Bildern 2.1.1 bis 2.1.3 dargestellten Sonde gemessen. Die Sonde besteht aus einem oberen und unteren Meßkopf zur Vertikaldruckmessung und einem aus drei Segmenten bestehenden Kernstück zur Horizontaldruckmessung. Diese drei Teile sind über Zwischenstücke mit einem Aufhänge- bzw. Anschlußteil miteinander verbunden (Bild 2.1.1 und 2.1.3).

Die Meßwertaufnehmer bestehen aus Dehnungsmeßstreifen, die auf den Kopfplatten und Meßfedern temperaturkompensiert aufgeklebt sind (Bild 2.1.2). Beim Horizontaldruckmeßsatz sind die Dehnungsmeßstreifen so angeordnet, daß Wandreibungsspannungen nicht mit aufgezeichnet und nichtrotationssymmetrische, zu einer Tordierung der Meßfedern führende Anteile weitestgehend ausgeglichen werden. Es sind zwei verschiedene Meßwertaufnehmersätze vorhanden, einer für $p_h < 40 \text{ kN/m}^2$ bzw. $p_v < 150 \text{ kN/m}^2$ und einer für $p_h < 400 \text{ kN/m}^2$ bzw. $p_v < 450 \text{ kN/m}^2$. Die zusätzliche Brücke W auf dem Federsatz für die kleinen Drücke dient der Wandreibungsmessung. Sie wurde bei diesen Versuchen nicht benötigt. Die drei Vollbrücken der Horizontaldruckmeßfedern sind parallel geschaltet. Weiterhin kann die Sonde so geschaltet werden, daß sie die Meßwerte des oberen und unteren Meßkopfes getrennt oder gemittelt anzeigt.

Zur Anpassung an das spez. Silogutgewicht können verschieden lange Verbindungsstücke eingesetzt werden.

Die Neigung der Sonde kann mit einem Neigungsmesser - bestehend aus zwei kugelgelagerten Potentiometern und einem Pendel - bis zu Neigungswinkeln von etwa 20° gemessen werden.

2.2 Eichung der Druckmeßsonde

Die Eichung der Druckmeßsonde geschah für die hier beschriebenen Versuche durch Wasserdruck. Die Sonde wurde zu diesem Zweck mit einer Gummimembrane abgedichtet und in einen wasser-gefüllten Drucktopf gesetzt. Die Drücke wurden mit einem etwa in Sondenhöhe angebrachten Feinmeßmanometer gemessen und mit der Anzeige am Digitalvoltmeter verglichen. Bild 2.2.1 zeigt den Versuchsaufbau für die Eichung. In Bild 2.2.2 sind die Eichkurven für die verschiedenen Druckmeßaufnehmer angegeben. Die Temperaturbeeinflussung ist äußerst gering und kann vernachlässigt werden, wenn ungleichmäßige Temperaturverteilungen in der Sonde ausgeschlossen werden können.

2.3 Sondenfremdkörperereffekt

Die Druckmeßsonde übt durch ihr Gewicht und ihre vergrößerte Steifigkeit auf das umgebende Silogut einen Störeinfluß aus, der mit Fremdkörperereffekt bezeichnet wird. Der unmittelbar an der Sonde gemessene Druck entspricht dabei nicht mehr dem in einer größeren Entfernung von der Sonde vorhandenen Druck. Dieser Störeffekt wird in [6] und [7] näher beschrieben und ist neben den Eigenschaften der Sonde auch von der Dichte und den elastischen Materialkennwerten des umgebenden Silogutes abhängig. Da sich diese Stoffparameter von Silogut zu Silogut und auch während eines Versuches ändern, läßt sich dieser Fremdkörperereffekt durch konstruktive Maßnahmen an der Sonde nicht generell ausschalten.

Die Anpassung an das spezifische Gewicht des Silogutes geschah bei den ersten drei Versuchen näherungsweise durch eingesetzte Zwischenstücke (s. Bild 2.1.1). Durch die dabei sehr lange und steife Sonde ergab sich jedoch ein relativ großer Korrekturbeiwert für die Vertikaldurckmeßwerte. Bei allen weiteren Versuchen wurde deshalb mit einer kurzen Sonde gemessen (s. Bild 2.1.1), die zwar eine etwas größere spezifische Wichte als das umgebende Silogut hat, was sich aber im Hinblick auf die Genauigkeit der Druckmeßwerte als günstig erwies.

Die Anpassung an die Elastizität des Silogutes ist schwierig und läßt sich durch die Formgebung der Sonde nur für spezielle Fälle erreichen. Der Störeinfluß infolge unterschiedlicher Elastizität setzt sich bei dieser Druckmeßsondenkonstruktion aus zwei Anteilen zusammen, wodurch eine Anpassung möglich wird. In Bild 2.3.1 a sind zunächst die Druckverhältnisse für eine Sonde aufgetragen, die starrer ist als das umgebende Silogut. Dies führt immer zu einer Druckerhöhung in Sondennähe. Nun bestehen die einzelnen Meßelemente dieser Sonde aus nachgiebigen Membranen bzw. Segmenten. Die Druckverteilung im unmittelbaren Bereich der einzelnen Meßelemente wird deshalb von deren Nachgiebigkeit beeinflusst. Sie ist qualitativ in Bild 2.3.1 b und c dargestellt. Hierbei ist die mittlere Belastung der Membranen bzw. Segmente immer kleiner als der durch die Gesamtkonstruktion der Sonde erhöhte Druck in Sondennähe. Damit ist eine bedingte Anpassung möglich, und zwar für den Radialdruck nur durch Veränderung der Federsteifigkeit der Meßsegmente und für den Längsdruck durch Veränderung der Federsteifigkeit oder der Sondenlänge.

In Bild 2.3.2 sind die rechnerischen Druckverhältnisse in der Sondenumgebung für verschiedene Silogutparameter E und ν aufgetragen. Bild 2.3.3 und 2.3.4 zeigen die sich hieraus ergebenden Korrekturfaktoren, die das Verhältnis aus gemessenem Druck zum Druck in einer etwas größeren Entfernung von der Sonde angeben. Man erkennt hieran, daß die gewichtsmäßig optimal angepasste lange Sonde für die Längsrichtung einen großen Korrekturbeiwert erfordert. Dies war der Grund für den Einsatz der verkürzten Sonde bei den Versuchen 4 bis 15.

Zur Ermittlung des Silogut-E-Moduls wurde die Steifeziffer E_s experimentell ermittelt und hieraus mit Abschätzung der Querkontraktionszahl ν der E-Modul errechnet ($E = E_s \cdot (1+\nu) \cdot (1-2\nu) / (1-\nu)$). Hierbei ergaben sich für den E-Modul Werte im Bereich von $2 \div 50 \text{ MN/m}^2$ bzw. Verhältniszahlen E_{si}/E_{st} von $\sim 1,0 \cdot 10^{-5}$ bis $3 \cdot 10^{-4}$. Im wesentlichen sind diese Unterschiede auf die verschiedenen Neigungen von Erst- und Wiederbelastungskurve im Druck-Dehnungsdiagramm zurückzuführen.

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Korrekturbeiwerte k_1 für die Sondenlängsrichtung besteht in einem Vergleich der gemessenen Fülldrücke mit den theoretischen Drücken bei geringer Überlagerung. Die Vertikaldrücke nehmen, solange der Wandeinfluß vernachlässigt werden kann, hydrostatisch zu. Zur Ermittlung dieser Druckzunahme wurden die Fülldrücke zunächst durch ein Polynom von der Form $p_1 = p_0 + p_1 \cdot z + p_2 \cdot z^2$ angenähert und anschließend dp_1/dz bei $p_1 = 0$ ermittelt (s. Bild 2.3.5 und Bild 2.3.6). Ein Vergleich der Anfangssteigungen der Fülldrücke unter Berücksichtigung einer evtl. vorhandenen Sondenschräglage (s. Abschnitt 2.4) mit der Wichte des Silogutes liefert die k_1 -Werte (s. Bild 2.3.6). Bereits bei der Firma Miag, Braunschweig, vorher durchgeführte Versuche der gleichen Art mit einer extrem kurzen Sonde lieferten noch kleinere Korrekturwerte, die ebenfalls in Bild 2.3.6 angegeben sind.

Zur weiteren experimentellen Überprüfung der theoretischen Korrekturbeiwerte für die Radialrichtung wurden Versuche am Siloversuchsstand der TU Braunschweig durchgeführt. Hierbei konnten die von der Sonde aufgezeichneten Drücke mit denen der Versuchssilozelle verglichen werden. Die Versuchssilozelle besteht aus mehreren Meßringen. Sie ist in Bild 2.3.7 dargestellt. Bild 2.3.8 zeigt die von der Sonde und von den Meßringen der Versuchssilozellen aufgezeichneten Drücke in zeitlicher Abhängigkeit, wobei die unterschiedliche Höhenlage der Sonde mit berücksichtigt wurde. Der Korrekturwert selbst ergibt sich als Mittelwert des Sondendruckes zum Silodruck, wobei die Mittelbildung auf den Bereich beschränkt blieb, in dem die Sonde frei mit nach unten floß.

Eine Betrachtung der experimentell gewonnenen Korrekturbeiwerte zeigt eine große Streuung, die bei gleichem Silogut auf die unterschiedlichen Einbaudichten zurückgeführt werden kann. Bei der Festlegung des Korrekturbeiwertes für die Sondenlängsrichtung wurde den experimentell ermittelten Werten der Vorrang eingeräumt und für die spätere Versuchsauswertung für die lange Sonde ($l = 2200$ mm) mit $k_1 = 3,20$ und für die kurze

Sonde ($l = 713 \text{ mm}$) mit $k_1 = 2,10$ gerechnet. Bei Festlegung des Korrekturbeiwertes für die Radialrichtung wurde in Anlehnung an die theoretischen Ergebnisse der Korrekturbeiwert gegenüber den experimentellen Ergebnissen etwas reduziert, um damit eine größere Silogutdichte beim Großversuch gegenüber den Versuchen im Siloversuchsstand zu berücksichtigen. Für die spätere Auswertung wurde deshalb mit einem Korrekturbeiwert $k_r = 1,3$ gerechnet.

2.4 Berücksichtigung der Sondenneigung

Von der Sonde werden die Drücke in Sondenlängsrichtung und bei Parallelschaltung der drei Horizontaldruckmeßbrücken das Mittel des Radialdruckes gemessen. Steht die Sonde - wie geplant - lotrecht im Silogut, entspricht dies dem Vertikal- und mittleren Horizontaldruck. Bei einer evtl. Schräglage der Sonde müssen die von der Sonde aufgezeichneten Längs- und mittleren Radialdrücke in die Vertikal- und mittleren Horizontaldrücke umgerechnet werden. Dies läßt sich für die Silomitte ($\tau = 0$) exakt und für die übrigen Bereiche ($\tau \neq 0$) nur näherungsweise durchführen. Mit der Spannungstransformationsgleichung nach [8] wird der auf die Lotachse bezogene Spannungszustand nach Bild 2.4 in zwei Schritten auf die Sondenachse und eine beliebige Radialrichtung transformiert und anschließend durch Integration der mittlere Radialdruck errechnet. Durch Umstellung des Gleichungssystems erhält man schließlich

$$p_v = p_l + (p_l - p_{rm}) \cdot \frac{2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 - 3 \cdot \sin^2 \alpha} \quad \dots 2.4.1$$

$$p_{hm} = p_{rm} - (p_l - p_{rm}) \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{2 - 3 \cdot \sin^2 \alpha} \quad \dots 2.4.2$$

wobei p_v und p_{hm} den lotrechten bzw. mittleren horizontalen sowie p_l und p_{rm} den Druck in Sondenlängsrichtung bzw. den mittleren radialen Druck darstellen. Der Winkel α gibt die Abweichung der Sondenachse von der Lotrechten an. Aus dem in

Bild 2.4 angegebenen Diagramm geht hervor, daß Abweichungen der Sondenachse von der Lotrechten unter $\alpha = 10 - 15^\circ$ praktisch vernachlässigbar sind.

Geht man davon aus, daß die von der Sonde gemessenen Drücke um die Korrekturbeiwerte k_1 bzw. k_r zu groß sind (s. Abschnitt 2.3), ergibt sich mit den Bezeichnungen $p_{1,mes} = k_1 \cdot p_1$ sowie $p_{rm,mes} = k_r \cdot p_{rm}$ und der nach dz differenzierten Gleichung 2.4.1

$$\left(\frac{dp_v}{dz} \right)_{p=0} = \frac{1}{k_1} \cdot \left(\frac{dp_{1,mes}}{dz} \right)_{p=0} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 - 3 \cdot \sin^2 \alpha} \right) - \frac{1}{k_r} \cdot \left(\frac{dp_{rm,mes}}{dz} \right)_{p=0} \cdot \frac{2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 - 3 \cdot \sin^2 \alpha} = \gamma$$

und hieraus schließlich eine Beziehung zur Ermittlung des Korrekturbeiwertes k_1 bei Sondenschräglage

$$k_1 = \left(\frac{dp_{1,mes}}{dz} \right)_{p=0} \cdot \frac{2 - \sin^2 \alpha}{(2 - 3 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \gamma + \frac{2 \cdot \sin^2 \alpha}{k_r} \cdot \left(\frac{dp_{rm,mes}}{dz} \right)_{p=0}} \quad \dots \quad 2.4.3$$

2.5 Meßwertübertragung und Aufzeichnung

Die Meßwertaufnehmer der Druckmeßsonde waren über Meßkabel mit dem außerhalb der Silozelle stehenden Meßverstärker verbunden. Von diesem aus wurden die Meßwerte zwei Zweikanalschreibern zugeführt und dort zeitabhängig aufgezeichnet. Das gesamte Blockschaltbild der Meß- und Aufzeichnungsanlage ist in Bild 2.5 dargestellt.

2.6 Tiefenmeßeinrichtung

Zur Rekonstruktion der Sondenlage in vertikaler Richtung wurde die Silogutoberflächenabsenkung mit dem in Bild 2.6 dargestellten Tiefenmesser gemessen und z. T. mit einem Schreiber aufgezeichnet. Mit Hilfe der Bergungsseillänge unter Berücksichtigung der Seildehnung konnten diese Werte gegen Ende des Versuchs hiermit verglichen bzw. kontrolliert werden.

2.7 Versuchsaufbau und -ablauf in den Siloanlagen der Firmen WTAG Braunschweig und Rhenania Braunschweig

Bild 2.7.1 zeigt die Gesamtübersicht der Meßanlage einschließlich der Silozellen.

Nach Beendigung des Versuchs wurde die Sonde nach oben geborgen. Zu diesem Zweck war sie über ein Bergungsseil mit einem über der Zelle stehenden Dreibock verbunden. Das Bergungsseil bestand bei den Versuchen Nr. 1, 2, 3, 4, 7 aus Perlon, \varnothing 20 mm, und bei den Versuchen Nr. 5, 6, 8 - 13 aus Stahl, \varnothing 12 mm. Die Meßkabel wurden durch einen Kunststoffschlauch, der mit dem Bergungsseil verbunden war, vor dem Silogutangriff geschützt. Der Dreibock hatte die Aufgabe, die großen Bergungslasten (gemessen \sim 20 - 30 kN, vorausgeschätzt $<$ 80 kN) sicher in die Zellenwände zu übertragen. Die gesamte Aufzeichnungsanlage stand über der Silozelle. Von dort aus konnte die Aufzeichnung kontrolliert und die Silogutoberfläche gut beobachtet werden.

Als Endlösung der während der Versuche mehrmals verbesserten Meßkabelführung wurde bei den Versuchen Nr. 1, 2, 3, 4 und 7 eine Konstruktion aus PVC-Teleskop- und PE-Rohren gewählt, die mit Schlauchbindern und Kraftübertragungsschlaufen aus Perlon in Abständen von 3 m bzw. 1 m mit dem Perlonseil verbunden waren. Die Teleskoprohre PVC-hart sollten die großen Perlonseildehnungen ausgleichen. Sie waren relativ unbiegsam und deshalb durch etwa 2 m lange biegsamere, jedoch kaum dehnbare PE-Rohre verbunden. Bei den Versuchen Nr. 5, 6 und 8 - 13 wurde als Schutzrohr ein durchgehendes PE-Rohr gewählt, welches mit einer speziell hierfür konstruierten Schlauch-Seilklemmverbindung in Abständen von \sim 2 m mit dem relativ undehnbaren Stahlseil verbunden war.

Beide Schutzrohrkonstruktionen erlaubten nur die Durchführung von je drei Meßkabeln, wenn verhindert werden sollte, daß diese Meßkabel durch übergroße Seitenreibung durch die Schutzrohrdehnung bzw. Verschiebung des öfteren rissen.

Die Zellenwände beider Anlagen bestehen aus etwa 20 cm dickem Stahlbeton. Füllgut war Weizen und Gerste. Die WTAG-Anlage ist seit 1961 und die Rhenania-Anlage seit 1970 in Betrieb. Die Wandinnenseiten waren bei der WTAG im oberen Bereich durch eine Staub-Wachsschicht bedeckt (s. Bild 2.7.2) und augenscheinlich sehr glatt. Im mittleren Bereich war eine wachsähnliche Schicht zu beobachten. Bild 2.7.3 zeigt den Zustand der Wände in diesem Bereich. Im unteren Bereich (s. Bild 2.7.4) schien der Beton teilweise angegriffen zu sein, indem einzelne Körner herausgerissen und des öfteren grobere Kiesel zu erkennen waren. Die augenscheinlichen Unebenheiten betrug jedoch nur wenige Millimeter. Untersuchungen der Wandverhältnisse bei der Rhenania-Zelle konnten nicht durchgeführt werden.

Der Versuchsablauf sah etwa folgendermaßen aus:

Nachdem die Zelle bis zur Sondeneinbauhöhe gefüllt war, wurde die Sonde am Bergungsseil herabgelassen und leicht auf die vorgesehene Stelle der Silogutoberfläche gesetzt. Die Lage der Sonde im Querschnitt konnte von oben her auf ca. 30 cm genau eingemessen werden. Nach anschließender etwa 2 m weiterer Füllung wurde das Bergungsseil einschließlich der Meßkabel etwas abgelassen, so daß es sich schlaufenartig auf die Silogutoberfläche auflegte, um damit bei der späteren Sondenbewegung relativ zum umgebenden Silogut die Meßwerte nur möglichst wenig zu beeinflussen. Während des Füllvorganges war die Meßanlage in der Regel eingeschaltet, so daß Druckveränderungen beim Einbau und Nachlassen des Bergungsseiles beobachtet werden konnten. Die Pause zwischen Füllung und Entleerung betrug aus organisatorischen Gründen im allgemeinen eine Nacht.

Vor Entleerungsbeginn wurde die Aufzeichnungsanlage wieder eingeschaltet und der Entleerungsbeginn mit vergrößerter Papiervorschubgeschwindigkeit ~ 120 mm/s aufgezeichnet. Gegen Ende des Versuchs hing sich die Sonde immer mehr in das Bergungsseil ein. Bei dem bei der WTAG verwendeten Perlonseil

betragen die Seildehnungen bis zu 20 %. Sie wurden laufend kontrolliert. Durch einen Zugvergleichstest in der Prüfmaschine konnte dadurch auf die auftretenden Bergungslasten (max. \sim 20 - 30 kN) geschlossen werden. Weiterhin war durch die gemessene Seildehnung die Sondentiefenlage auf etwa 1 m genau zu rekonstruieren. Das Bergungsseil wurde vor Versuchsbeginn so befestigt, daß die Sonde unter Berücksichtigung der Seildehnung den Siloboden nicht berühren konnte. Bei dem bei der Rhenania verwendeten Stahlseil waren die Dehnungen vernachlässigbar und wurden nicht gemessen. Es ist anzunehmen, daß die hier auftretenden Bergungskräfte von gleicher Größenordnung waren.

2.8 Versuchsaufbau und -ablauf am Siloversuchsstand der TU Braunschweig

Die hierbei verwendete Silozelle ist in Bild 2.3.7 dargestellt. Sie besteht aus 12 zylinderförmigen Stahlrohrabschnitten, in denen jeweils die gesamte vom Silogut übertragene Wandschubkraft und die gesamte Ringzugkraft gemessen werden können. Auch hierbei wurden Sondenneigung und Oberflächenabsenkung laufend gemessen. Das Bergungsseil bestand aus einem 5-mm-Stahlseil, die Schutzrohrkonstruktion aus einem PE-Rohr. Der Versuchsablauf war im Prinzip der gleiche, wie in Abschnitt 2.7 beschrieben.

2.9 Reibungsmeßgerät

Das Reibungsmeßgerät ist in Bild 2.9 dargestellt. Hiermit sollte erkundet werden, ob zwischen Silogütern und Silowänden wesentliche Unterschiede zwischen dem Reibungsbeiwert bei Ruhe und dem bei Bewegung auftreten. Der Verschiebekörper besteht aus einem Blechkasten mit einem eingeklemmten Brett. Er wird mit Silogut gefüllt. Der Blechkasten berührt die Gleitunterlage nicht. Es können verschiedene Auflasten verwendet werden. Dieser mit Silogut gefüllte Gleitkörper wird mit ver-

schiedenen Geschwindigkeiten über die austauschbare Gleitunterlage gezogen. Zur Messung des Reibungswinkels bei Ruhe kann die Seilkraft langsam gesteigert werden, bis Bewegung eintritt. Die Aufwickeltrommel ist mit dem Gleitkörper durch ein Seil verbunden. Das Seil läuft über eine Kraft- und Wegmeßrolle. Die Kraftmeßrolle ist kugelgelagert und die dahintersitzende Kraftmeßfeder relativ steif, so daß die Fehler in Kraft- und Wegaufzeichnung ausreichend klein bleiben. Beide Meßwerte werden einem Zweikanalschreiber zugeführt und dort zeitabhängig aufgezeichnet.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Ergebnisse der Druckmessungen in den Silozellen der Firmen WTAG und Rhenania in Braunschweig

Die Versuchseinrichtung und der Versuchsablauf sind in Abschnitt 2 beschrieben.

Die vor Versuchsbeginn befürchteten Schwierigkeiten in der Bewältigung der Bergungslasten erwiesen sich glücklicherweise als unbegründet. Unerwartet große Schwierigkeiten traten jedoch bei der Meßkabelführung auf. Sie mußte während des Versuchszeitraumes mehrmals verbessert werden. Trotz dieser zusätzlichen großen Anstrengungen war es nicht zu vermeiden, daß bei einigen Versuchen ein oder mehrere Meßkabel ausfielen und die Schutzrohrkonstruktion beschädigt wurde. Glücklicherweise geschah dies mit Ausnahme des Versuchs Nr. 2 nur gegen Ende der Messung. Die Schutzrohrkonstruktion in Verbindung mit dem Perlontrogseil (siehe Abschnitt 2) erwies sich zwar als handlicher, war durch die steifen Teleskoprohre aber anfälliger gegen Beschädigungen. Ein weiterer Nachteil des Perlonseils war die große Dehnung. Die Sonde hing sich hierbei relativ früh in das Seil ein, was zu einer vorzeitigen Störung der Meßergebnisse führte. Der anschließende, durch die immer größer werdende Seilzugkraft gestörte Bereich machte sich durch starke Oszillationen in der Aufzeichnung bemerkbar; Sonde und Silogut bewegten sich jetzt offensichtlich relativ zueinander.

Eine Versuchsübersicht über die Druckmessungen in den Firmen WTAG und Rhenania zeigt Bild 3.1.1. Die Sonde wurde dabei in ca. 7 - 21 m Tiefe unter der Silogutoberfläche eingesetzt. Das Bergungsseil war so befestigt, daß sich die Sonde gegen Ende des Versuches ca. 1 - 3 m über dem Auslauf befand. Nur bei Versuch 1 wurde das Bergungsseil vorsichtshalber etwas kürzer gehalten. Bild 3.1.2 zeigt die theoretischen Vertikal- und Horizontaldrücke nach DIN 1055.

Bild 3.2.1 zeigt die gemessenen Horizontaldrücke und Bild 3.2.2 die gemessenen Vertikaldrücke während der Füllung unter Berücksichtigung des Sondenfremdkörpereffektes und einer evtl. Sondenschräglage. Durch Schreiberausfall bzw. Störung konnte nicht jeder Füllvorgang ausreichend aufgezeichnet werden. Zum Vergleich sind in beiden Bildern die Fülldrücke nach DIN 1055 angegeben. Bild 3.2.3 zeigt das Druckverhältnis $\lambda = p_h/p_v$ während der Füllung.

In den Bildern 3.3.1 bis 3.3.12 sind die gemessenen Entleerungsdrücke zeitabhängig unter Berücksichtigung des Sondenfremdkörpereffektes und einer evtl. Sondenschräglage dargestellt. Bei einigen Versuchen wurde der obere und untere Druck getrennt, bei einigen als Mittelwert aufgezeichnet. Weiterhin sind die gemessene Oberflächenabsenkung und das Verhältnis $\lambda = p_h/p_v$ aufgetragen. Die Sondenschiefstellung wurde nur teilweise kontrolliert. Es zeigte sich, daß die Sonde ihre Einbaulage weitestgehend beibehält.

In diesen Darstellungen gibt es im allgemeinen zwei markante Punkte. Der eine Punkt gibt die volle Einhängung der Sonde ins Bergungsseil an. Er ist dadurch gekennzeichnet, daß der obere Vertikaldruck sehr stark ansteigt und der untere Vertikaldruck nahezu auf Null abfällt bzw. der Mittelwert aus beiden mäßig ansteigt. Das Silogut fließt ab dieser Stelle an der Sonde entlang, während es sich vorher nicht oder nur wenig relativ zur Sonde bewegte. Vermutlich durch diese Relativbewegung beginnt nun die Meßwertaufzeichnung stark zu oszillieren. Dieser Punkt wurde in den Bildern 3.3.1 bis 3.3.12 mit B bezeichnet. Ab dieser Stelle ist deshalb mit keiner repräsentativen Druckaufzeichnung mehr zu rechnen.

Der zweite Punkt, der allerdings nur bei wenigen Versuchen deutlich auftrat, ist durch einen Vertikaldruckabfall und einen Horizontaldruckanstieg gekennzeichnet. Er wurde in den Bildern 3.3.1 bis 3.3.12 mit A_1 bzw. A_2 bezeichnet und an die Stelle $\lambda = p_h/p_v = 1$ bzw. 2 gesetzt. Dieser große Horizontaldruckanstieg ist im allgemeinen ein Zeichen für den Übergang

des Massenflusses im oberen Bereich der Zelle zum trichterförmigen Schlotfluß im unteren Teil der Zelle. Es ist nicht auszuschließen, daß sich dieser, meist sehr steile natürliche Trichter im Silogut während der Entleerung ändert, die Übergangsstelle zwischen Massen- und Schlotfluß sich also höhenmäßig verschiebt. Dies könnte bedeuten, daß die Horizontaldruckerhöhung während einer Entleerung mehrmals von der Sonde aufgezeichnet wird.

In den Bildern 3.4.1 bis 3.4.12 sind die Horizontal- und Vertikaldrücke in Abhängigkeit der vermuteten Sondentiefenlage aufgetragen. Während des Massenflusses im oberen Bereich der Zelle kann angenommen werden, daß Silogutoberfläche und Sonde annähernd mit der gleichen Geschwindigkeit absinken. Die Sondenlage wurde zunächst aus der Oberflächenabsenkung rekonstruiert. Mit beginnendem Schlotfluß sinkt die im Schlot befindliche Sonde jedoch schneller ab als die Oberfläche. Hier ist keine genaue Rekonstruktion der Sondentiefenlage mehr möglich. Gegen Ende des Versuches kann die Sondenlage jedoch wieder an Hand der Bergungsseillänge unter Berücksichtigung der Seildehnung ermittelt werden.

In den Bildern 3.5.1 bis 3.5.3 sind die Werte $\lambda = p_h/p_v$ in Abhängigkeit der Sondentiefenlage dargestellt. Alle auf jeweils einem Bild dargestellten Versuchsergebnisse gelten für dieselbe Zelle.

In den Bildern 3.6.1 bis 3.6.6 sind die Verhältniszahlen aus gemessenem Druck zum Druck nach DIN 1055 (Blatt 1, Ausgabe 1977 und Blatt 6, Ausgabe 1965) angegeben. Auch hierbei sind alle Versuchsergebnisse aus derselben Zelle jeweils in einem Bild angegeben.

Die Tabelle 3.7.1 zeigt die Fülldrücke bei Füllende sowie Mittel- und Maximalwerte bei Entleerung in den zeitlichen Bereichen "Entleerungsbeginn bis Punkt A₁ bzw. A₂ bzw. B" (A₁, A₂ und B siehe Bilder 3.3.1 bis 3.3.12).

In der Tabelle 3.7.2 sind die Verhältnisse aus gemessenem Füll- bzw. mittl. und max. Entleerungsdruck zum Druck nach DIN 1055 sowie sich hierbei ergebende Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Die Bilder 3.8.1 und 3.8.2 zeigen die Druckveränderungen bei Entleerungsbeginn. Auffallend ist, daß bei diesen Versuchen keine wesentliche Druckveränderung allein infolge Bewegungsbeginns zu beobachten war. Der Druck fällt bei allen Versuchen für wenige Sekunden ab und erreicht unmittelbar danach ungefähr die vorhergehende Größe.

Bei fast allen Versuchen in der WTAG-Zelle 69, hingegen nie in der Rhenania-Zelle und nur einmal in der WTAG-Zelle 70, wurden während der Entleerung Pulsationserscheinungen im Si-logut beobachtet. In Bild 3.9.1 und 3.9.2 sind die beobachteten Pulsationsbereiche dargestellt. Die Druckschwankungen waren relativ klein und periodisch. Aus den Druckaufzeichnungen mit langer Sonde konnte an Hand der Phasenverschiebung zwischen den Meßwerten des unteren und oberen Druckaufnehmers auf einen Druckwellenverlauf von unten nach oben geschlossen werden. Die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit ließ sich jedoch nur sehr schwer ermitteln. Sie lag zwischen 20 und 100 m/s.

In Bild 3.9.2 ist weiterhin die mittlere Frequenz und die Gesamtordinate der periodischen Druckveränderung sowie der qualitative Verlauf von p_v angegeben.

3.2 Ergebnisse der Reibungsmessungen am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig

Theoretische Untersuchungen [5] ergeben, daß der z. T. bei Entleerungsbeginn beobachtete plötzliche Horizontaldruckanstieg auf unterschiedliche Wandreibungswinkel zwischen Ruhe und Bewegung zurückgeführt werden kann. Die nachfolgend beschriebenen Reibungsmessungen sollen klären, ob überhaupt und in welchem Maß mit diesen Reibungsbeiwertunterschieden zu

rechnen ist. Das Versuchsgerät hierzu ist in Abschnitt 2.9 beschrieben.

In den Bildern 3.10.1 bis 3.10.12 sind die Ergebnisse dieser Versuche dargestellt. Es wurden Versuche mit Mais, Weizen, Gerste, Kunststoffgranulat, Sojabohnen, Sojaschrot und Senfkörnern durchgeführt. Als Gleitunterlagen wurden Glas-, kunststoffbeschichtete Schal-, Buchenholz-, Plexiglas-, Stahl- und Aluminiumplatten verwendet. Die Buchenholzplatte war geschliffen, die Stahl- und Aluminiumplatte naturrauh bzw. durch Silogut Mais geglättet. Bei einem Teil der Versuche wurden die Körner fest auf ein Brett aufgeklebt und zum anderen lose in einen Scherkasten gefüllt (siehe Bild 2.9).

Bei fast allen Versuchen - mit Ausnahme derer auf der Glas- und uneglätteten Aluminiumplatte sowie derer mit nahezu kugeligem Kornform wie Sojabohnen und Senfkörner bei loser Anordnung - konnten Unterschiede zwischen der Haft- und Gleitreibung gemessen werden. Bei kugeligem Kornform war ein deutlicher Rolleffekt zu beobachten, so daß die Reibung hierbei offensichtlich nicht in Erscheinung trat.

Bei den Gleitunterlagen aus Plexiglas, geglättetem Stahl- und Alublech waren die Reibungsbeiwertunterschiede zwischen Ruhe und Bewegung klein.

Größere Unterschiede traten bei den Gleitunterlagen aus Buchenholz und kunststoffbeschichteter Schalplatte einerseits und bei den Silogütern Mais und Sojaschrot andererseits auf. Hierbei betrug das Verhältnis $\mu_{\text{Bewegung}}/\mu_{\text{Ruhe}}$ z. T. 0,7.

Reibungsbeiwerte auf Beton wurden nicht gemessen, da zu erwarten war, daß hierbei je nach Betonoberfläche sehr unterschiedliche Ergebnisse auftraten und - wie in Abschnitt 2.7 beschrieben - die Betonoberfläche nicht nur von Silozelle zu Silozelle, sondern auch innerhalb einer Silozelle sehr stark wechselt.

4. Zusammenfassung

Bei diesen Untersuchungen wurde eine Druckmeßsonde eingesetzt, mit der in bestehenden Silozellen mittlerer Abmessung gleichzeitig Horizontal- und Vertikaldrücke gemessen werden können. Die Sonde erwies sich hierbei als sehr sensibel, so daß schon geringe Druckveränderungen einwandfrei feststellbar sind. Ihre Anwendung sollte derzeit jedoch auf Silozellen mit $\varnothing \leq 6 - 8$ m beschränkt bleiben, da die für die Meßwertübertragung notwendigen Meßkabel bei großen Drücken nur schwer gegen den Siloangriff geschützt werden können. Als weiterer Nachteil erwies sich der vermutlich durch unterschiedliche Einbaudichte relativ weit streuende Sondenfremdkörpereffekt. Der Einsatz der Sonde ist unkompliziert, die Sonde selbst recht robust. Ein im allgemeinen unvermeidliches Anstoßen an Trichter, Wände oder Einbauten schadet in der Regel nicht.

Die hier vorgelegten Versuchsergebnisse zeigen, daß große Horizontaldruckerhöhungen während des Entleerens bei den hier untersuchten Silozellen (3 Stück) nicht unmittelbar bei Entleerungsbeginn - wie zuvor bei einigen Modellversuchen festgestellt [1, 2, 3, 4] -, sondern erst im weiteren Verlauf der Entleerung zeitlich sehr unregelmäßig auftreten. Bei den meisten Versuchen ergab sich nur ein einziger ausgeprägter Anstieg von $\lambda = p_h/p_v$ mit einem großen Horizontaldruck p_h . Der größte Horizontaldruck wurde jedoch in vielen Fällen schon vorher, also oberhalb dieser Stelle erreicht. Nur bei einer der hier untersuchten drei Zellen können - mit Ausnahme eines Versuchs - die größten Horizontaldrücke höhenmäßig auf einen Bereich von etwa $1 - 3 \cdot d$ über der Entleerungsöffnung beschränkt werden. Bei allen anderen Versuchen bzw. Zellen sind sie höhenmäßig über weite Bereiche der Zelle verteilt.

Unmittelbar bei Entleerungsbeginn trat - abgesehen von einem kurzen, vorübergehenden Druckabfall - keine nennenswerte Horizontal- oder Vertikaldruckveränderung auf, was mit den theoretischen Ergebnissen nach [5] auf nur geringe Reibungswinkel-

unterschiede von Ruhe und Bewegung zwischen Silogut und Stahlbetonwänden hindeutet. Die hierzu unabhängig durchgeführten Reibungsbeiwertmessungen zeigen jedoch, daß insbesondere bei den Silogut-Wand-Kombinationen Mais und Sojaschrot mit Holz- oder kunststoffbeschichteten Platten größere Horizontaldruck-erhöhungen unmittelbar bei Entleerungsbeginn zu erwarten sind.

Ein Vergleich der gemessenen max. Horizontaldrücke mit den Angaben nach DIN 1055 zeigt, daß die Werte nach DIN 1055 praktisch kaum überschritten werden (i. M. 4 %, max. 34 %). Es ist anzunehmen, daß die hier beobachteten zeitlich kurzen Druck-erhöhungen auch geometrisch auf nur kleine Bereiche begrenzt sind.

Die größten Vertikaldrücke traten im allgemeinen bei der Entleerung auf und übertrafen die Angaben nach DIN 1055 sehr. Ein Vergleich der gemessenen max. Vertikaldrücke mit den Angaben nach DIN 1055 (aus dem Lastfall Füllen) ergibt immerhin noch eine Druckerhöhung von im Mittel 37 %. Nur die Regelung in DIN 1055, nach der - allerdings aus anderen Gründen - die Vertikaldrücke z. T. zu verdoppeln sind, scheint eine ausreichende Sicherheit bei der Bemessung zu liefern, wenn die hier im Silogut gemessenen Werte auf die Böden der Zellen übertragen werden.

Auffallend und bisher ohne Erklärung sind die beobachteten Pulsationserscheinungen, die nur bei einer der drei untersuchten Zellen auch bei verschiedenen Silogütern regelmäßig und deutlich, in einer anderen Zelle nur einmal sehr schwach aufgezeichnet wurden.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Pieper, K. und Wenzel, F.
Druckverhältnisse in Silozellen
Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin - München, 1964
- [2] Perry, M. G. and Jangda, H. A. S.
Pressures in Flowing and Static Sand in Model Bunkers
Powder Technology, 4, 1970/71, S. 89 - 96
- [3] Handley, M. F. and Perry, M. G.
Measurements of Stresses in Flowing Granular Materials
Rheologica Acta, Band 4, Heft 3, 1965, S. 225 - 235
- [4] Handley, M. F. and Perry, M. G.
Stresses in Granular Materials Flowing in Converging
Hopper Sections
Powder Technology 1, 1967/68, S. 245 - 251
- [5] Fröning, H.
Spannungs-Deformationsbeziehungen für Silogüter und Rand-
bedingungen zur numerischen Berechnung der Entleerungsvor-
gänge in Silozellen, Diss. TU Braunschweig 1978, Fortschritt-
berichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 4, Nr. 44
- [6] v. Eisenhart Rothe, M. und Natau, O.
Problematik und Anwendung eines neuen Meßverfahrens
zur Bestimmung der Fließspannung in Schüttgütern
Powder Technology 12, 1975, S. 1 - 6
- [7] Hesse, Th.
Zur Entwicklung eines Meßverfahrens für die Ermittlung der
Spannungsverteilung in Schüttgut-Silos, Diss. TU Braunschweig 1978,
Fortschrittberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 14, Nr. 20
- [8] Leipholz, H.
Einführung in die Elastizitätstheorie
Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1968

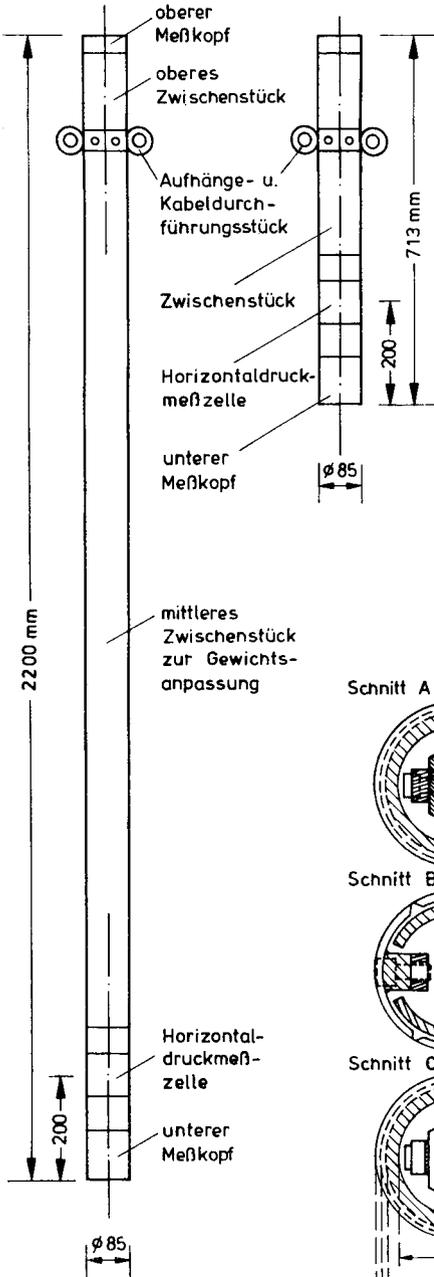
6. Anlagenverzeichnis

- Bild 2.1.1 Druckmeßsonde
- 2.1.2 Meßwertaufnehmer mit Schaltschema der Dehnungsmeßstreifen
 - 2.1.3 Photographische Aufnahme der Druckmeßsonde
 - 2.2.1 Versuchsaufbau zur Eichung der Sonde mit Wasserdruck
 - 2.2.2 Eichkurven für die einzelnen Meßeinsätze
 - 2.3.1 Druckverteilung in Sondennähe infolge der Fremdkörpereinflüsse
 - 2.3.2 Rechnerische Druckverhältnisse im Bereich der Meßstellen
 - 2.3.3 Korrekturwerte k_1 zur Berücksichtigung des Sondenfremdkörpereffekts für den Sondenkopf
 - 2.3.4 Korrekturwerte k_r zur Berücksichtigung des Sondenfremdkörpereffekts für die Horizontaldruckmeßstelle
 - 2.3.5 Gemessene und angenäherte Fülldrücke $p_{1, \text{mess}}$ zur Ermittlung der anfänglichen Druckzunahme
 - 2.3.6 Ermittlung der Korrekturwerte k_1 für die Sondenlängsrichtung für $\gamma = 7,8 \text{ kN/m}^3$
 - 2.3.7 Siloversuchszelle am Siloversuchsstand der TU Braunschweig
 - 2.3.8 Von der Sonde und vom Siloversuchsstand aufgezeichnete Horizontaldrücke während der Entleerung
 - 2.4 Angaben zur Berücksichtigung der Sondenneigung
 - 2.5 Blockschaltbild der Meß- und Aufzeichnungsanlage
 - 2.6 Tiefenmeßeinrichtung
 - 2.7.1 Gesamtübersicht der Meßanlage
 - 2.7.2 Innenseite der Silowände im oberen Bereich (WTAG-Zelle 69)
 - 2.7.3 Innenseite der Silowände im mittleren Bereich (WTAG-Zelle 69)
 - 2.7.4 Innenseite der Silowände im unteren Bereich (WTAG-Zelle 69)
 - 2.9 Reibungsmeßgerät

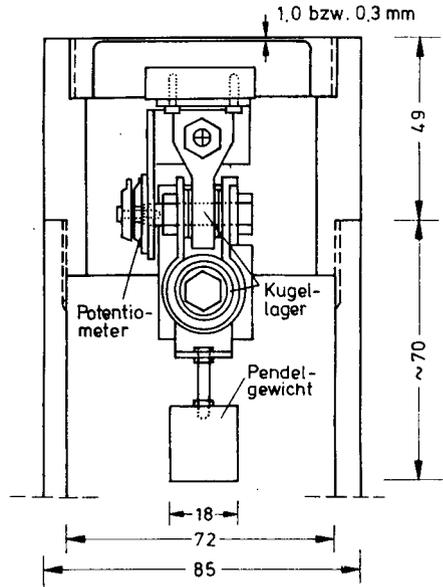
Bild 3.1.1	Einbaulagen der Sonde
3.1.2	Silodrücke nach DIN 1055
3.2.1	Horizontale Fülldrücke
3.2.2	Vertikale Fülldrücke
3.2.3	Druckverhältnis $\lambda = p_h/p_{v,m}$ während der Füllung
3.3.1 - 3.3.12	Druckveränderung bei der Entleerung in Abhängigkeit der Zeit (Versuch Nr. 1 - 13)
3.4.1 - 3.4.12	Druckveränderung bei der Entleerung in Abhängigkeit der Sondentiefenlage (Versuch Nr. 1 - 13)
3.5.1 - 3.5.3	Druckverhältnis λ während der Entleerung in Abhängigkeit der Sondentiefenlage
3.6.1 - 3.6.6	Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken mes p/cal pDIN 1055 während der Entleerung in Abhängigkeit der Sondentiefenlage
3.7.1	Tabell. Zusammenstellung ausgewählter gemessener Füll- und Entleerungsdrücke
3.7.2	Vergleich der gemessenen mit den theoretischen Drücken nach DIN 1055
3.8.1	Druckveränderung bei Entleerungsbeginn für die Horizontalrichtung
3.8.2	Druckveränderung bei Entleerungsbeginn für die Vertikalrichtung
3.9.1	Bereiche der Pulsationserscheinungen
3.9.2	Nähere Angaben zu den Pulsationen
3.10.1 - 3.10.12	Reibungsbeiwerte zwischen Silogut und Wand für Ruhe und Bewegung

7 . A n l a g e n

a. Sonde in langer bzw. kurzer Ausführung



b. oberer Meßkopf mit Neigungsmesser



c. Horizontaldruckmeßstück

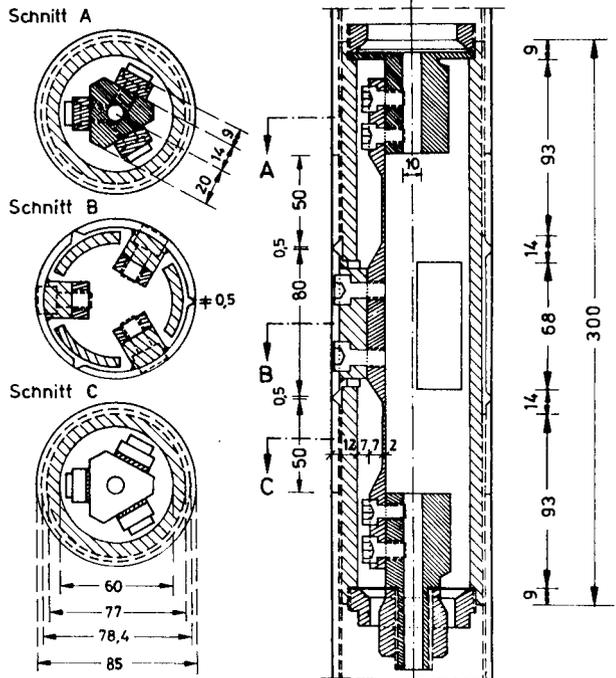
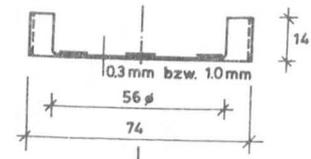
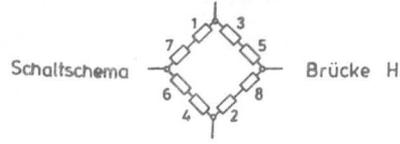
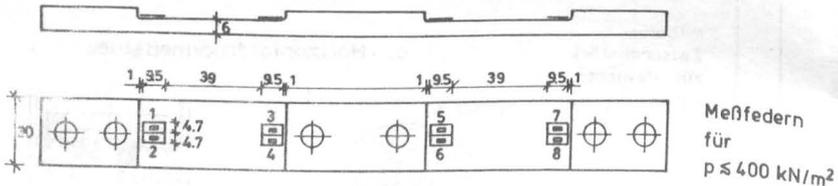
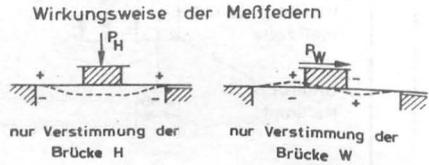
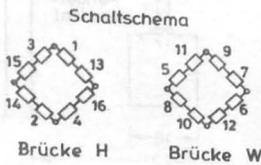
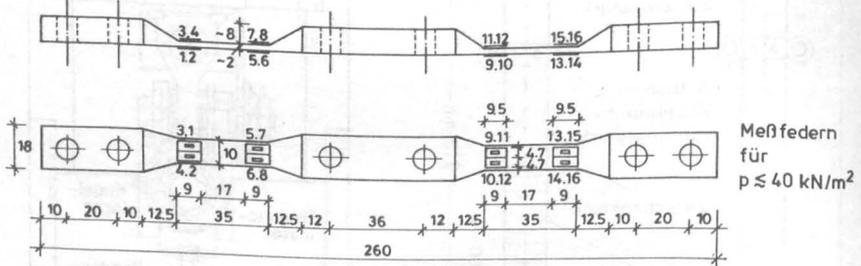
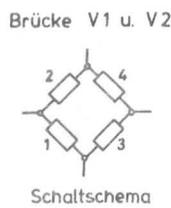
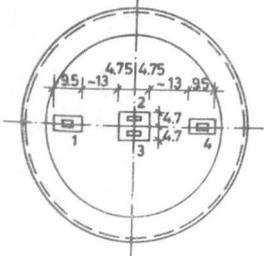


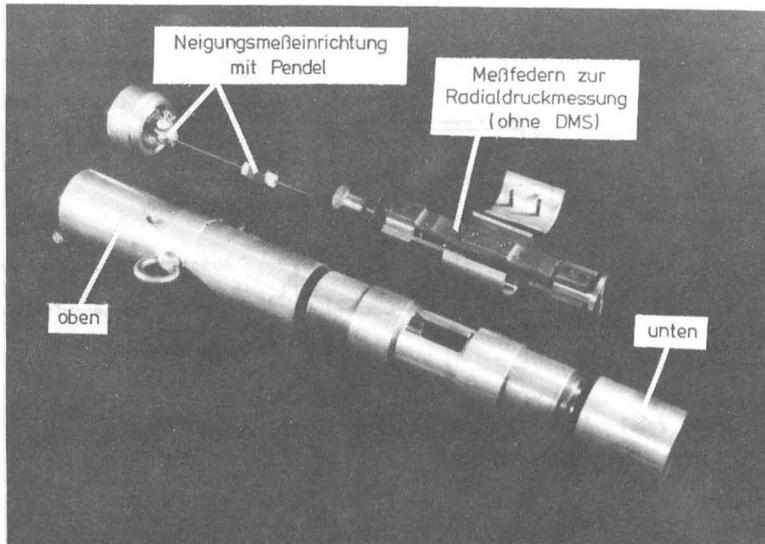
Bild 2.11 Druckmeßsonde

Bild 2.1.2 Meßwertaufnehmer mit Schaltschema der Dehnungsmeßstreifen

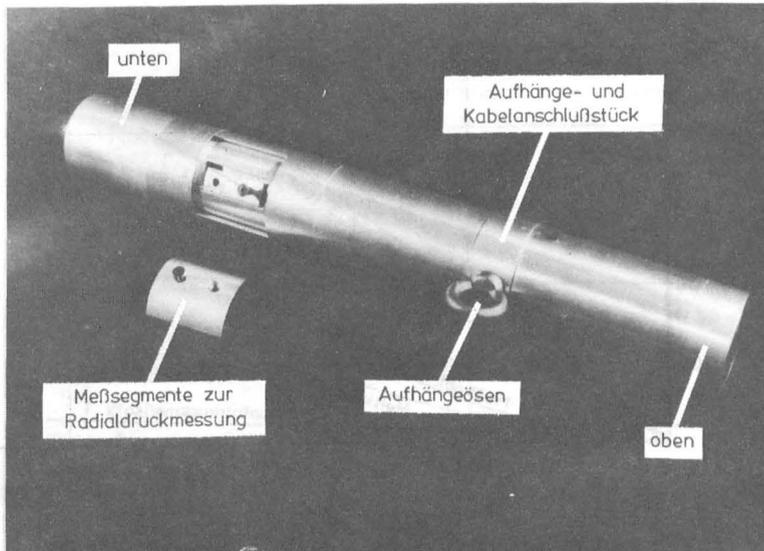


Meßkopfeinsätze für $p \leq 150 \text{ kN/m}^2$ bzw. $p \leq 450 \text{ kN/m}^2$





a. Sonde auseinander genommen, ohne DMS und Verdrahtung



b. Sonde teilweise geschlossen

Bild 2.13 Druckmeßsonde

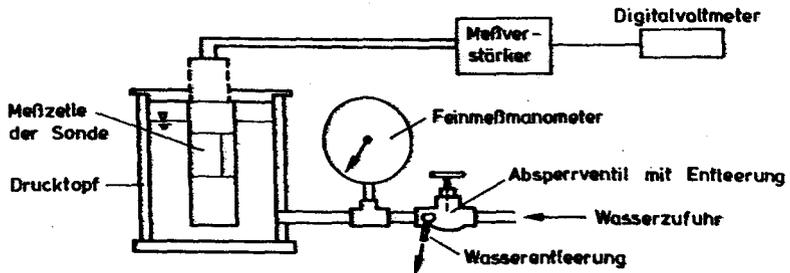


Bild 2.2.1 Versuchsaufbau zur Eichung der Sonde mit Wasserdruck

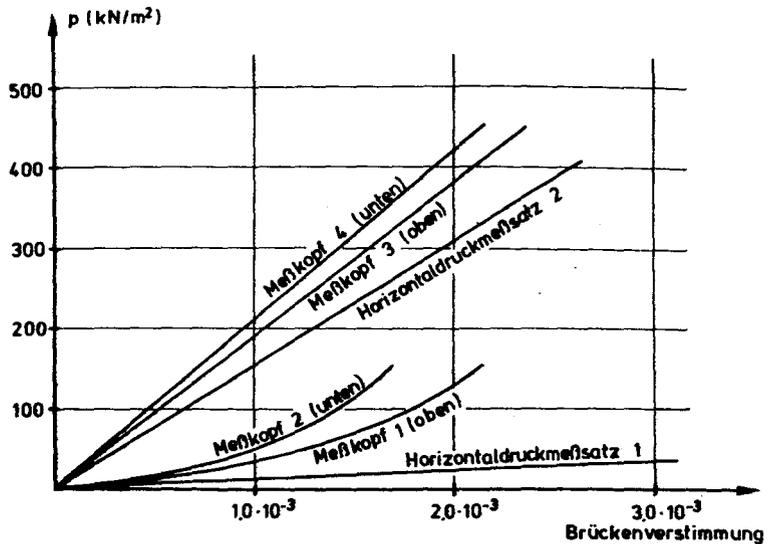


Bild 2.2.2 Eichkurven für die Meßeinsätze

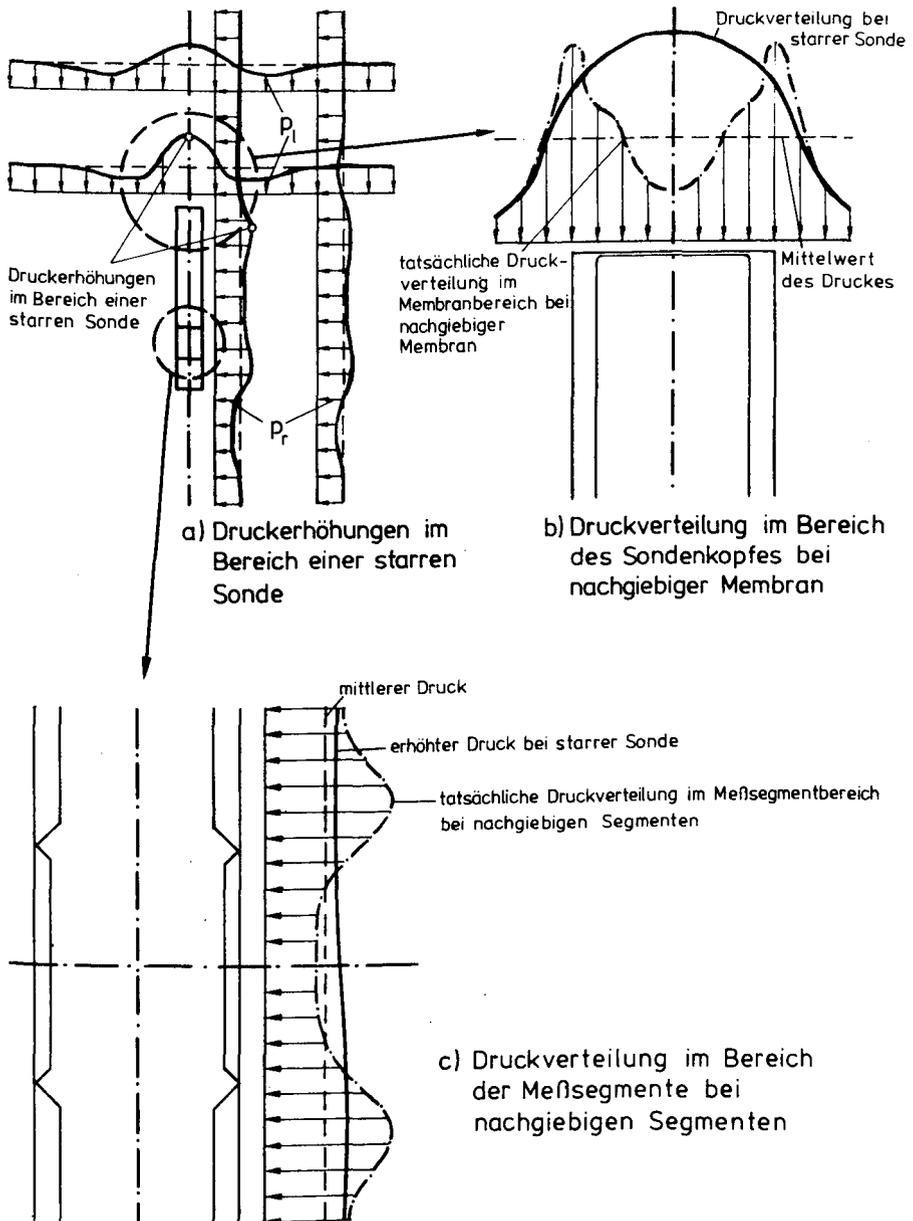


Bild 2.3.1: Druckverteilungen in Sondennähe infolge der Fremdkörpereinflüsse

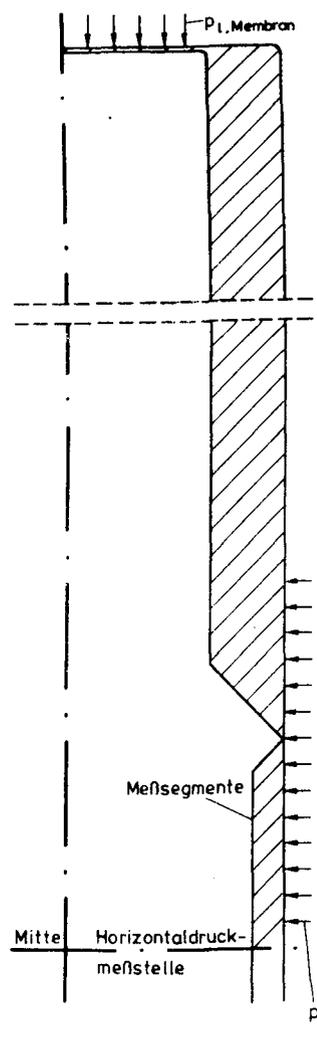
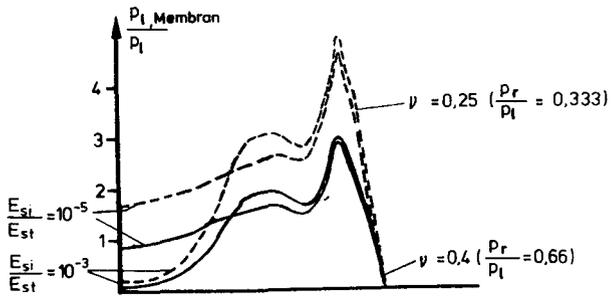
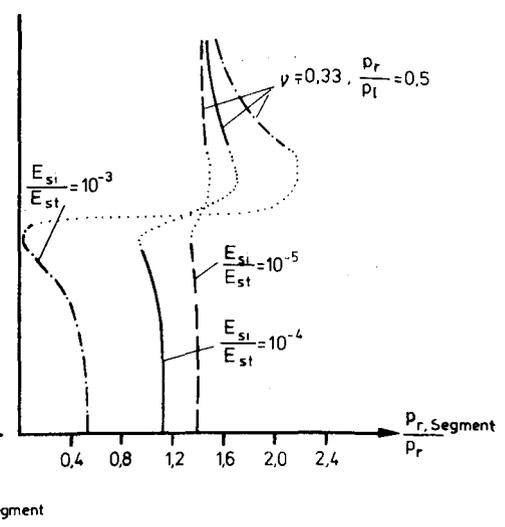


Bild 2.3.2
Rechnerische Druckverhältnisse
im Bereich der Meßstellen



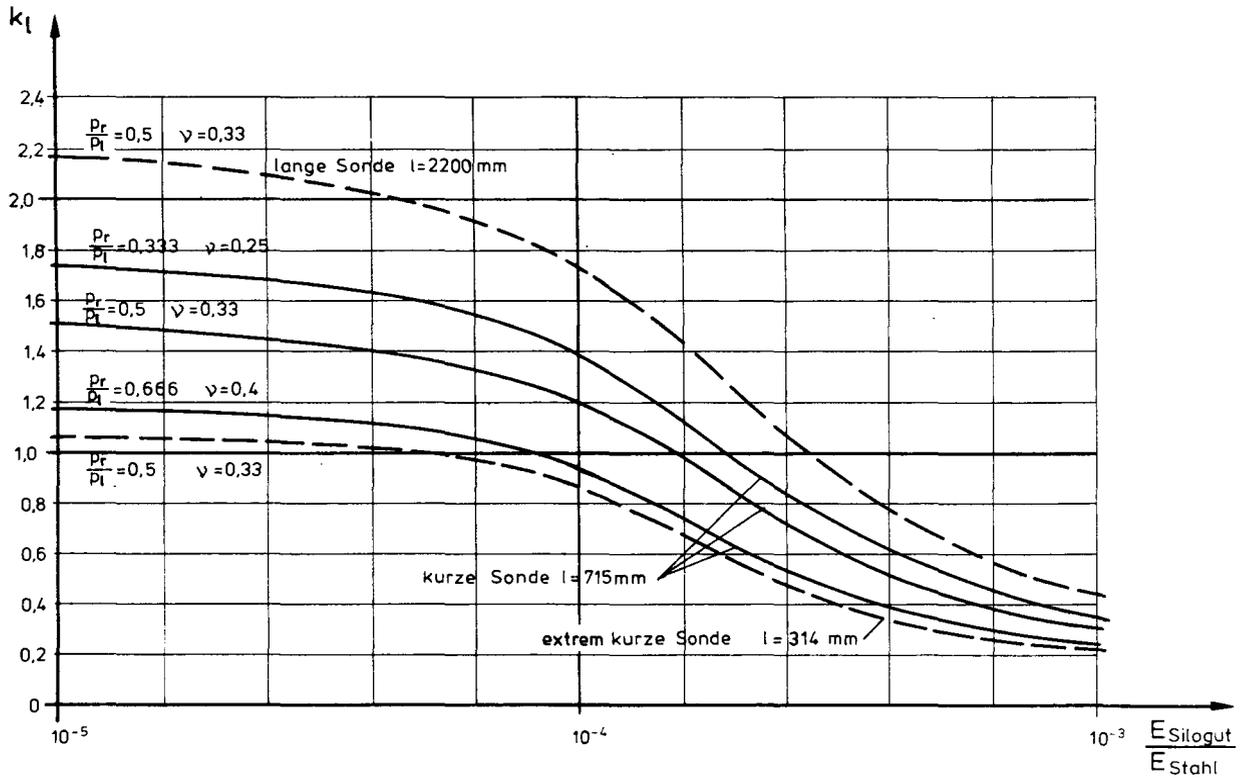


Bild 2.33 : Korrekturwerte k_l zur Berücksichtigung des Sondenfremdkörpereffekts für den Sondenkopf

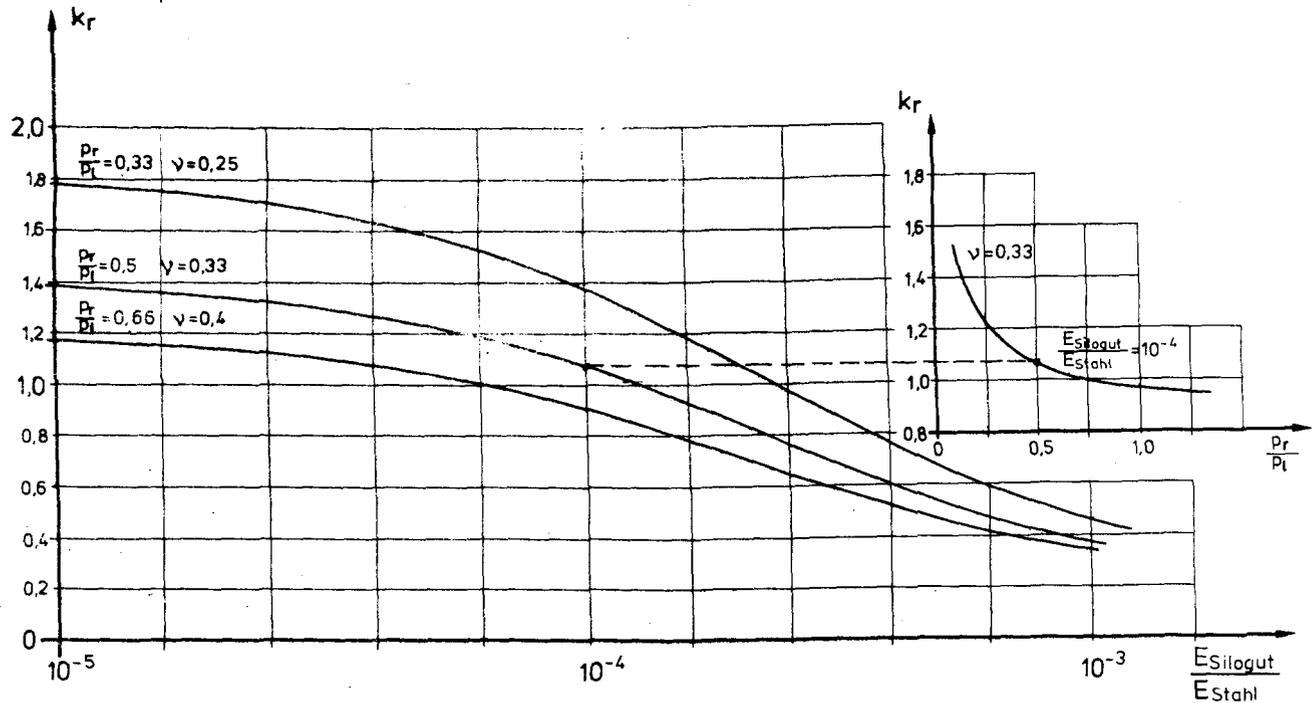


Bild 2.34 : Korrekturwerte k_r zur Berücksichtigung des Sondenfremdkörpereffekts für die Horizontaldruckmeßstelle

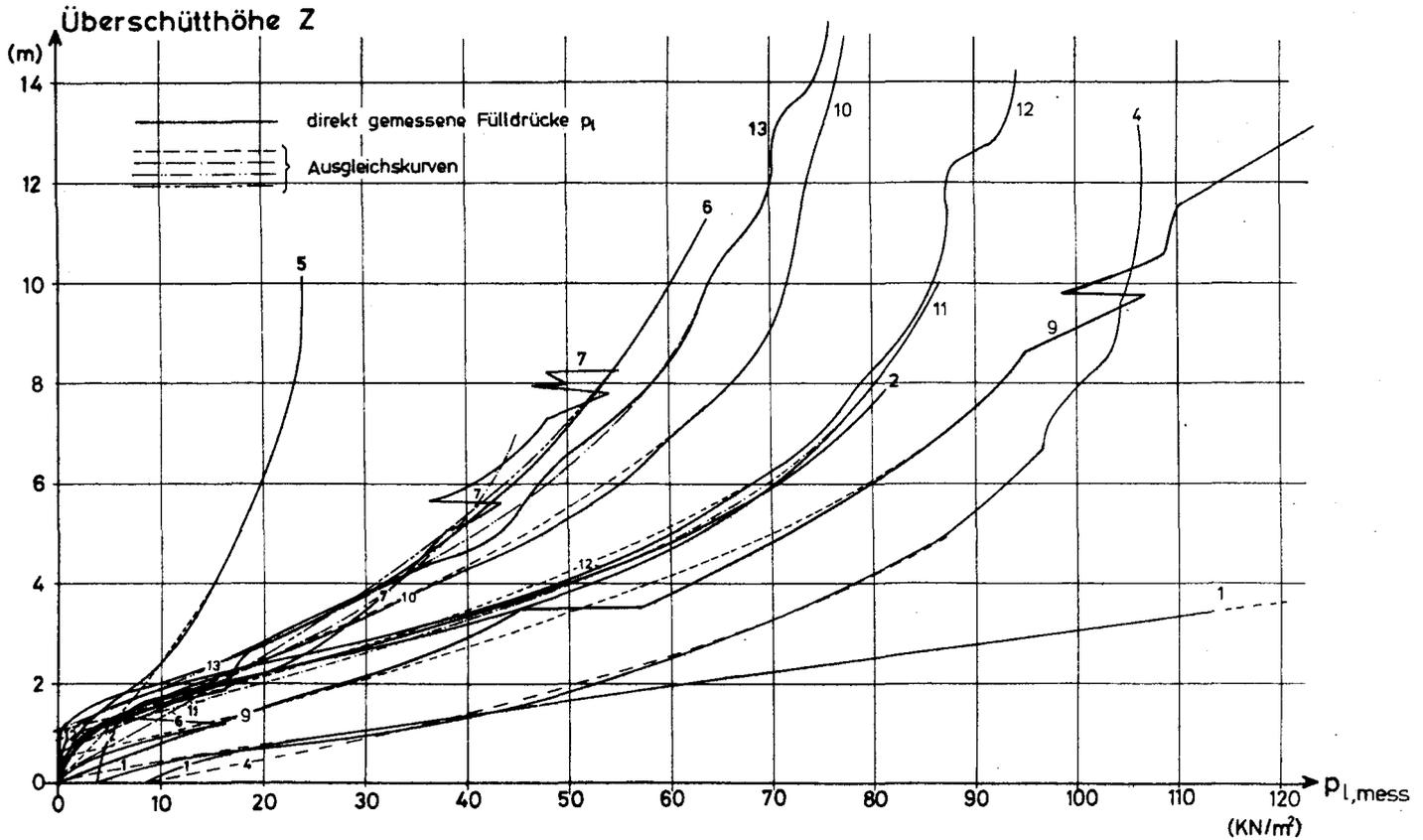


Bild 2.3.5 : Gemessene und angenäherte Fülldrücke $p_{l,mess}$ zur Ermittlung der anfänglichen Druckzunahme

Versuchsnummer	1	2	4	6	7	9	10	11	12	13	alle Versuche		ohne Vers. 4 und 6		
											Mittelwert \bar{x}	Standabw. s	Mittelwert \bar{x}	Standabw. s	
Neigungswinkel α	-0°	-0°	—	—	—	18,2°	22,0°	2,0°	5,0°	14,6°					
$(\frac{dp_{l,mes}}{dz})_{p_l=0}$ in kN/m^3 (s. Bild 2.3.5)	27,94	21,81	25,65	9,10	12,92	20,17	13,53	19,56	19,08	12,82					
$(\frac{dp_{r,mes}}{dz})_{p_r=0}$ in kN/m^3	3,84	1,70	4,60	1,51	7,76	3,73	3,13	3,87	3,75	3,21					
$k_l = (\frac{dp_l}{dz})_{p_l=0} / \gamma$	a*	3,58	2,80	—	—	—	—	—	—	—	3,19	0,55			
	b*	—	—	3,29	1,17	1,66	2,59	1,73	2,51	2,45	1,64	2,13	0,69	2,10	0,46
	c*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,71	0,31			
k_l mit Neigungskorrektur; $k_r=1,3$	—	—	3,29	1,17	1,66	2,76	1,94	2,51	2,46	1,72	2,19	0,69	2,18	0,46	

- Sondenlänge a=2200 mm; b=713 mm;
c=314 mm extrem kurze Sonde, verwendet in früheren Versuchen
bei der Fa. Miag, Braunschweig

Bild 2.3.6: Ermittlung der Korrekturwerte k_l für die Sondenlängsrichtung mit $\gamma=7,8 \text{ kN/m}^3$

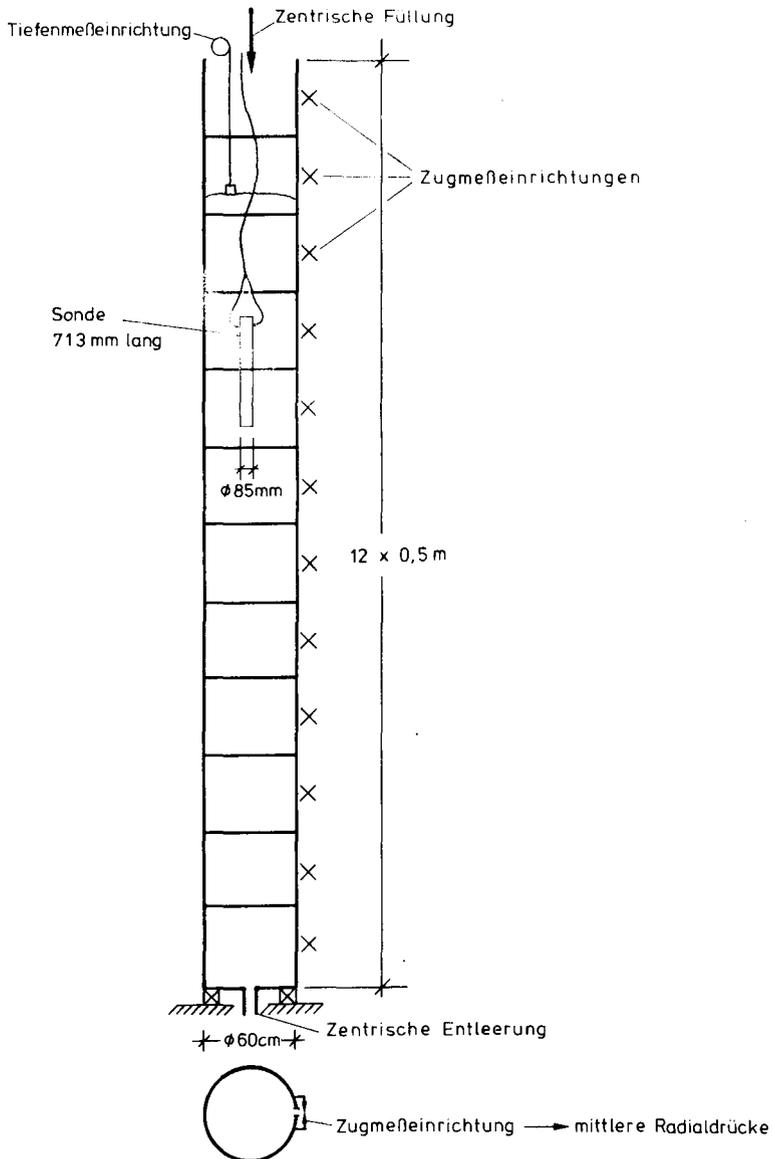
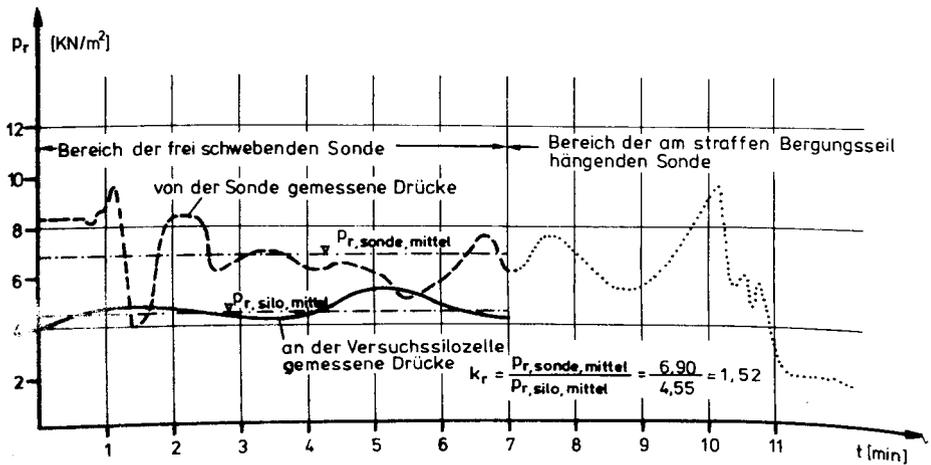
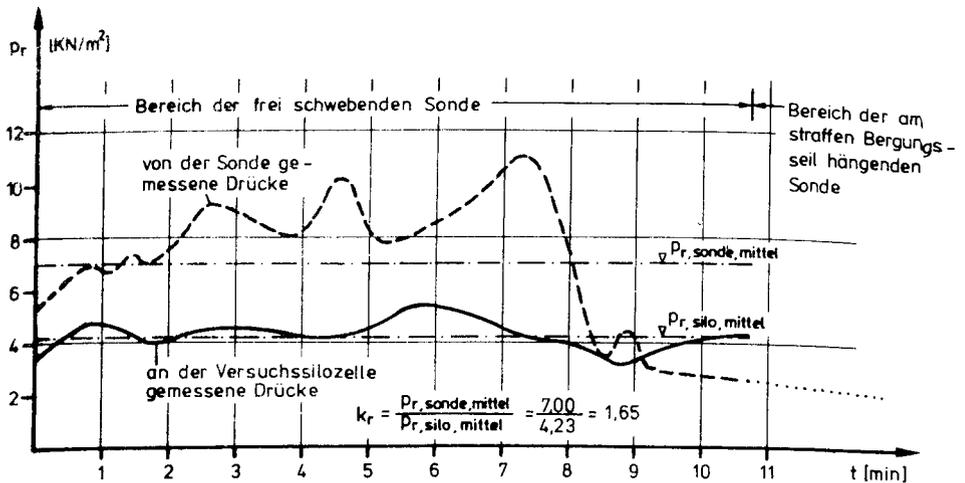


Bild 2.3.7: Siloversuchszelle am Siloversuchsstand der T.U. Braunschweig

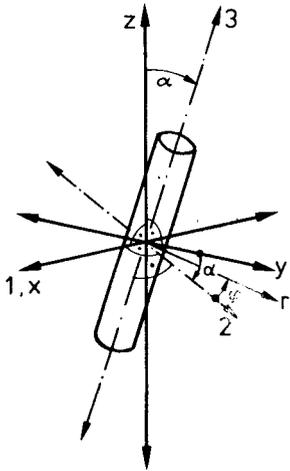


Versuch Nr. 14



Versuch Nr. 15

Bild 2.3.8 : Von der Sonde und vom Siloversuchsstand aufgezeichnete Horizontaldrücke während der Entleerung (Versuchsgut: Mais)



Spannungstransformationsgleichung nach [8]

$$p_{ij} = p_{kl} \cdot n_{ik} \cdot n_{jl}$$

mit den Komponenten der Einheitsvektoren :

$$n_{2x} = n_{3x} = n_{1y} = n_{1z} = n_{3r} = 0$$

$$n_{1x} = 1$$

$$n_{3y} = -n_{2z} = \sin \alpha$$

$$n_{2y} = n_{3z} = \cos \alpha$$

$$n_{1r} = -\sin \varphi$$

$$n_{2r} = \cos \varphi$$

für Silomitte : $p_{xx} = p_{yy} = p_{hm}$
 $p_{ij} = 0$ für $i \neq j$

$$p_{zz} = p_v$$

Nach Transformation der Spannungen in die 3- und r-Richtung ergibt sich bei Benutzung der Größen p_{hm} und p_v :

$$p_l = p_{33} = p_{hm} \cdot \sin^2 \alpha + p_v \cdot \cos^2 \alpha$$

$$p_{rr} = p_{hm} \cdot (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha) + p_v \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi$$

bzw. der mittlere Radialdruck

$$p_{rm} = \frac{\int_0^{2\pi} p_{rr} \cdot d\varphi}{\int_0^{2\pi} d\varphi} = p_{hm} + (p_v - p_{hm}) \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{2}$$

Durch Umstellung des Gleichungssystems erhält man schließlich

$$p_v = p_l + (p_l - p_{rm}) \cdot \frac{2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 - 3 \cdot \sin^2 \alpha}$$

$$p_{hm} = p_{rm} - (p_l - p_{rm}) \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{2 - 3 \sin^2 \alpha}$$

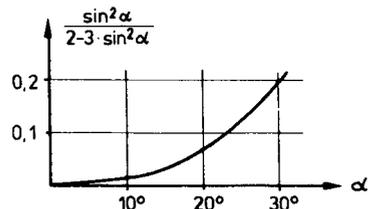
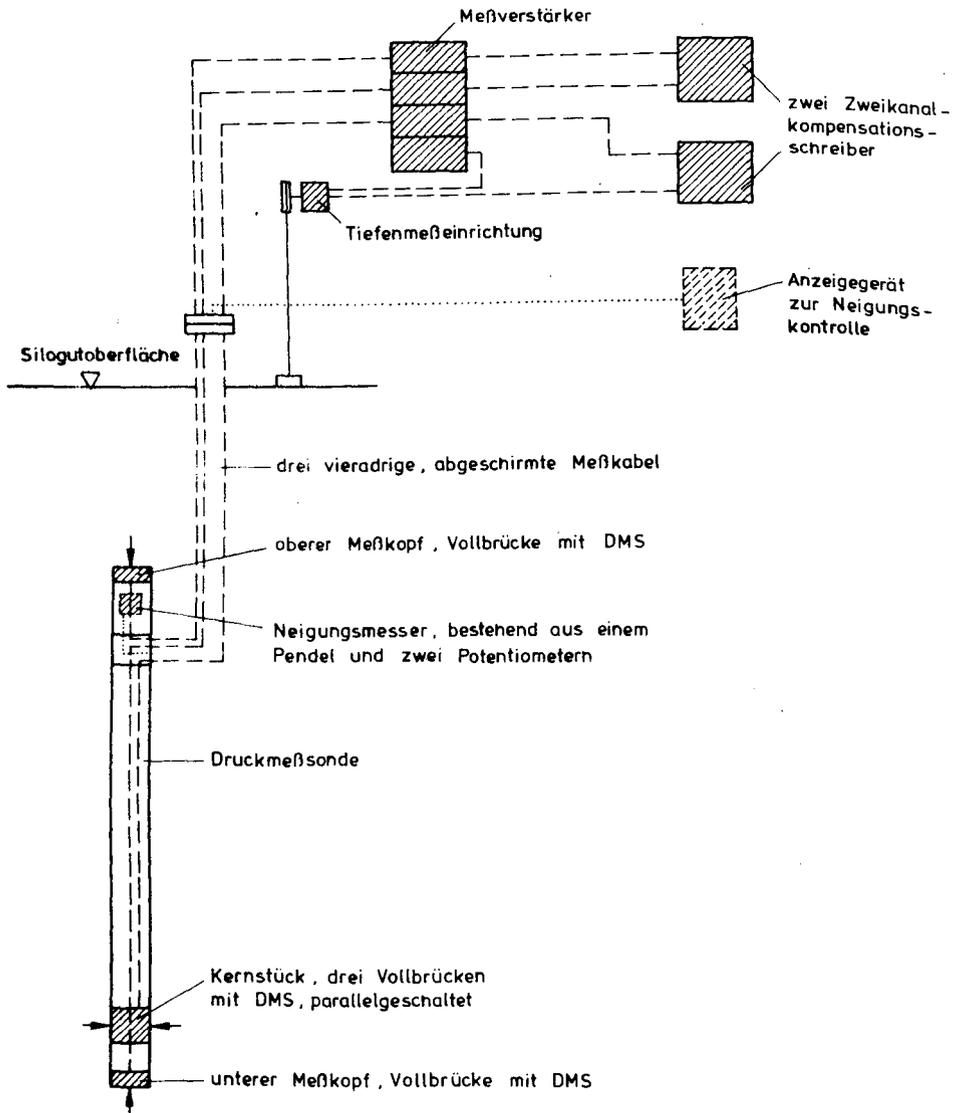
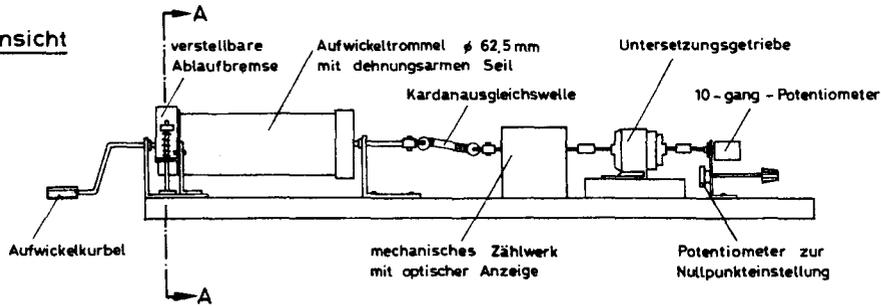


Bild 2.4 : Angaben zur Berücksichtigung der Sondenneigung

Bild 2.5 Blockschaltbild der Meß- und Aufzeichnungsanlage



Ansicht



Elektr. Schaltschema der Tiefenmeßeinrichtung

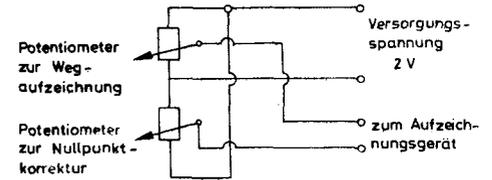
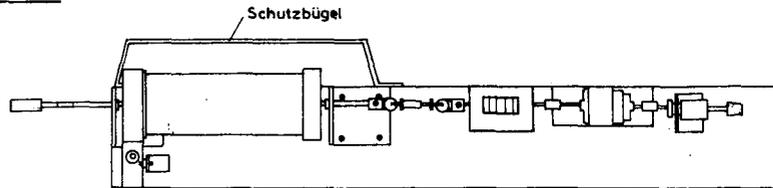
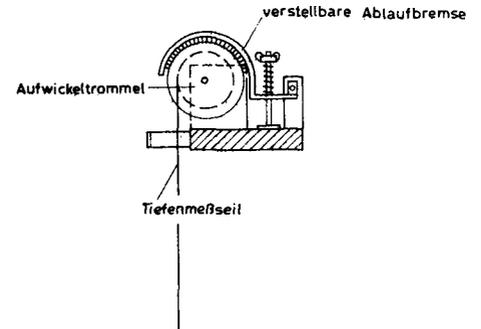


Bild 2.6 Tiefenmeßeinrichtung

Draufsicht



Schnitt A



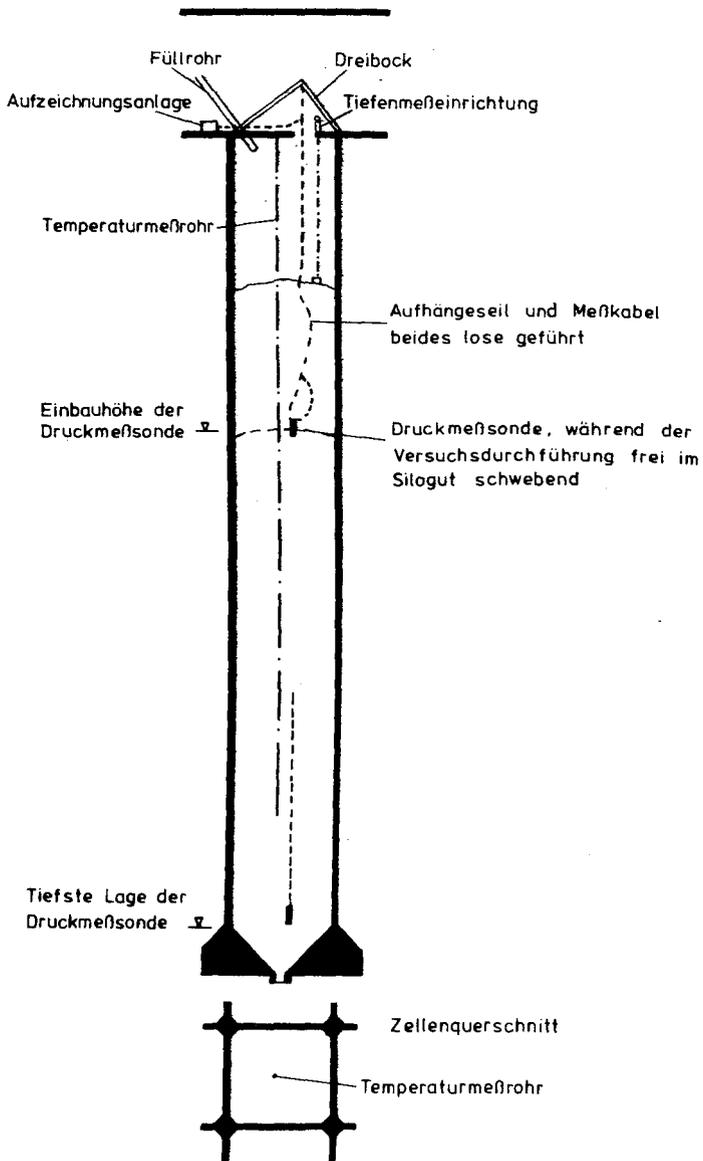
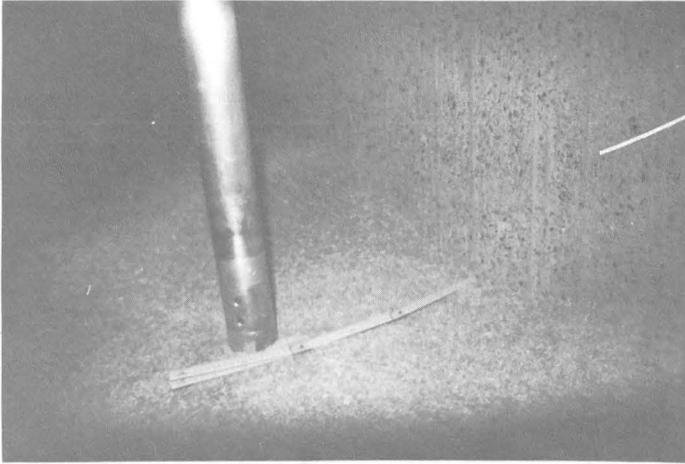
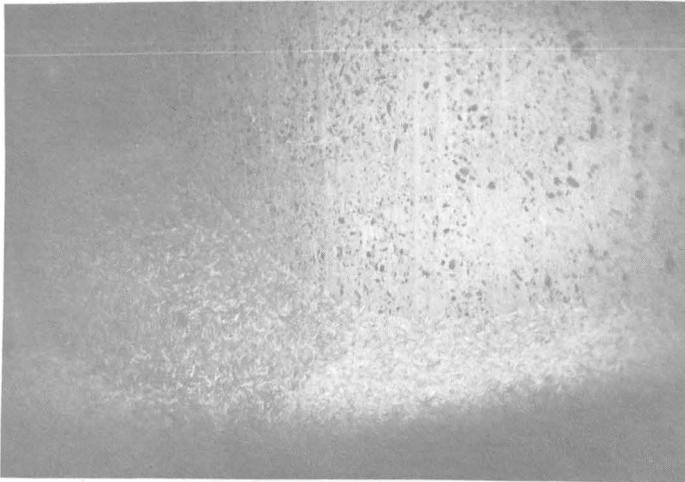


Bild 2.7.1: Gesamtübersicht der Meßanlage bei den Versuchen Nr.1 - 13 (WTAG und Rhenania)



durch Silogut
geglättete
Wand in etwa
10 m Tiefe
unter O.K.
Silodecke

a. Sonde bei Versuch Nr. 2 , teilweise eingeschüttet



b. Wandinnenseite in etwa 10 m Tiefe

Bild 2.7.3 Innenseiten der Silowände
im mittleren Bereich
(WTAG , Zelle 69)

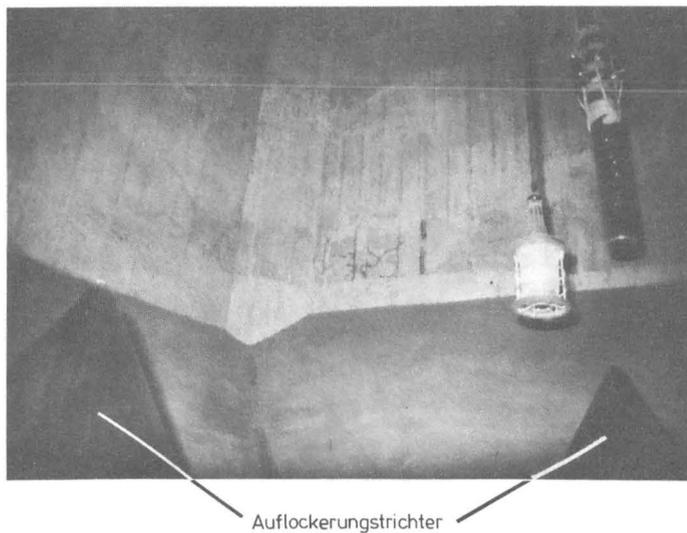
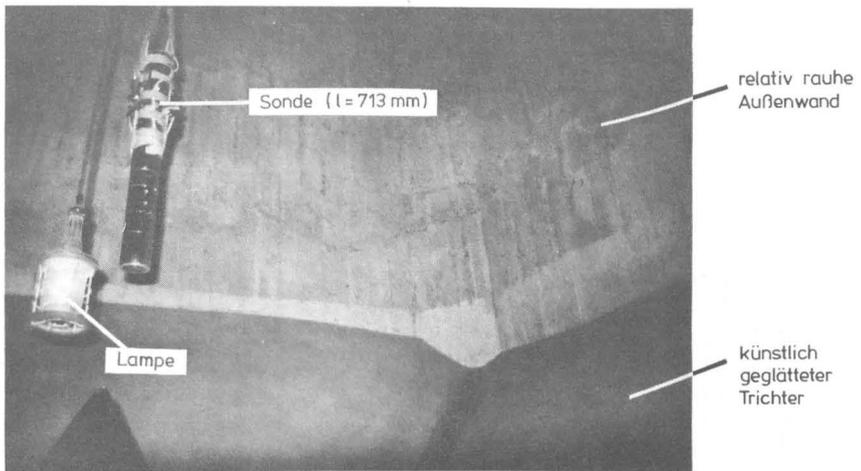


Bild 2.7.4 Innenseiten der Silowände im unteren Bereich der Zelle (WTAG / Zelle 69)

Draufsicht

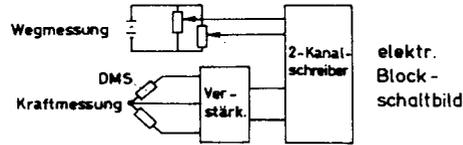
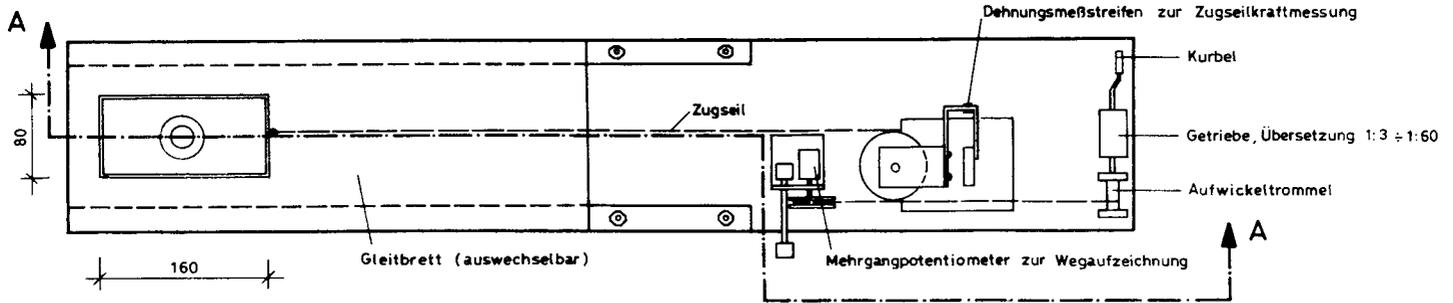
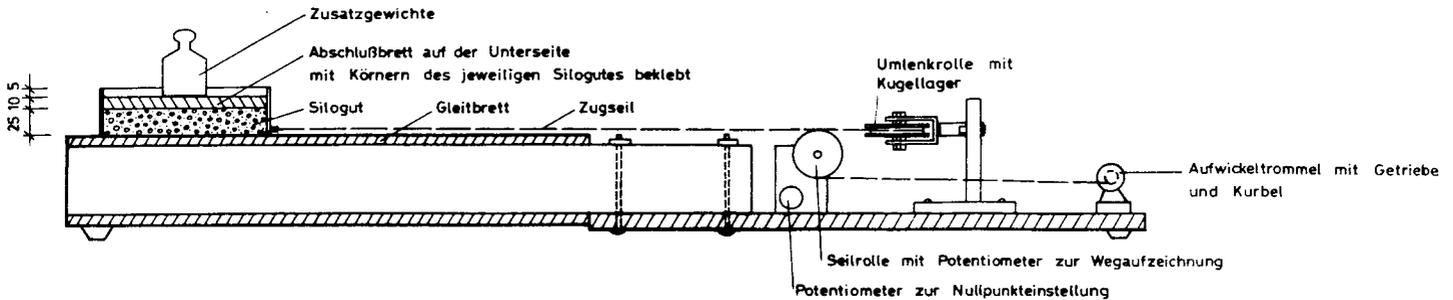
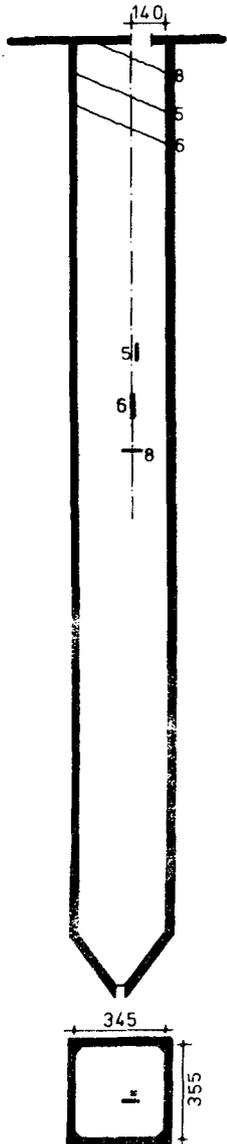


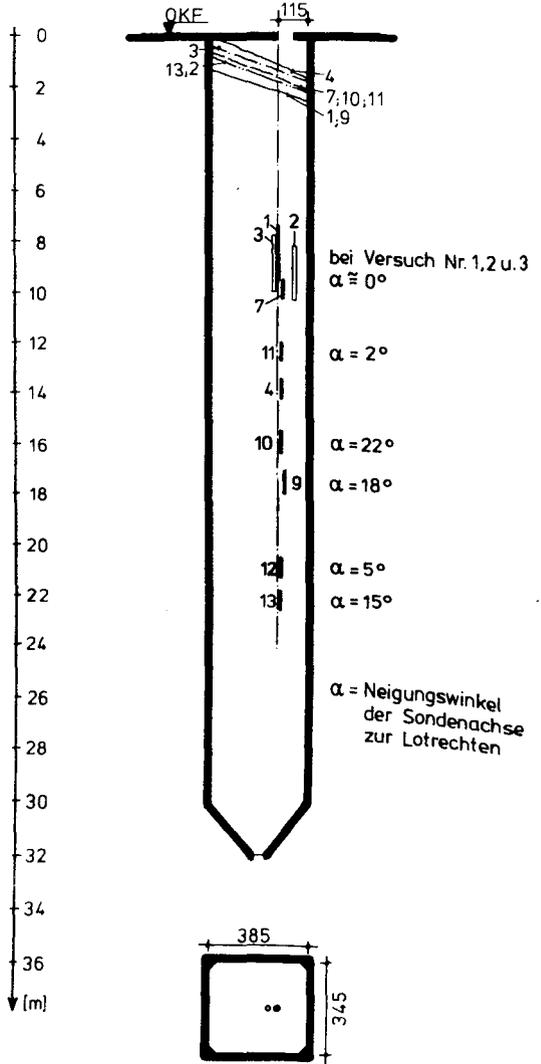
Bild 2.9
Reibungsmeßgerät

Schnitt A





Rhenania - Silo



WTAG - Silo

Bild 3.1.1 : Einbaulagen der Sonde

M 1: 200

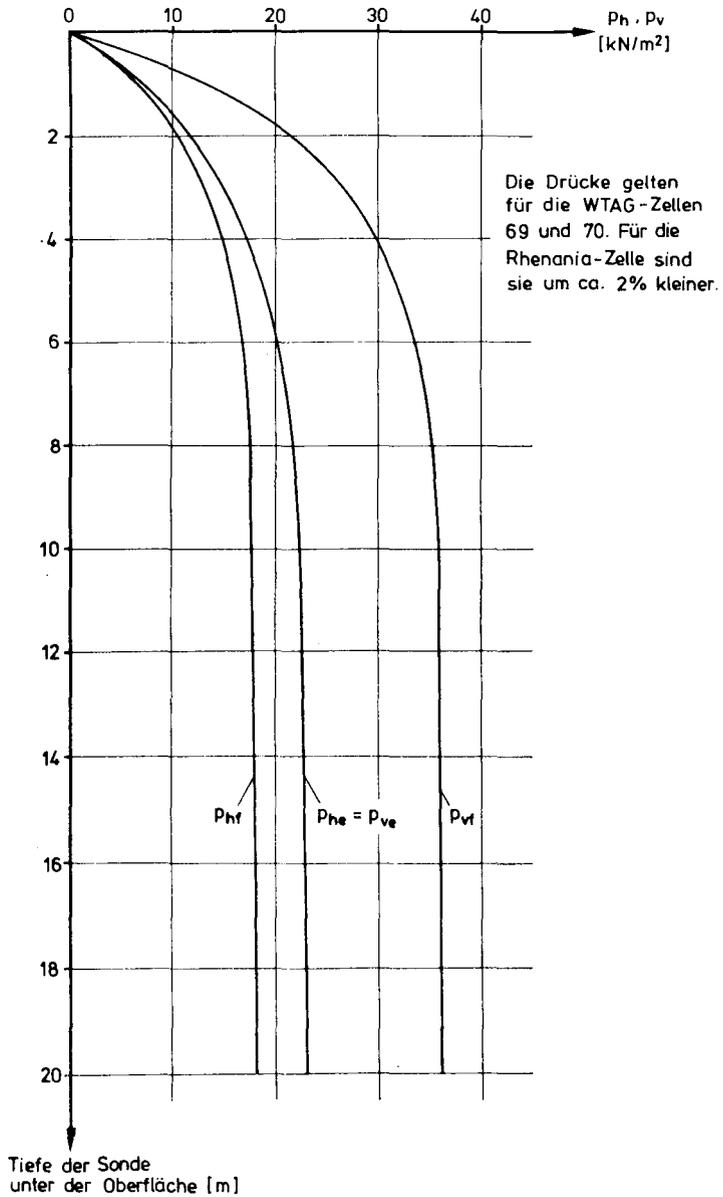


Bild 3.1.2 : Silodrücke nach DIN 1055

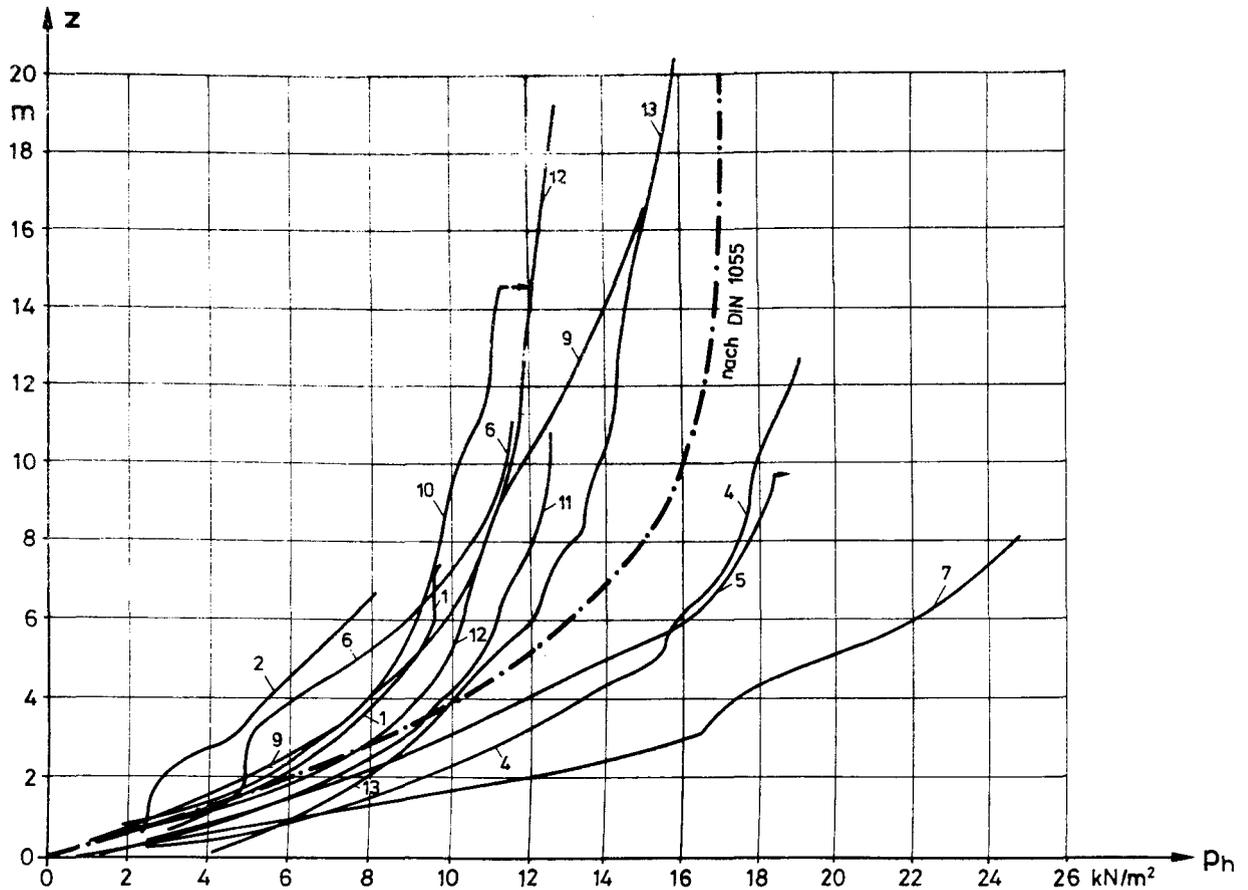


Bild 3.2.1 : Horizontale Fülldrücke p_h

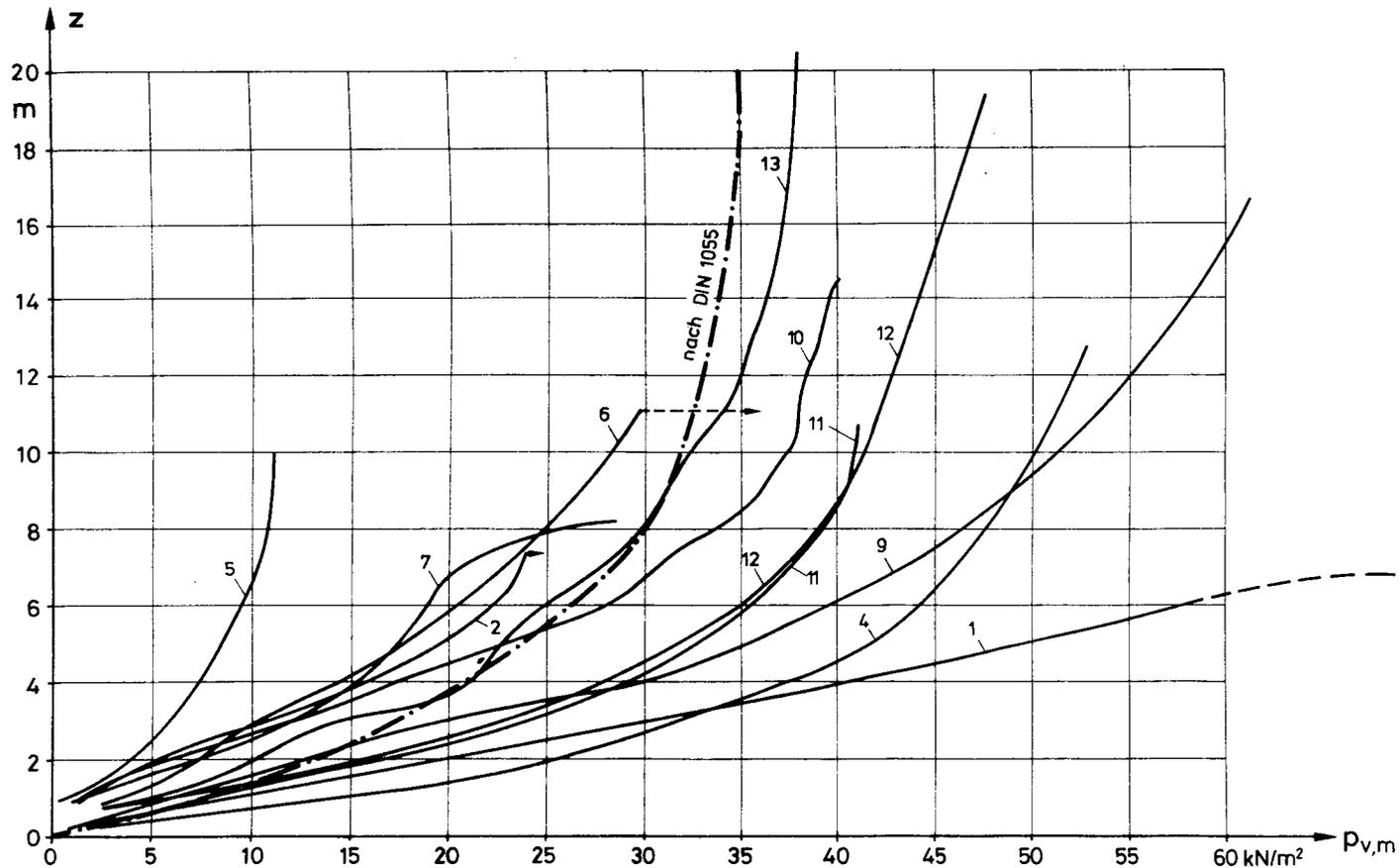


Bild 3.2.2 : Vertikale Fülldrücke $p_{v,m}$

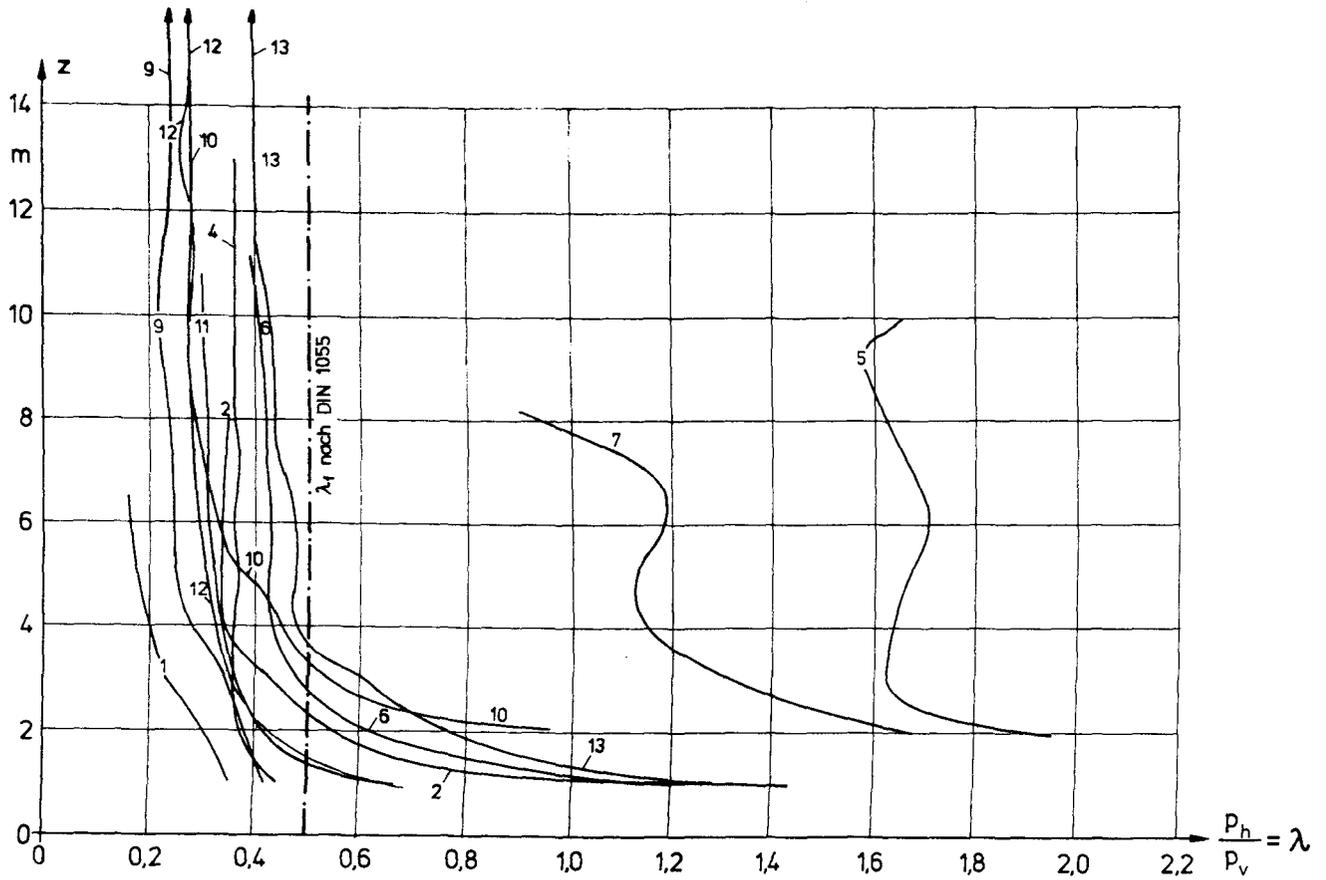


Bild 3.2.3 : Druckverhältnis $\lambda = p_h/p_{v,m}$ während der Füllung

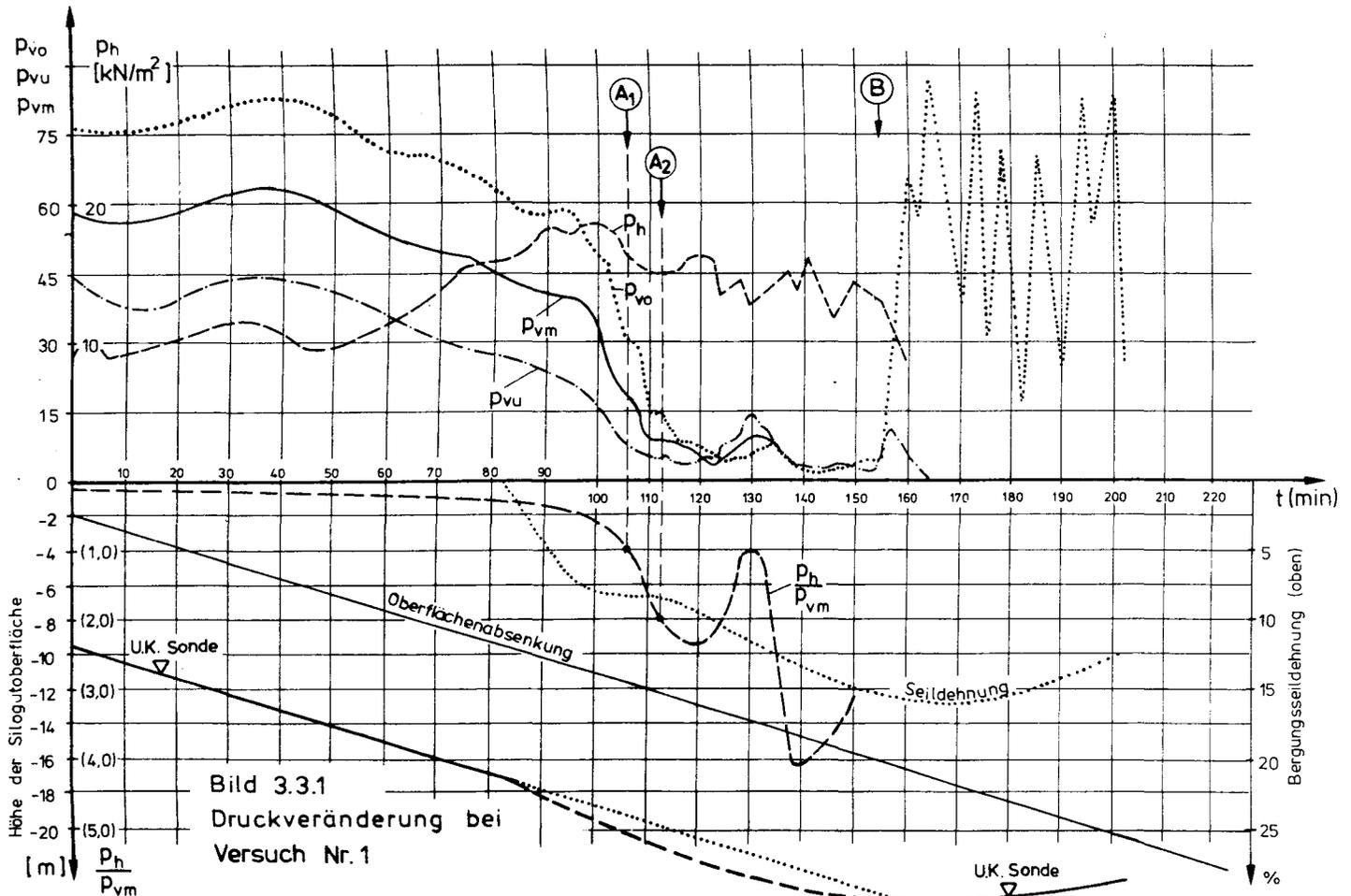
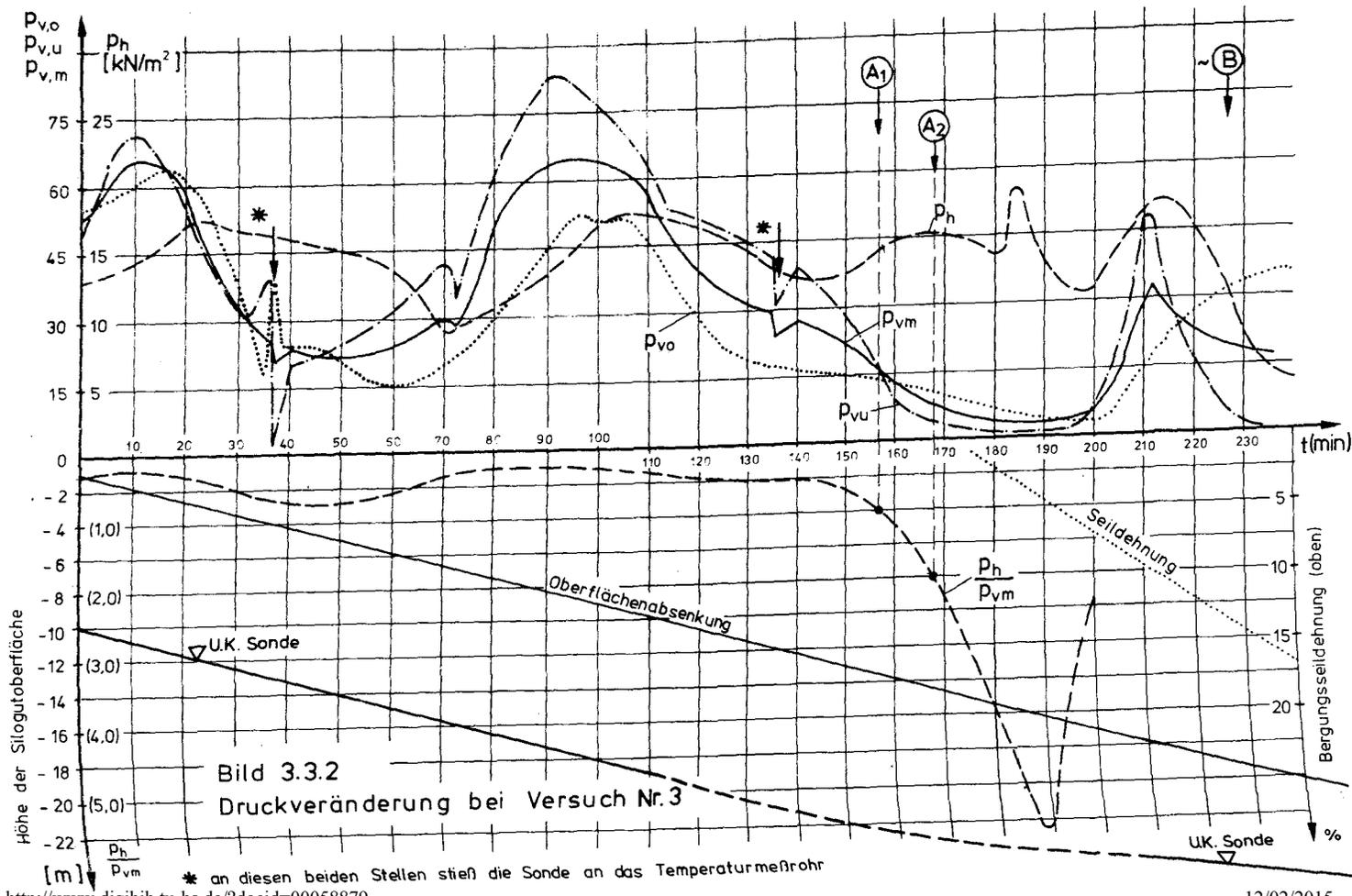


Bild 3.3.1
Druckveränderung bei
Versuch Nr. 1



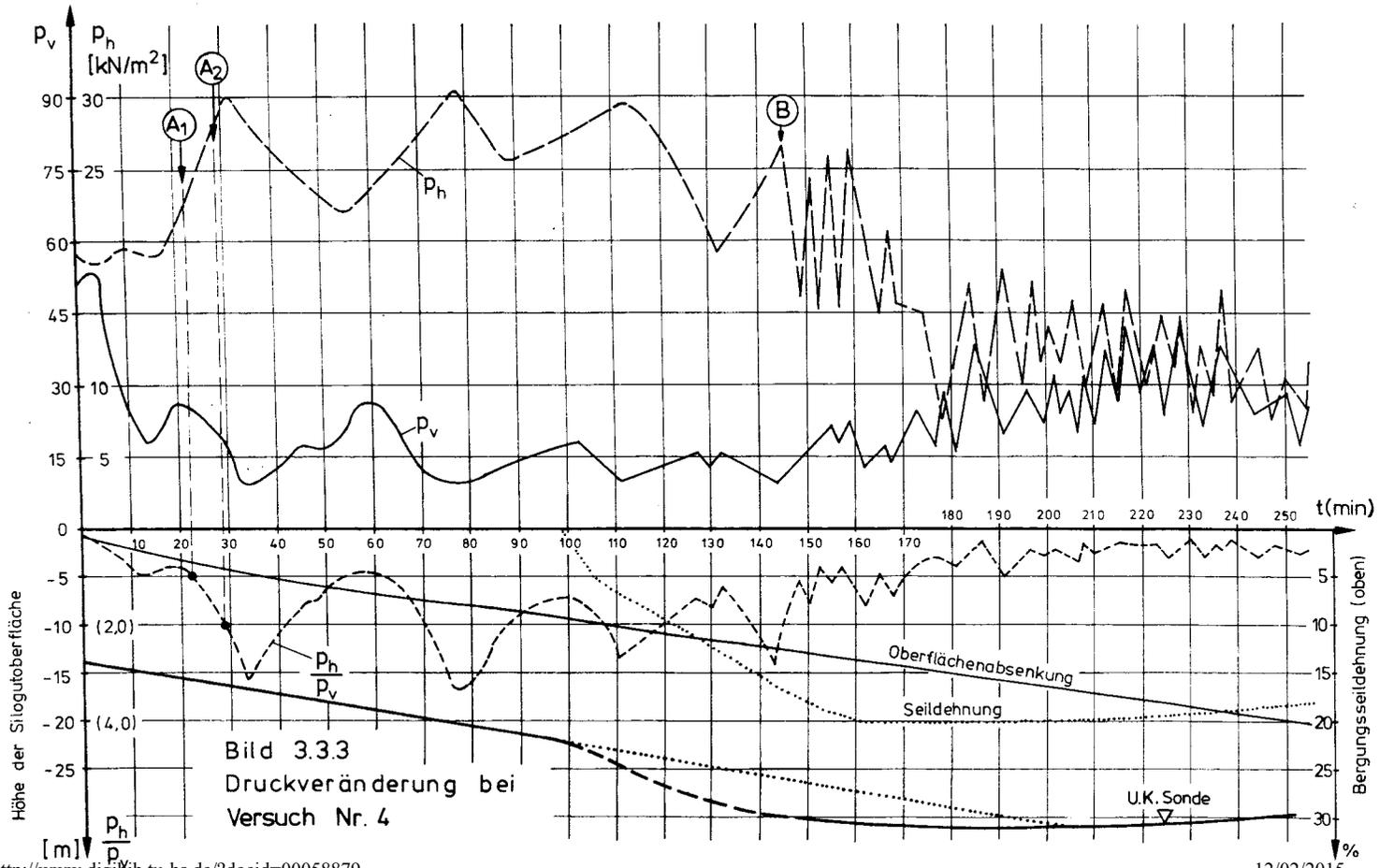


Bild 3.3.3
 Druckveränderung bei
 Versuch Nr. 4

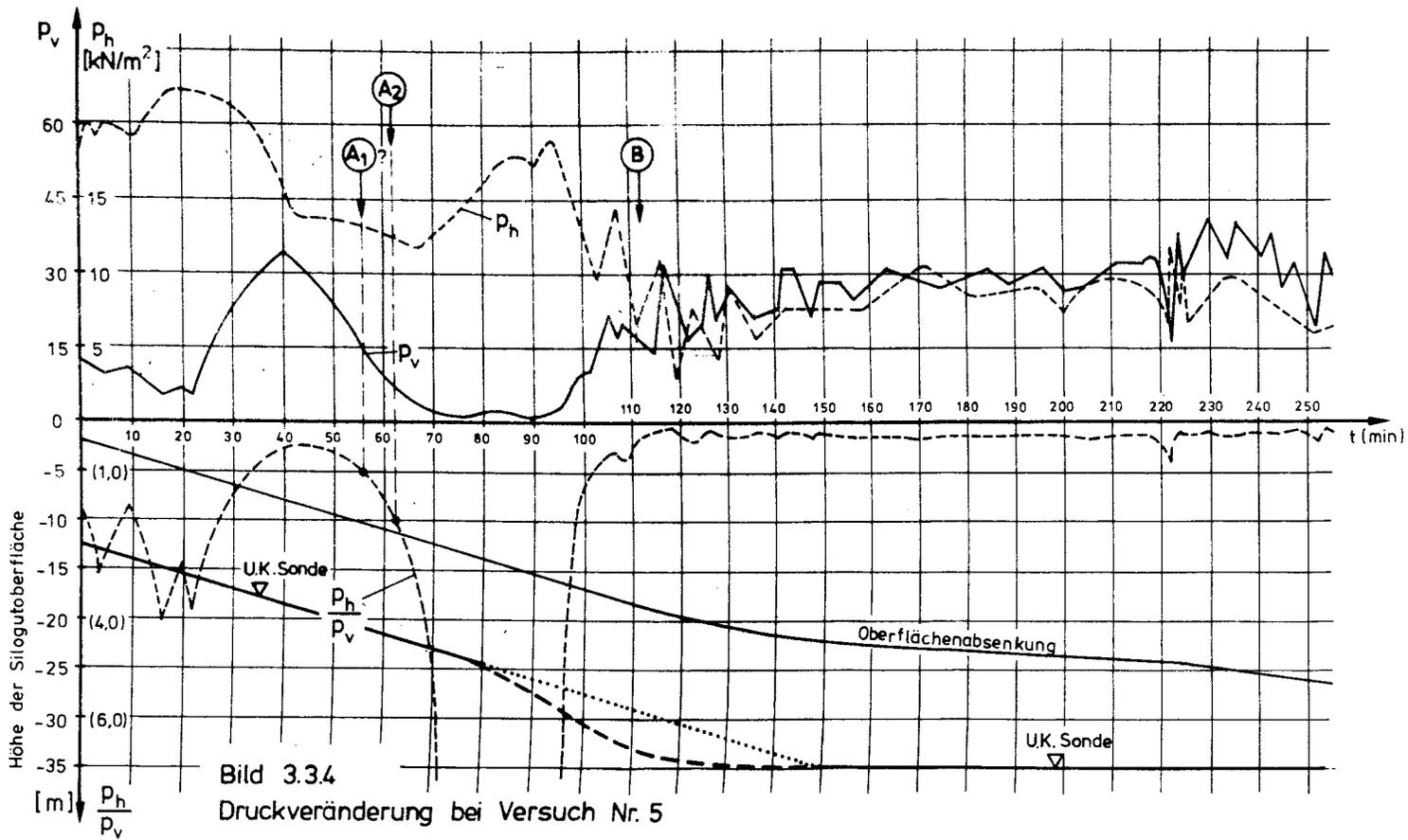


Bild 3.34
Druckveränderung bei Versuch Nr. 5

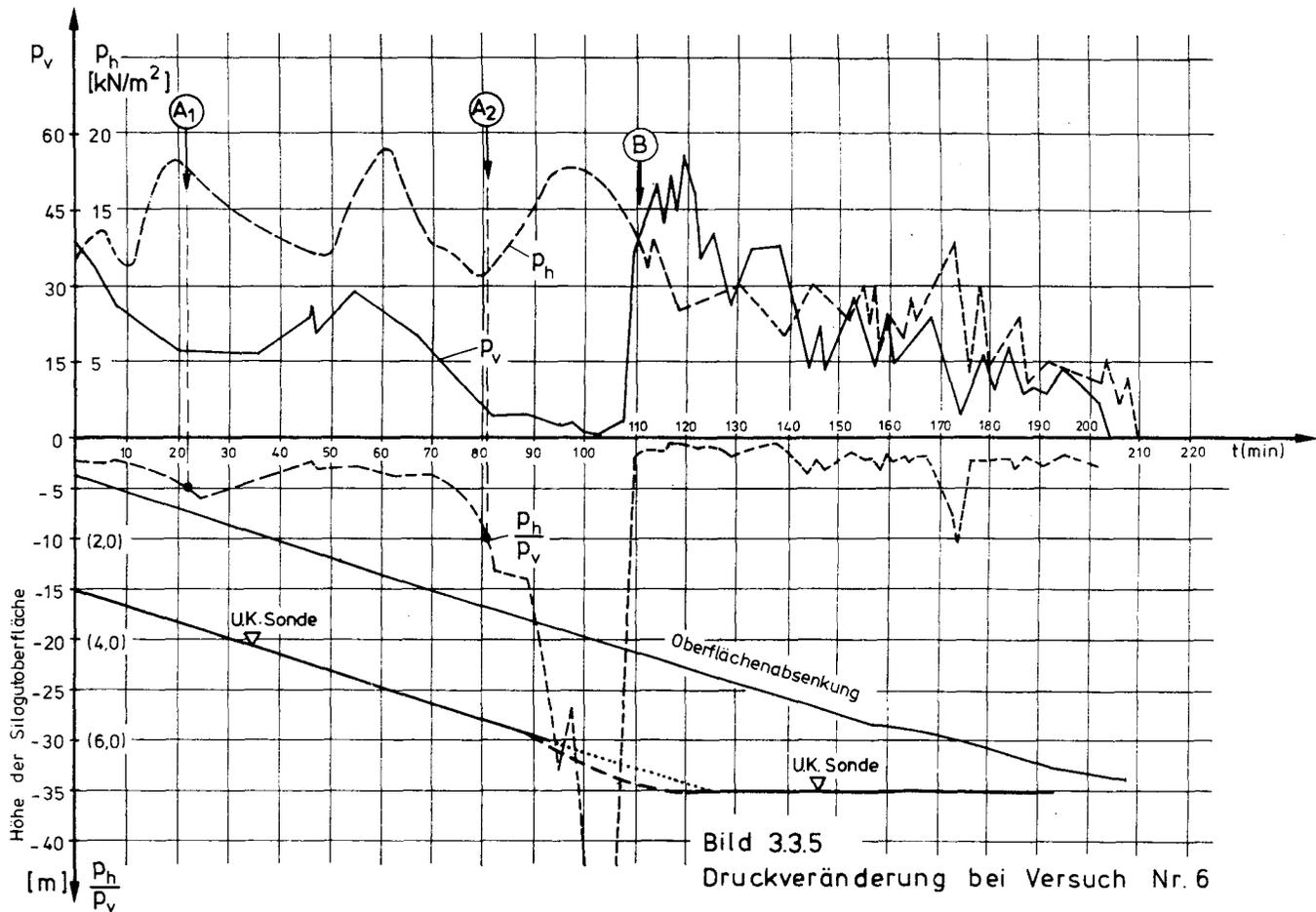


Bild 3.3.5
Druckveränderung bei Versuch Nr. 6

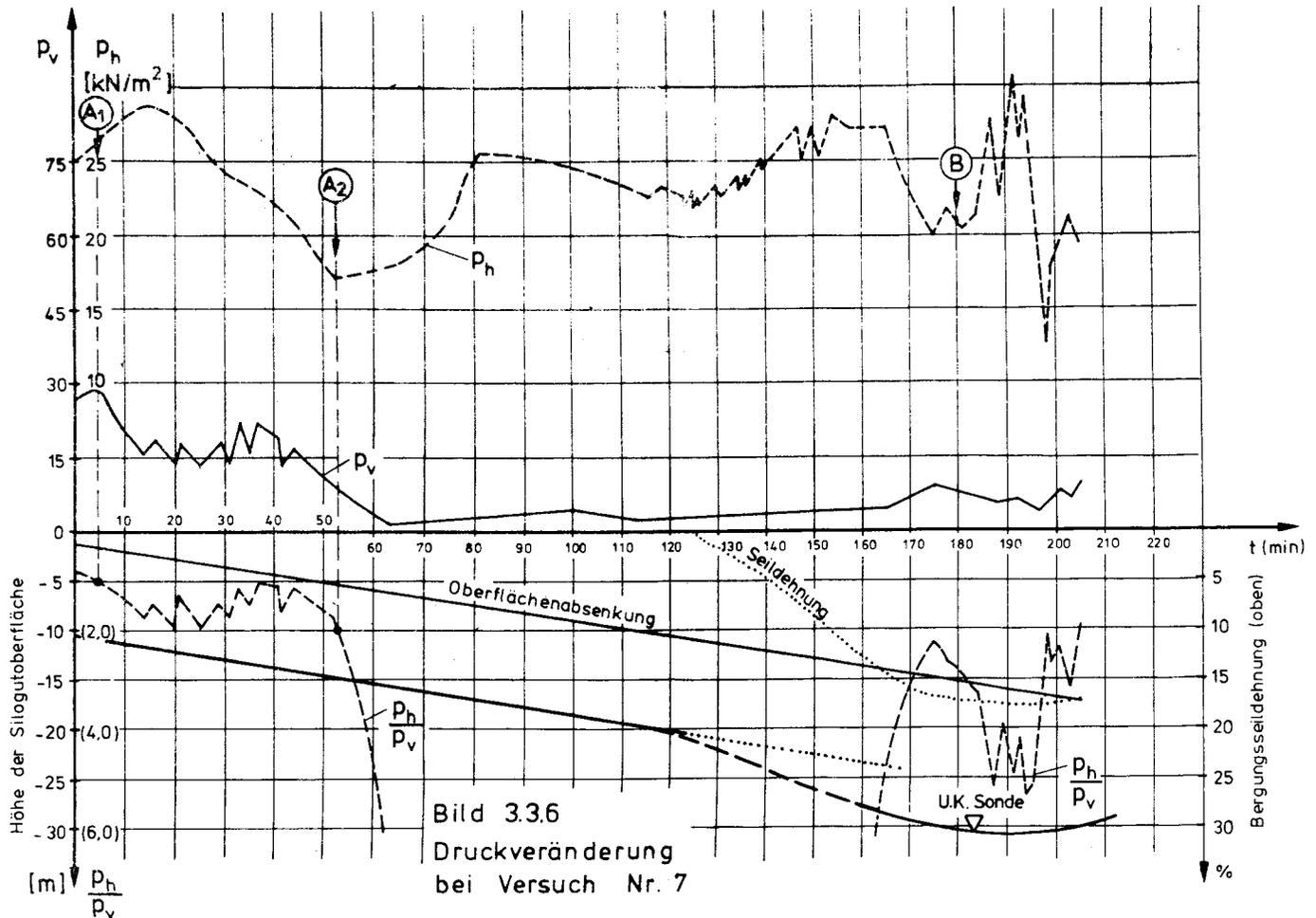


Bild 3.3.6
 Druckveränderung
 bei Versuch Nr. 7

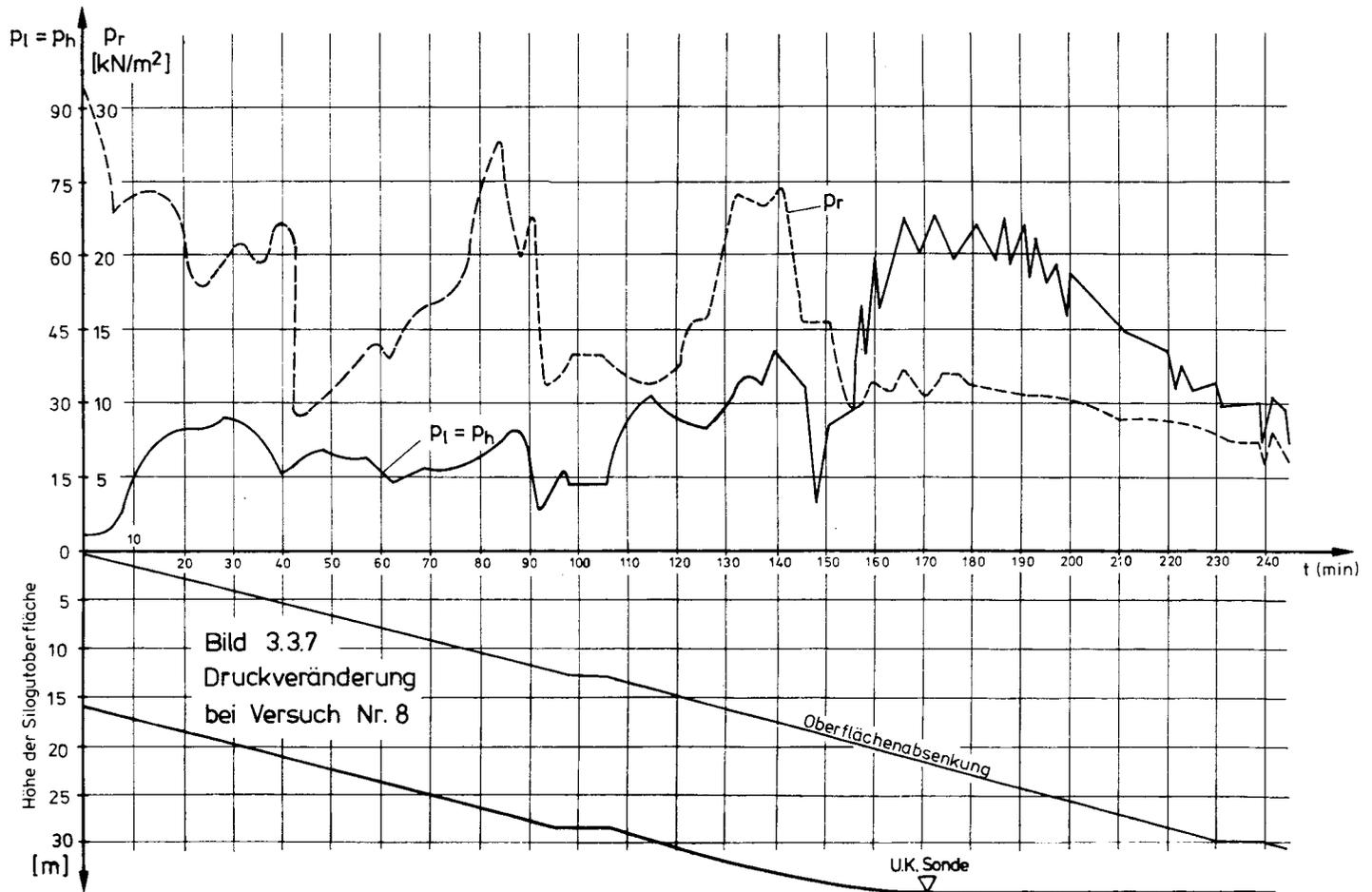
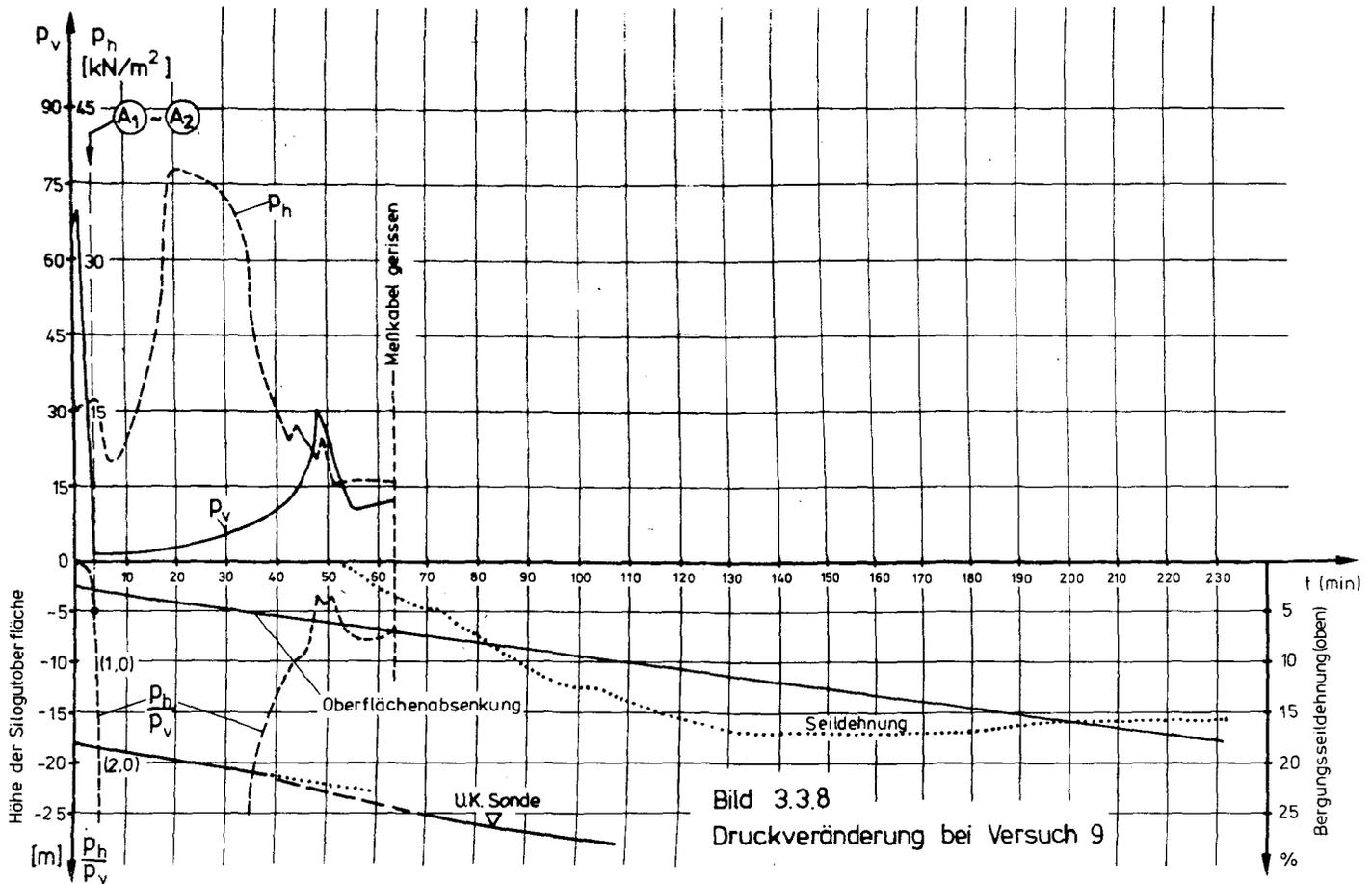


Bild 3.3.7
Druckveränderung
bei Versuch Nr. 8



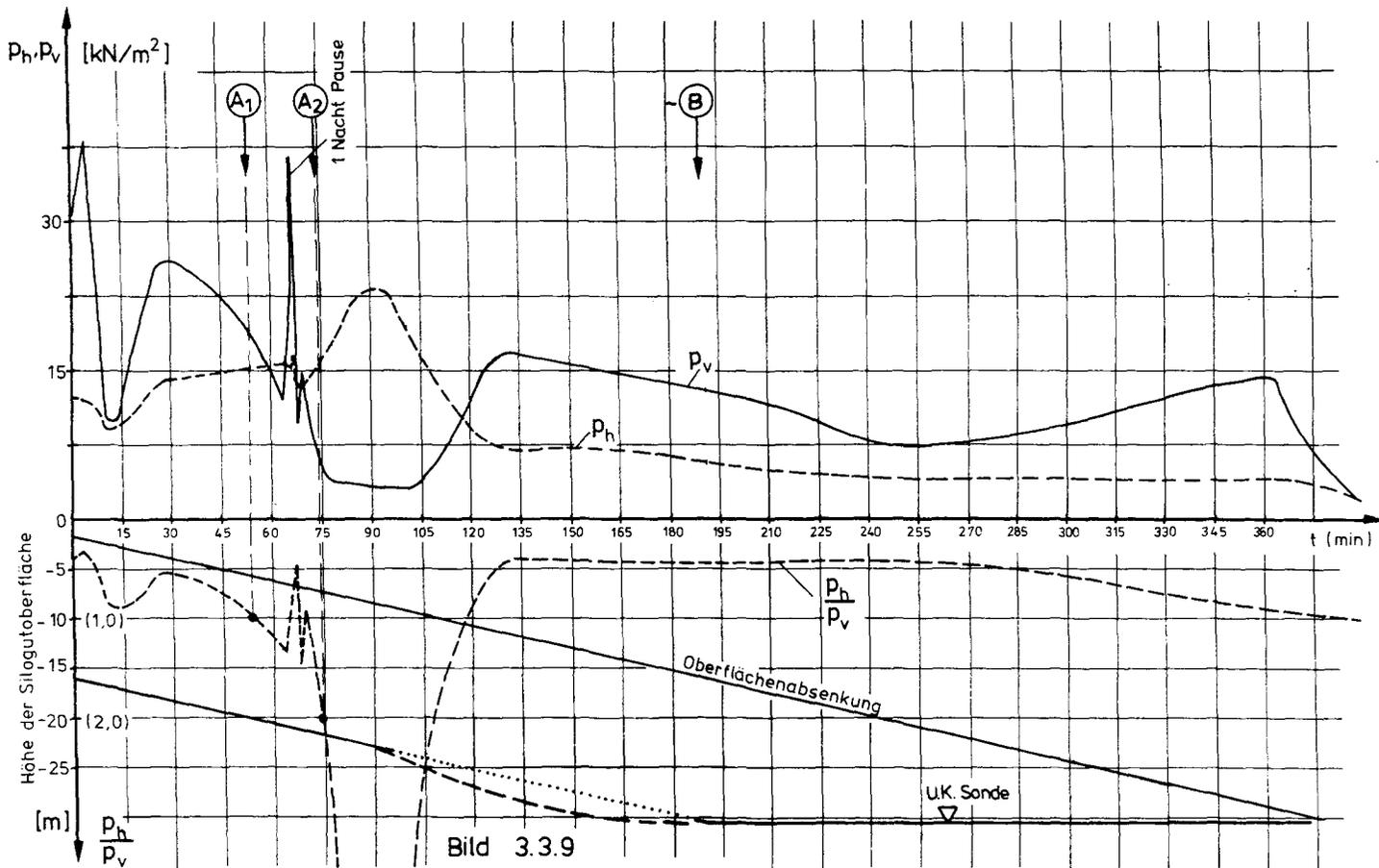
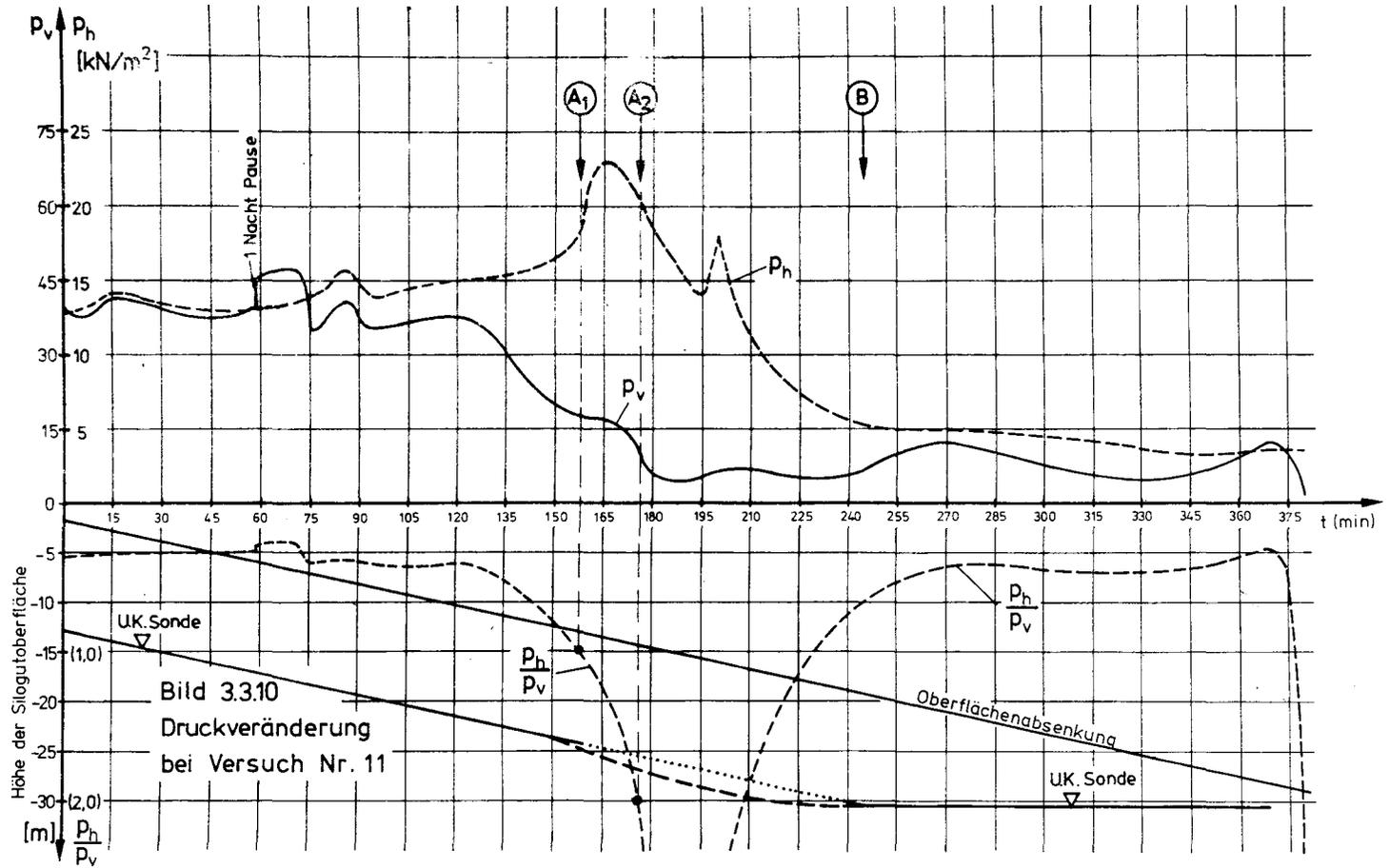


Bild 3.3.9
 Druckveränderung bei Versuch Nr. 10



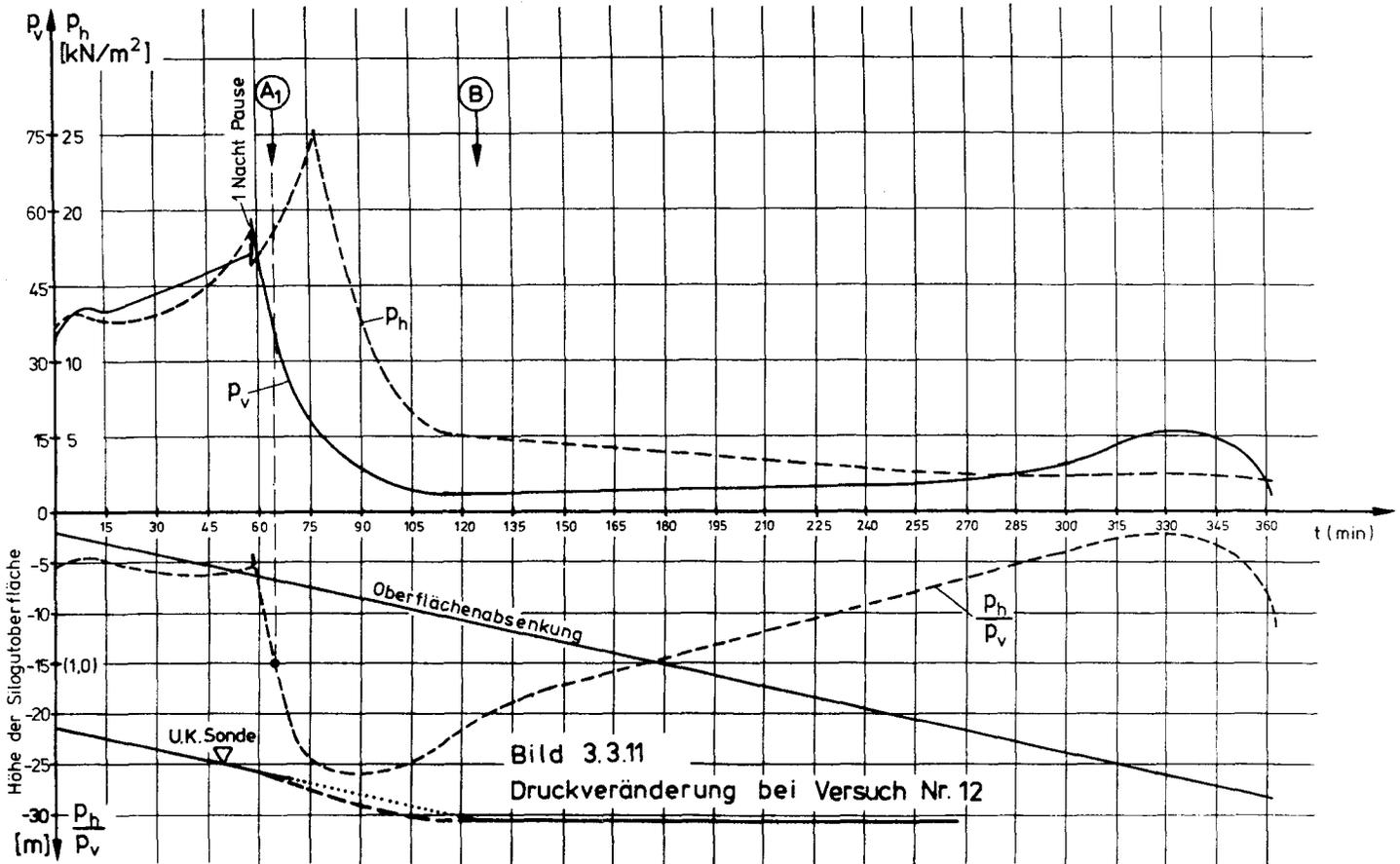


Bild 3.3.11
Druckveränderung bei Versuch Nr. 12

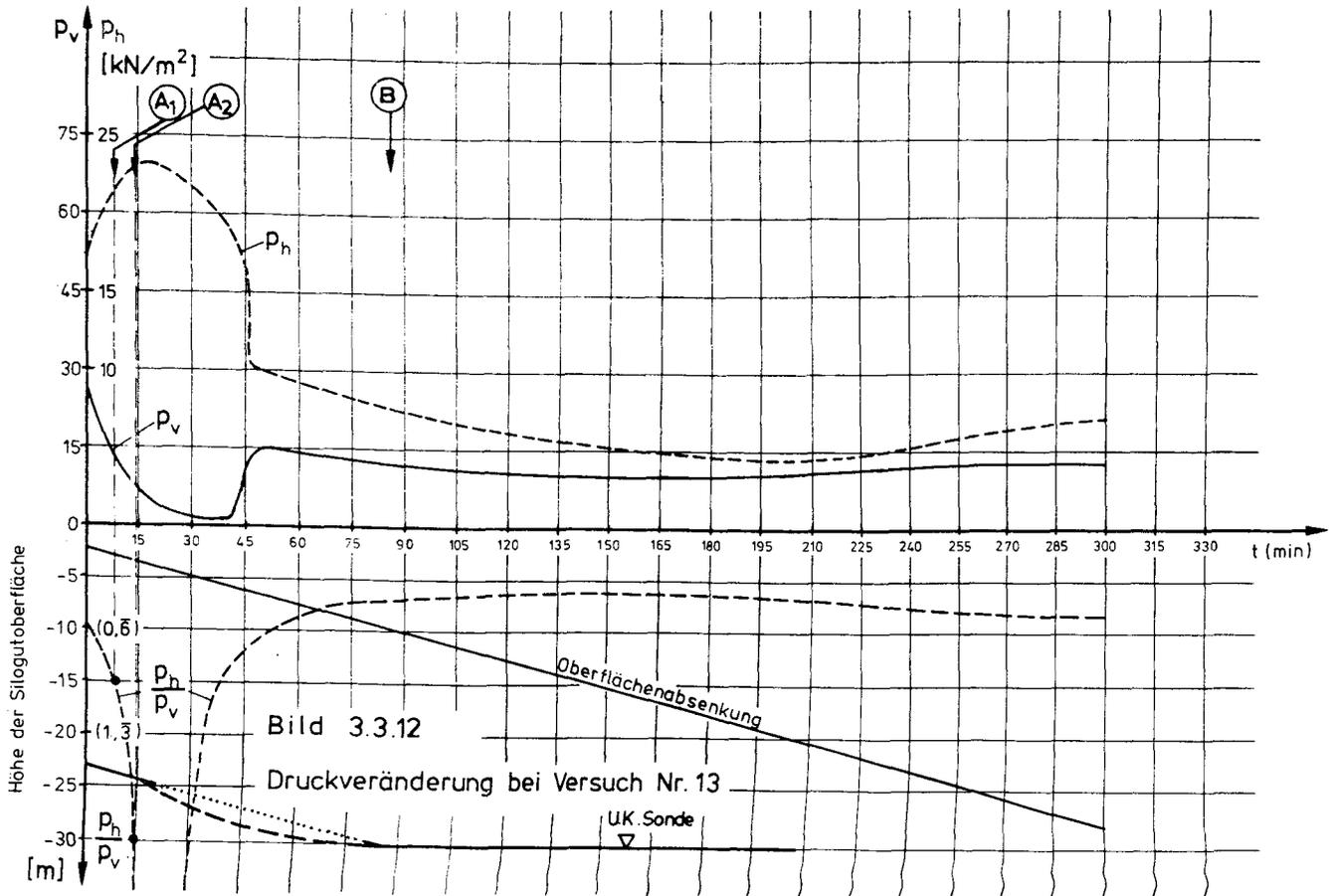


Bild 3.3.12

Druckveränderung bei Versuch Nr. 13

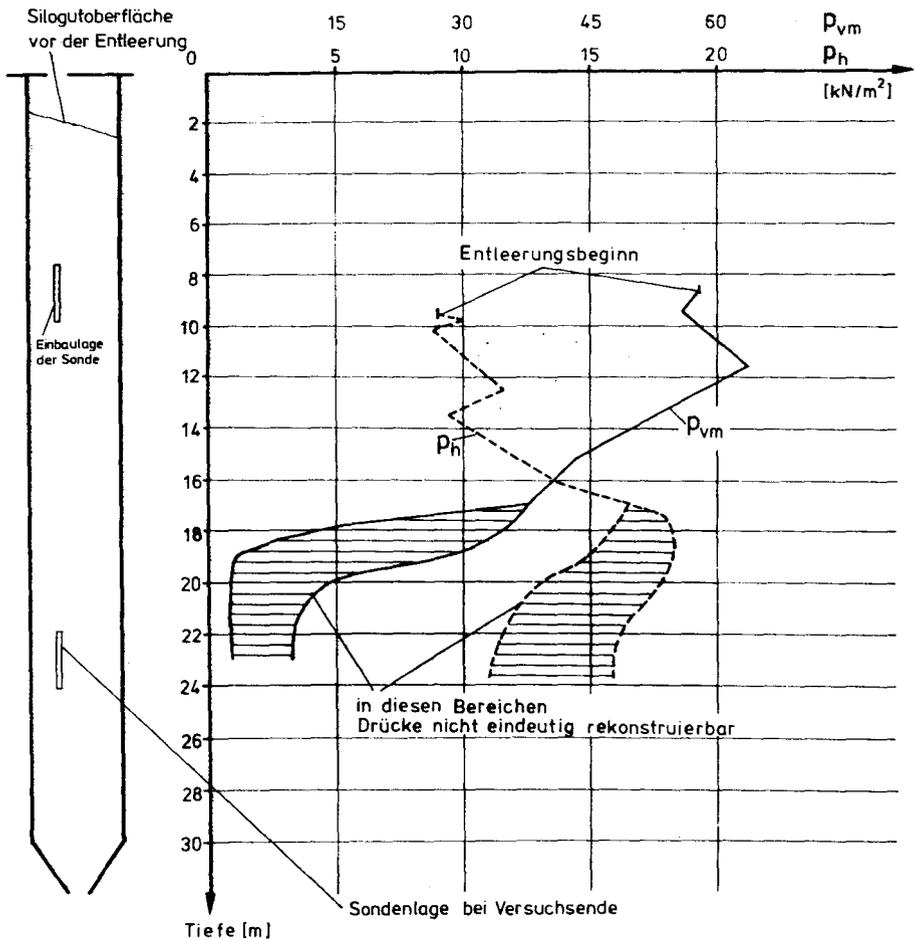


Bild 3.4.1 :
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 1

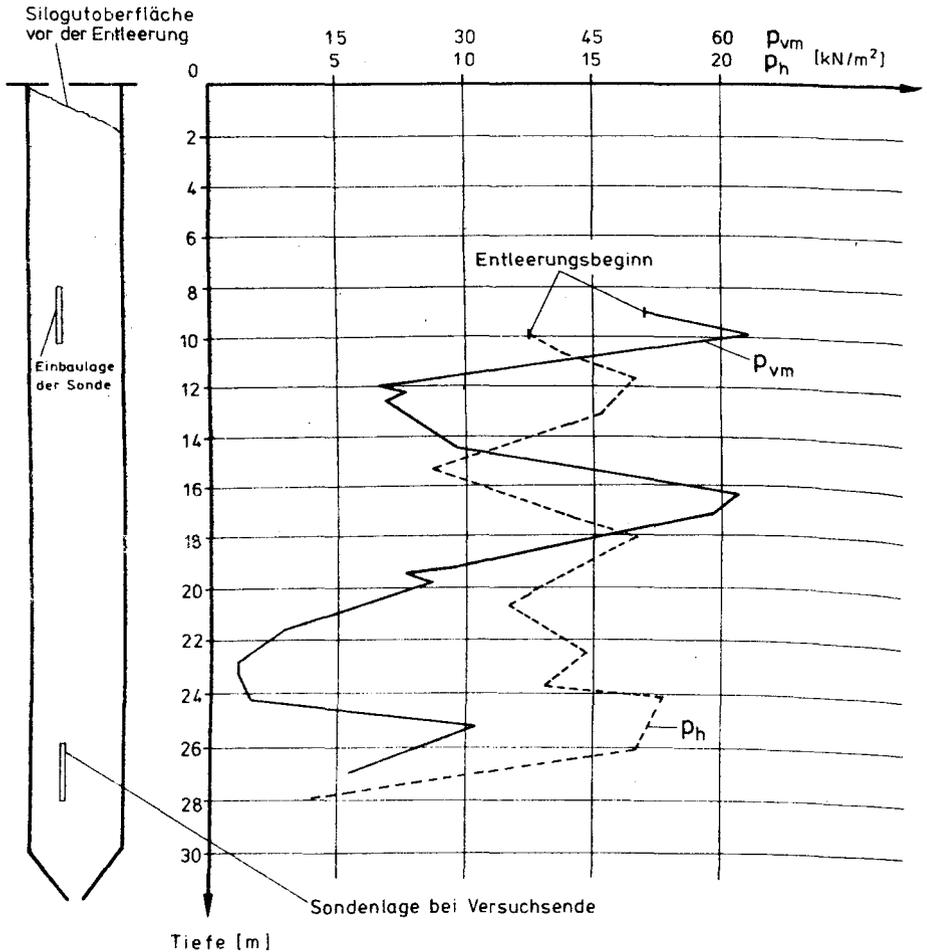


Bild 3.4.2 :
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 3

Silgotoberfläche
vor der Entleerung

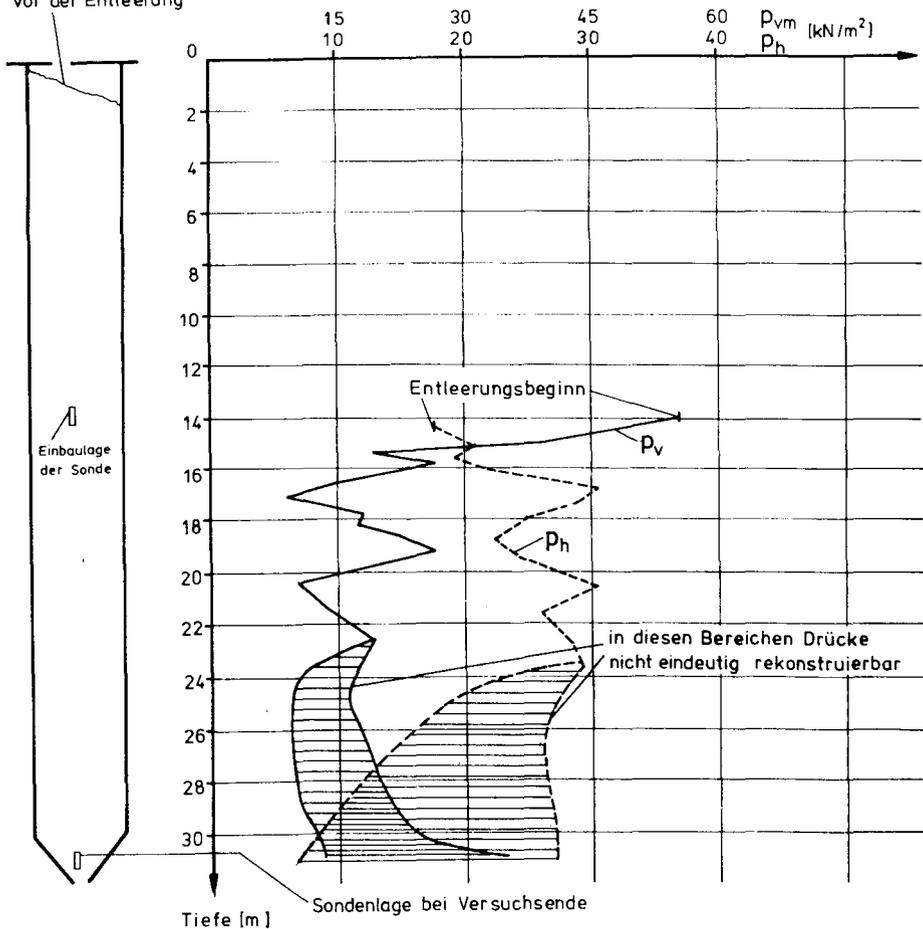


Bild 3.4.3 :
Druckveränderung in Abhängigkeit der
Sondentiefenlage bei Versuch Nr.4

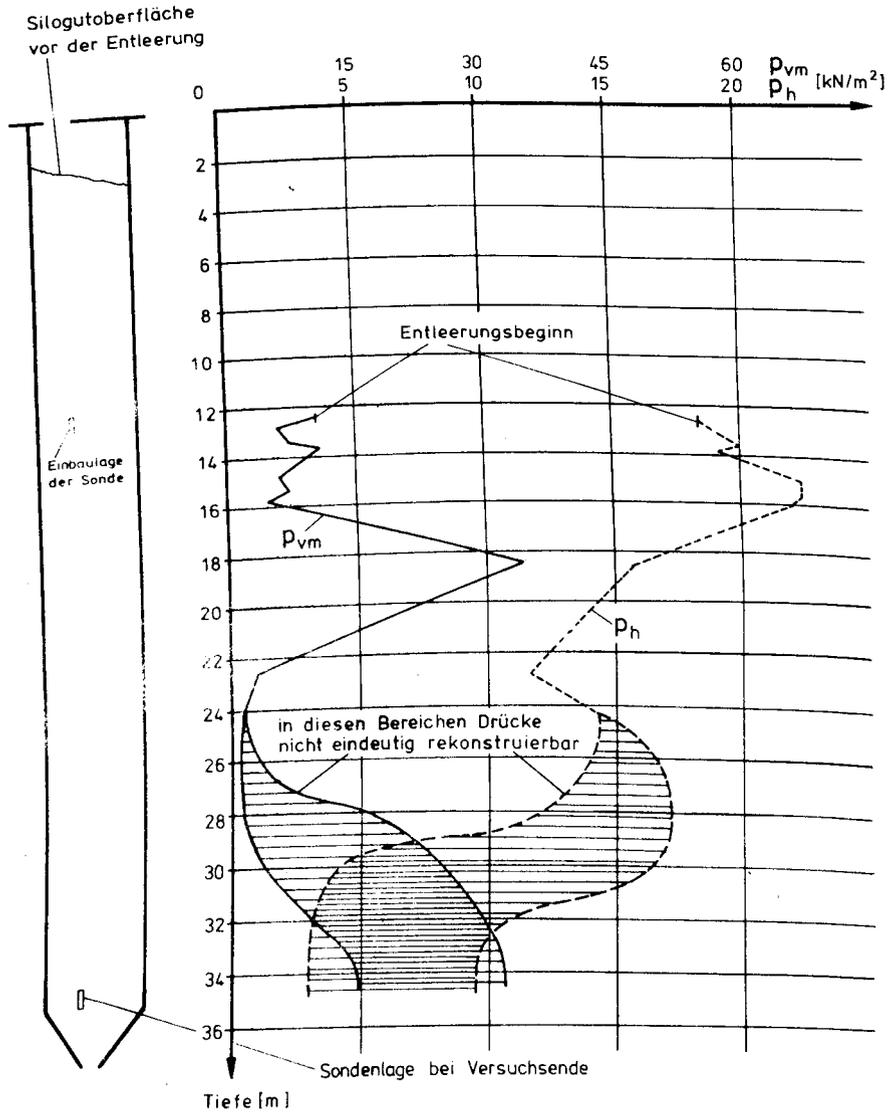


Bild 3.4.4 :
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondertiefenlage bei Versuch Nr. 5

Silogutoberfläche
vor der Entleerung

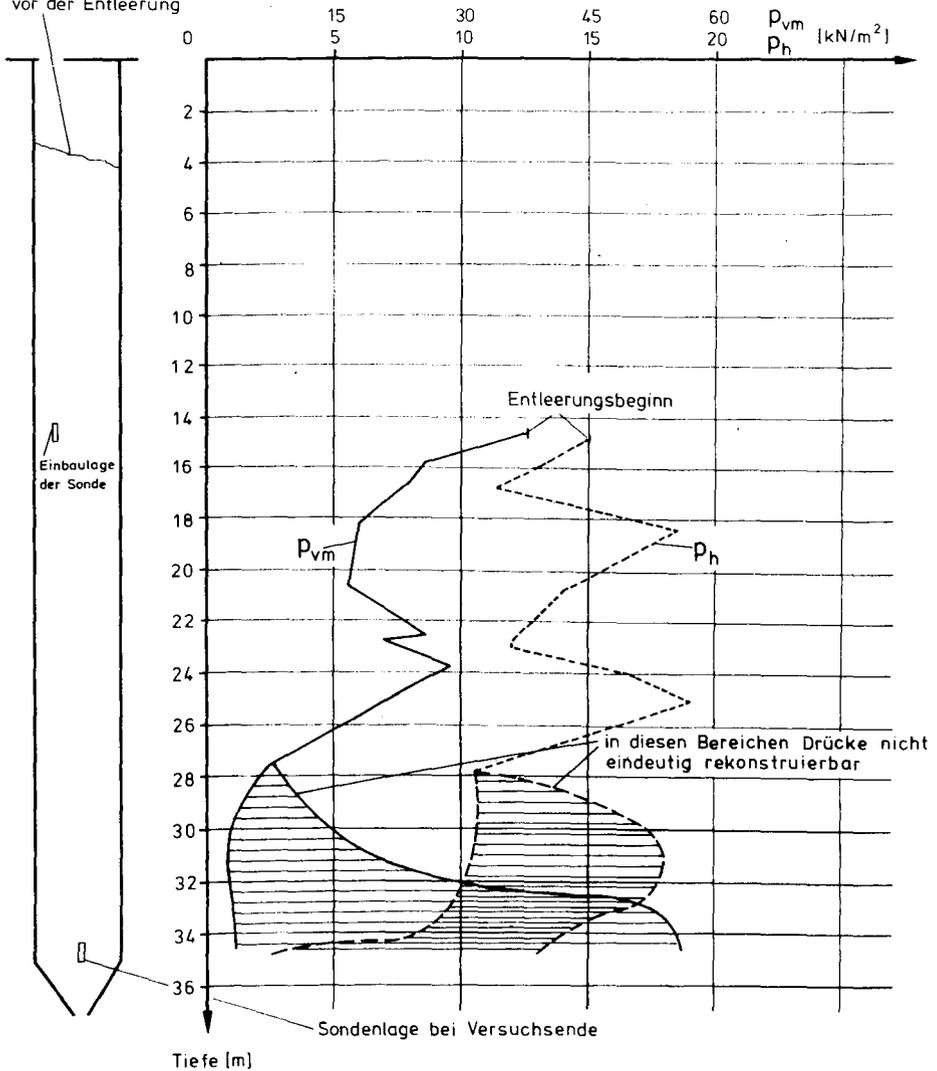


Bild 3.4.5 :
Druckveränderung in Abhängigkeit der
Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 6

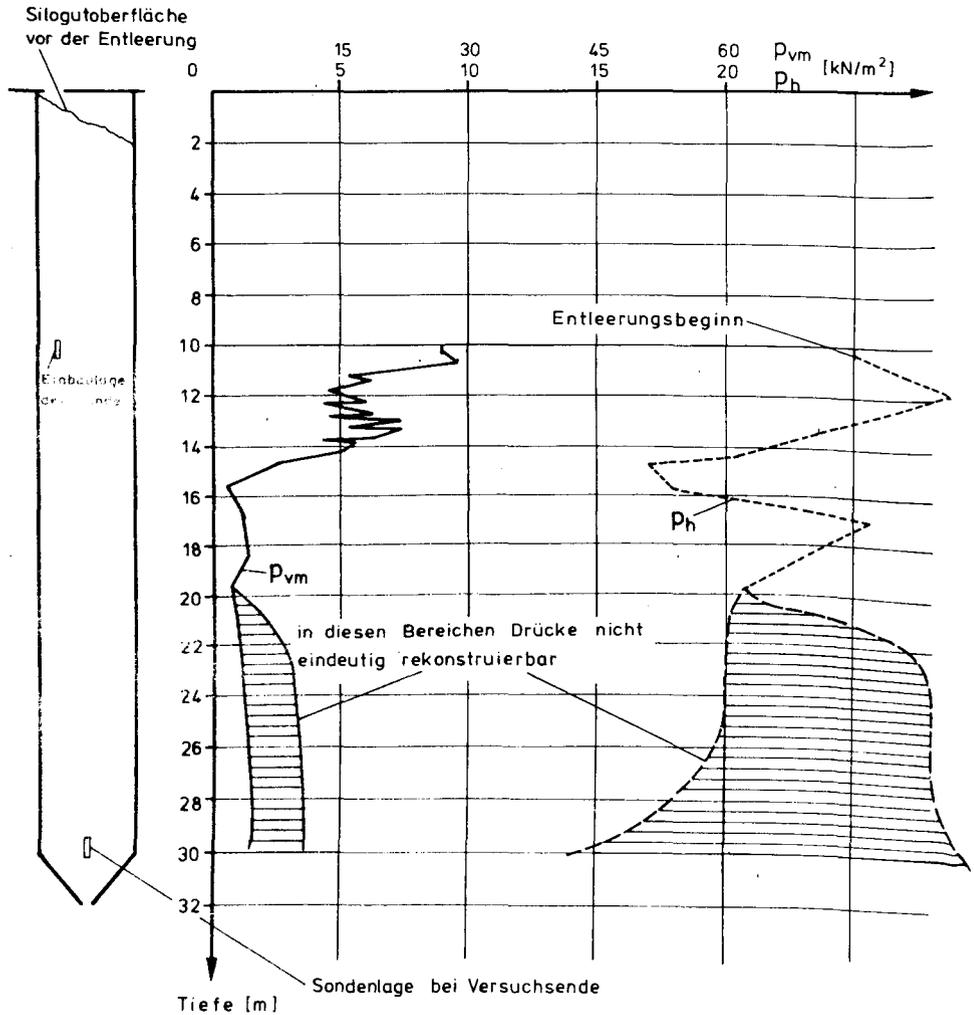


Bild 3.4.6 :
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 7

Silogutoberfläche
vor der Entleerung

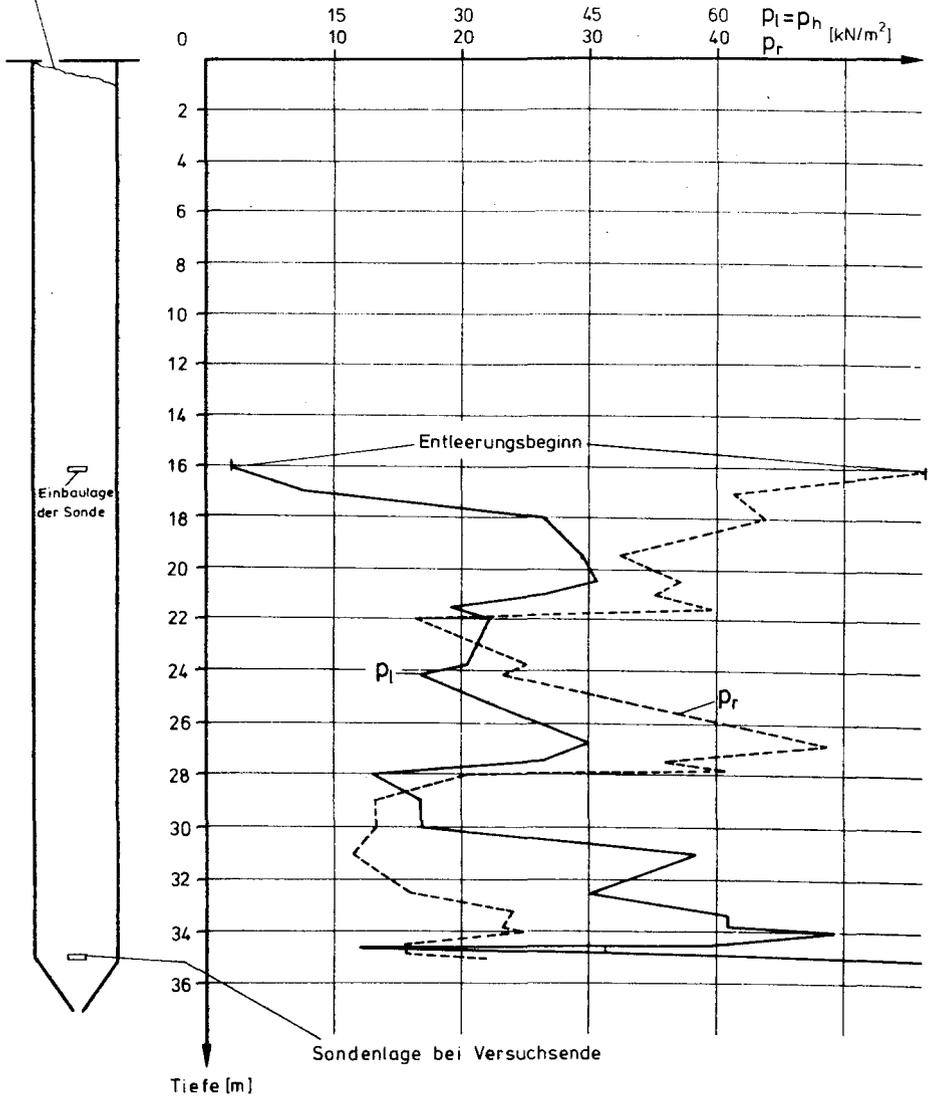


Bild 3.4.7 :
Druckveränderung in Abhängigkeit der
Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 8

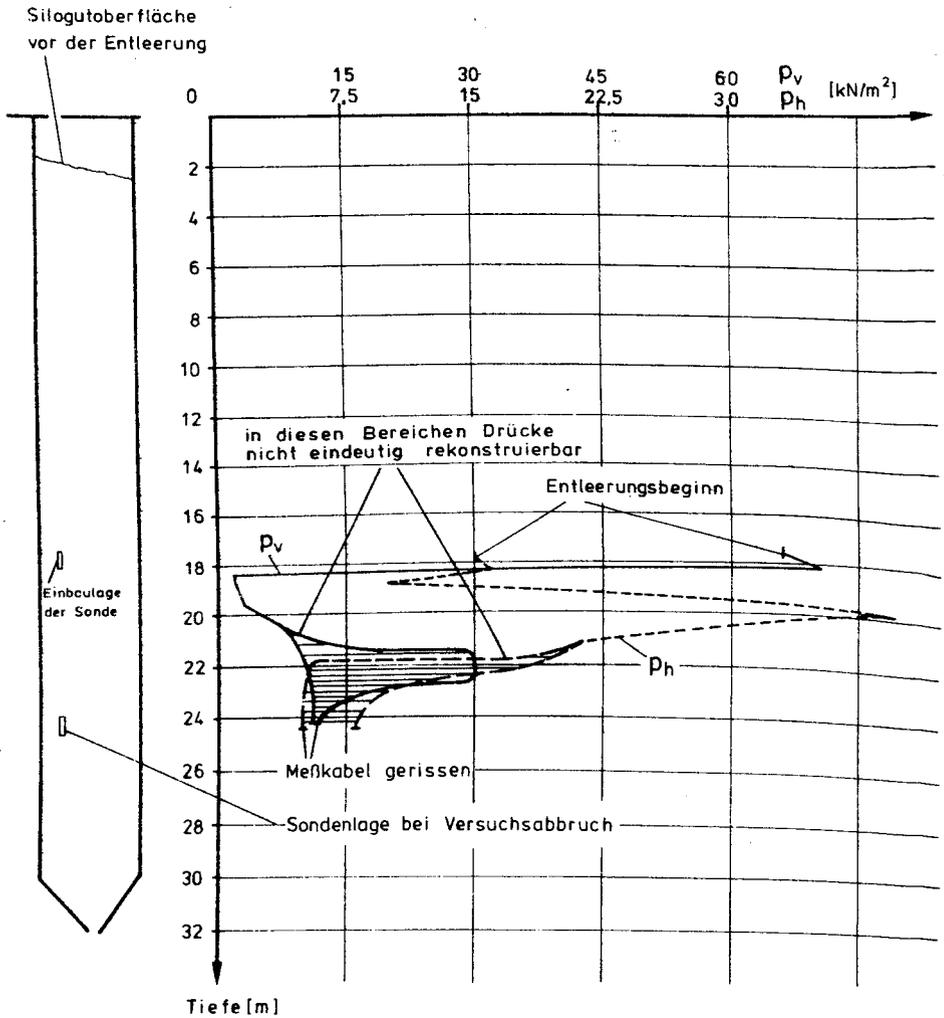


Bild 3.4.8 :
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 9

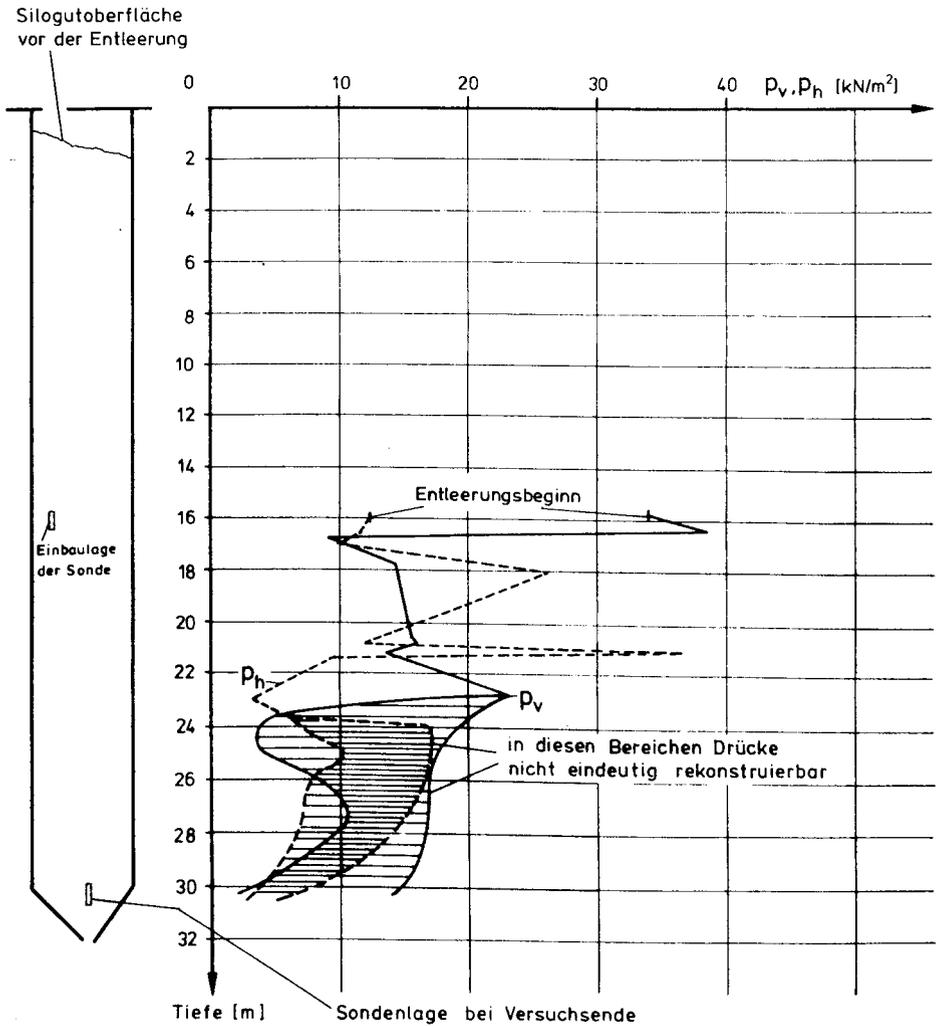


Bild 3.4.9 :
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr.10

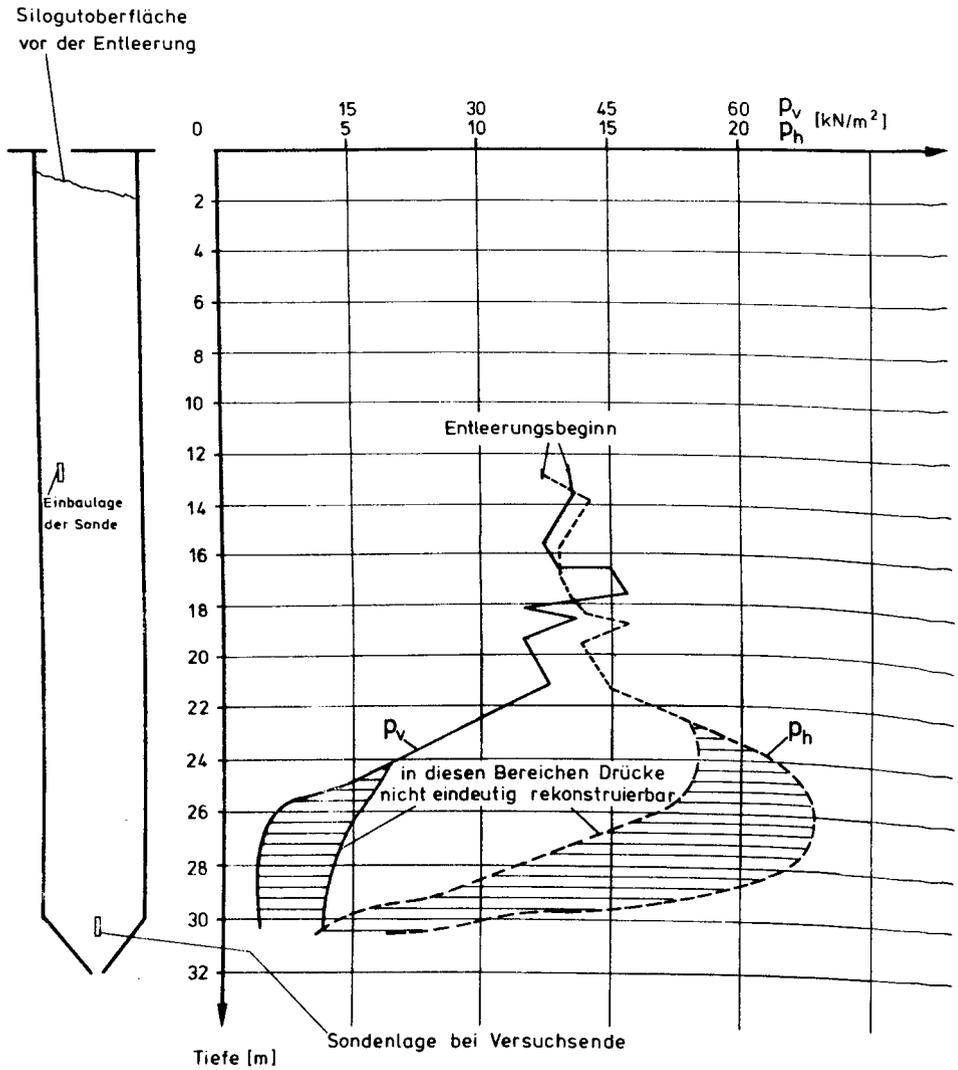


Bild 3.4.10:
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 11

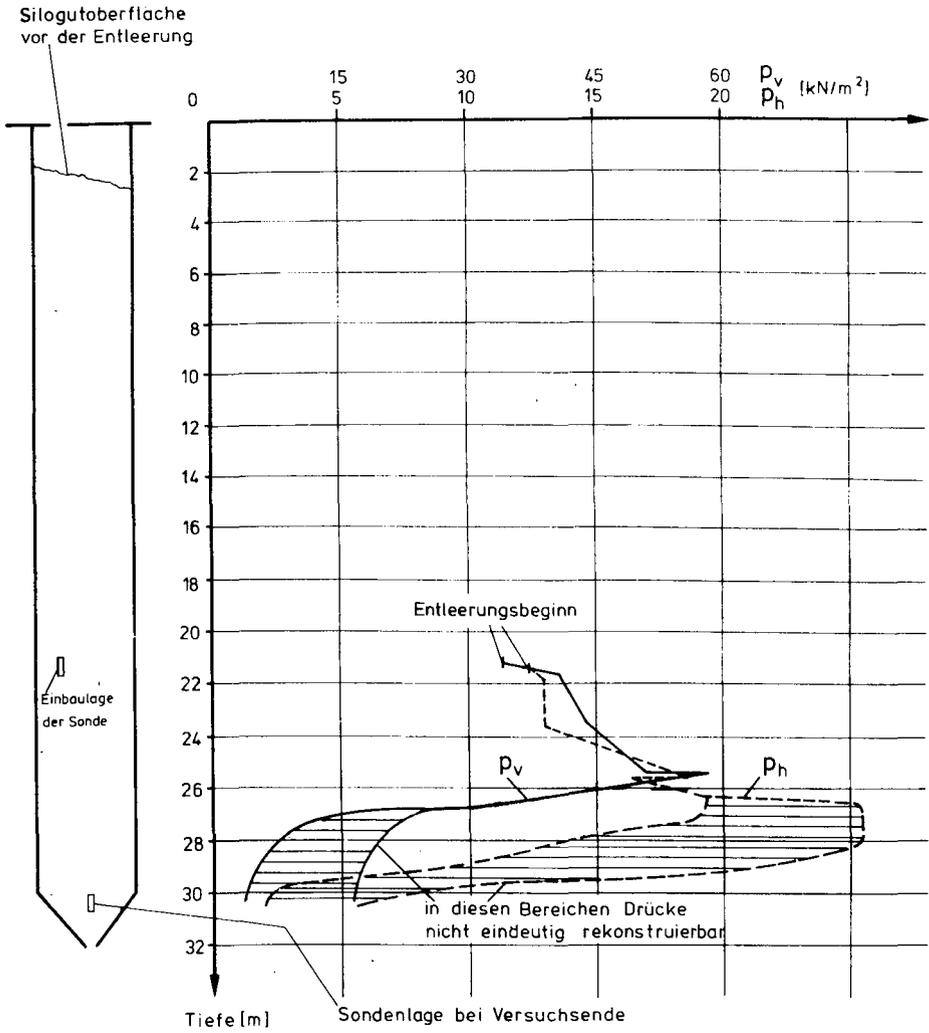


Bild 3.4.11:
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr.12

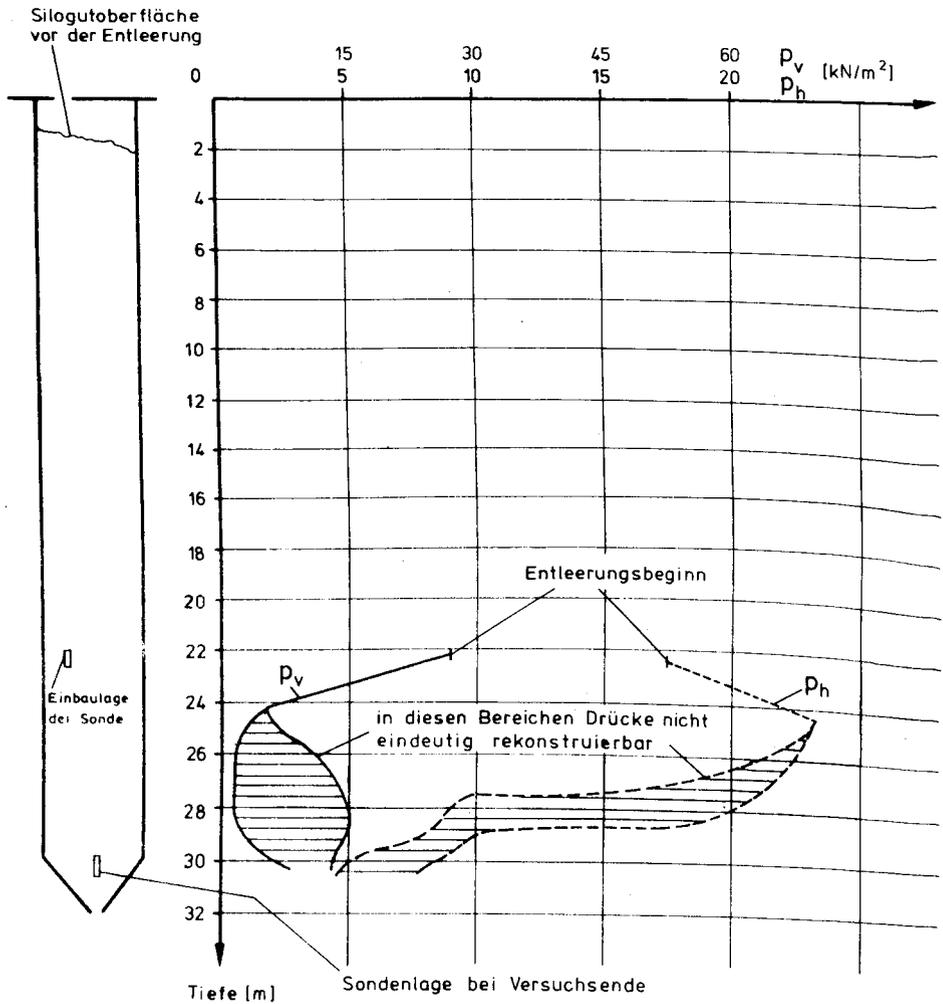


Bild 3.4.12:
 Druckveränderung in Abhängigkeit der
 Sondentiefenlage bei Versuch Nr. 13

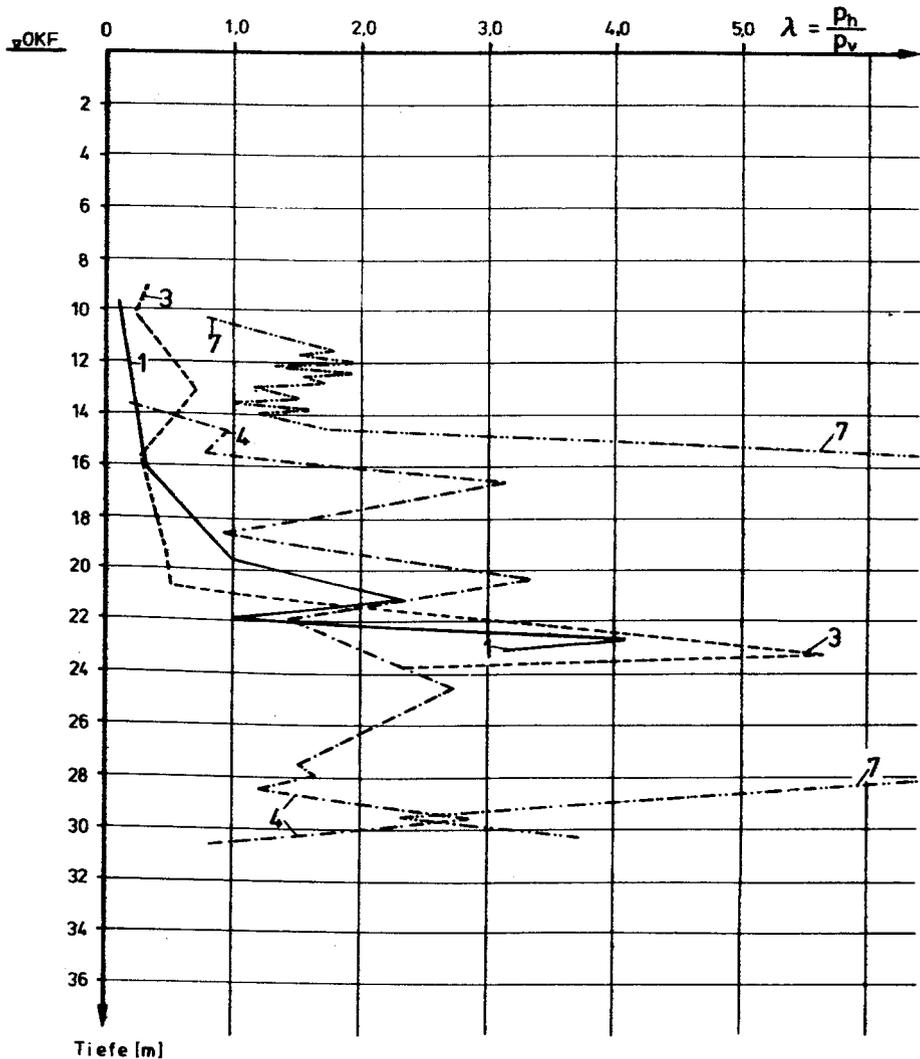


Bild 3.5.1 :
 Druckverhältnis $\lambda = p_h / p_v$ während der Entleerung in
 Abhängigkeit der Sondertiefenlage für die
 WTAG - Zelle Nr. 69

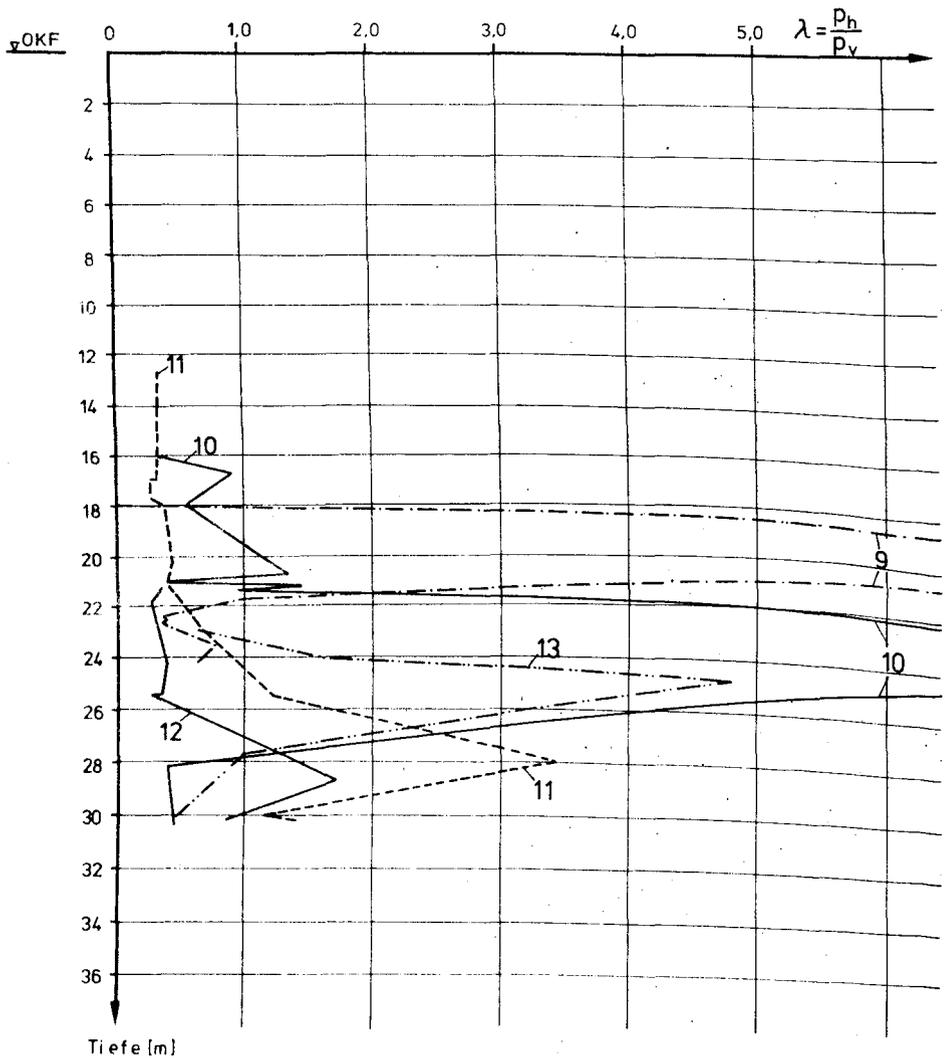


Bild 3.5.2 :
 Druckverhältnis $\lambda = p_h / p_v$ während der Entleerung in
 Abhängigkeit der Sondertiefenlage für die WTAG-Zelle 70

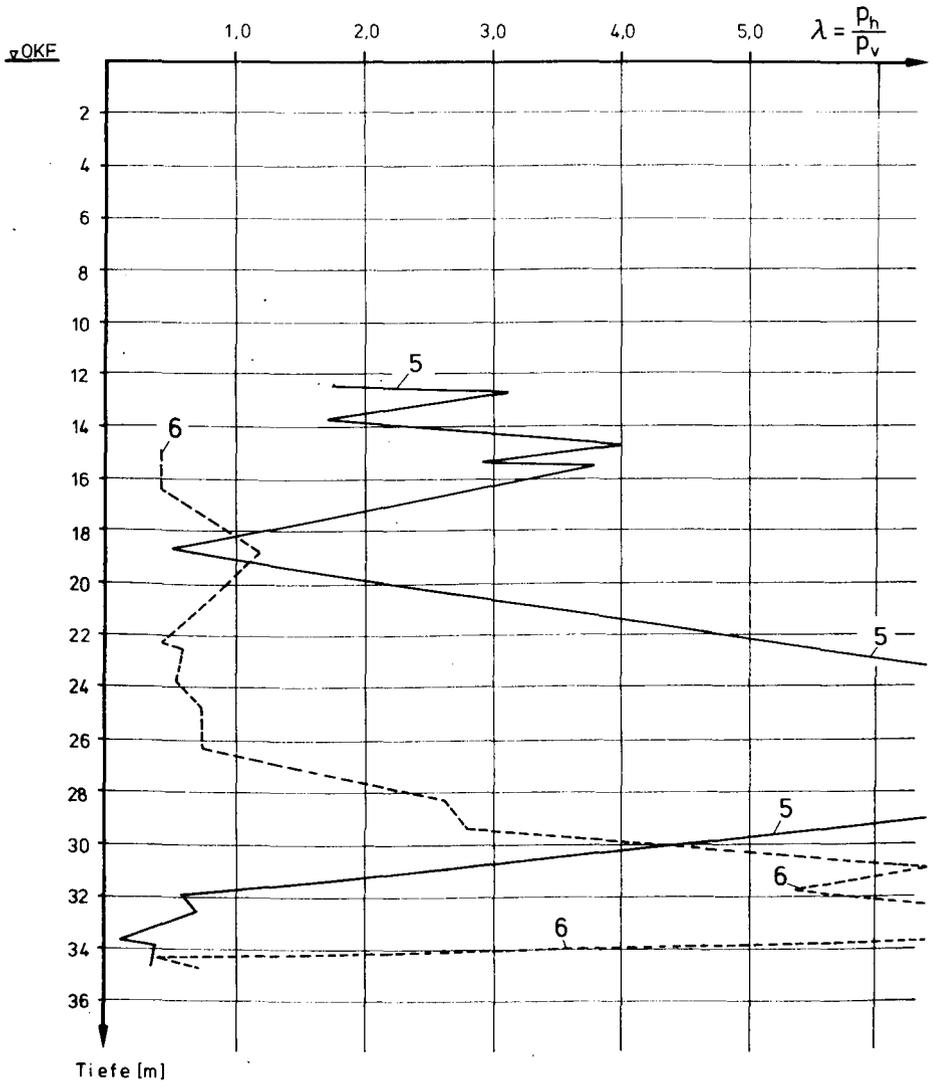


Bild 3.5.3:
 Druckverhältnis $\lambda = p_h/p_v$ während der Entleerung in
 Abhängigkeit der Sondertiefenlage für die
 Rhenania - Zelle

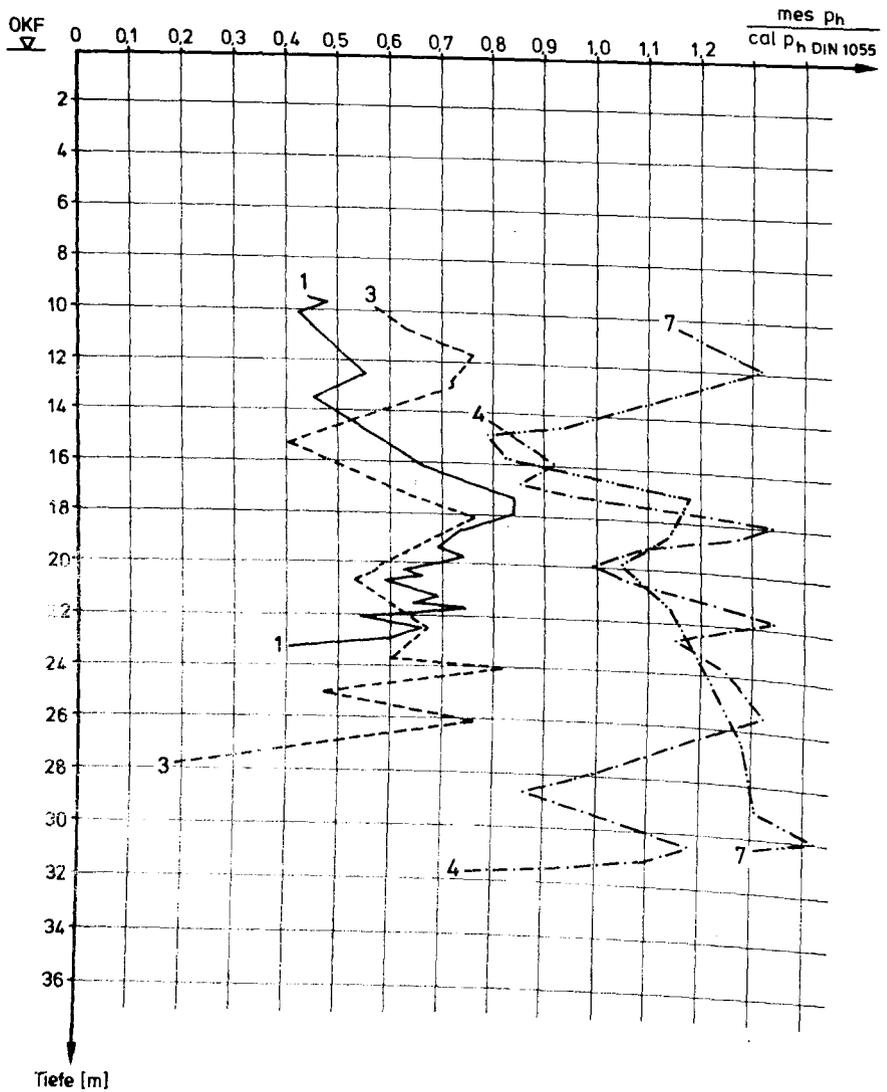


Bild 3.6.1 : Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken für WTAG-Zelle 69

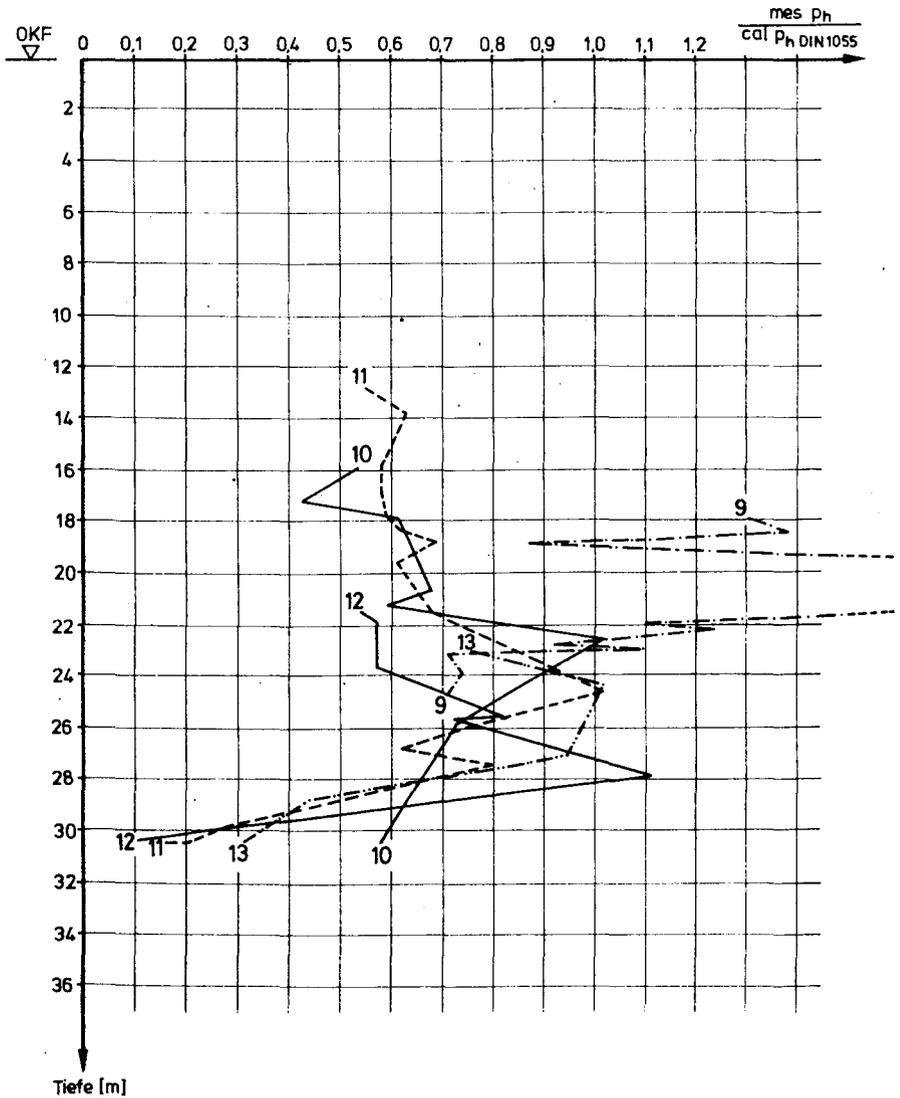


Bild 3.6.2 : Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken für WTAG-Zelle 70

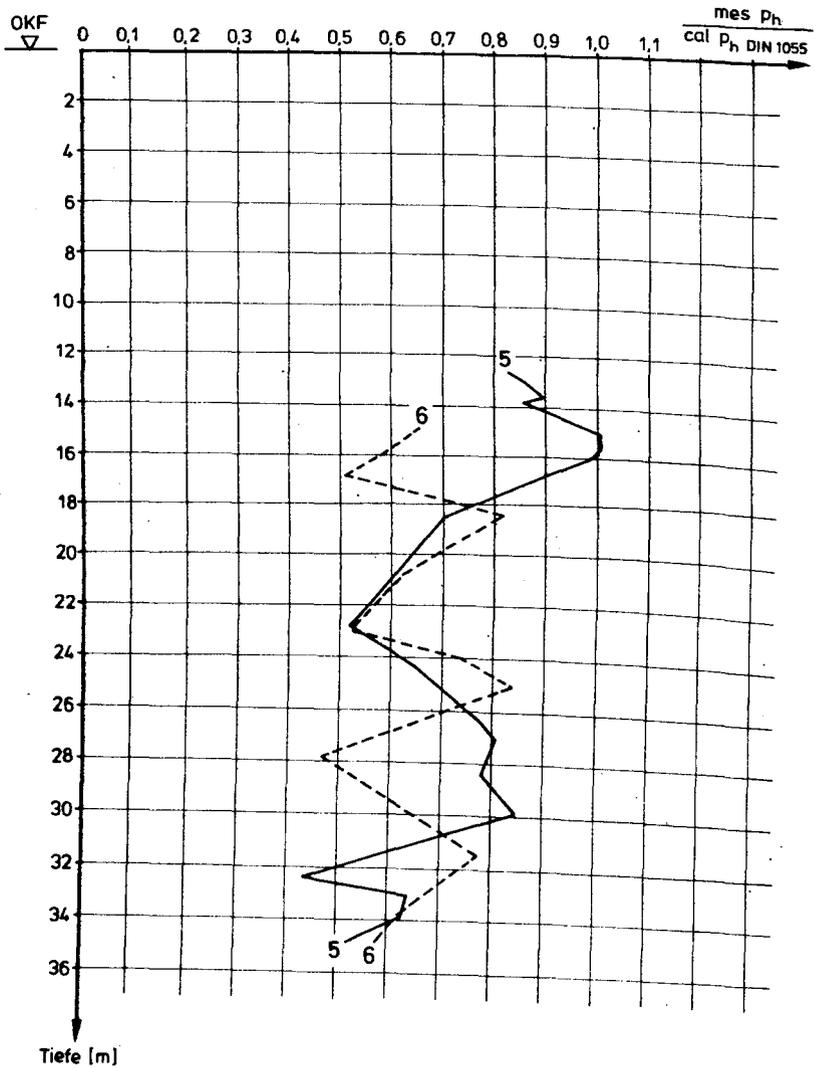


Bild 3.6.3 : Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken für Rhenania-Zelle

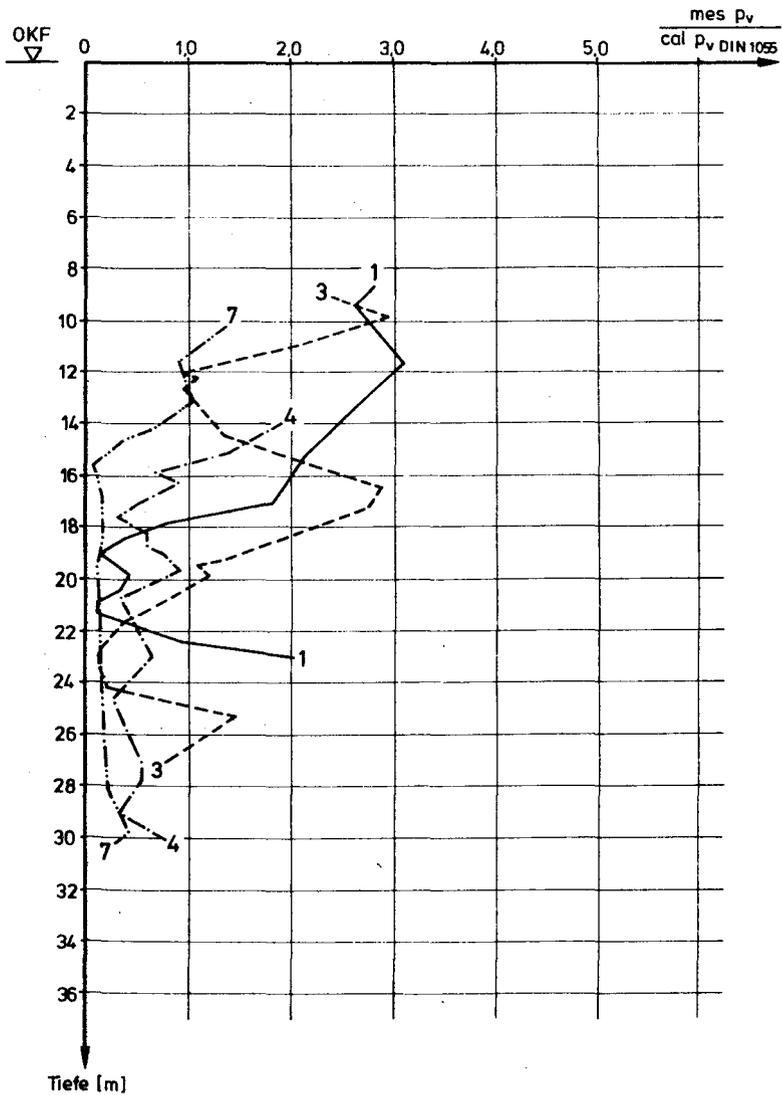


Bild 3.6.4 : Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken für WTAG-Zelle 69

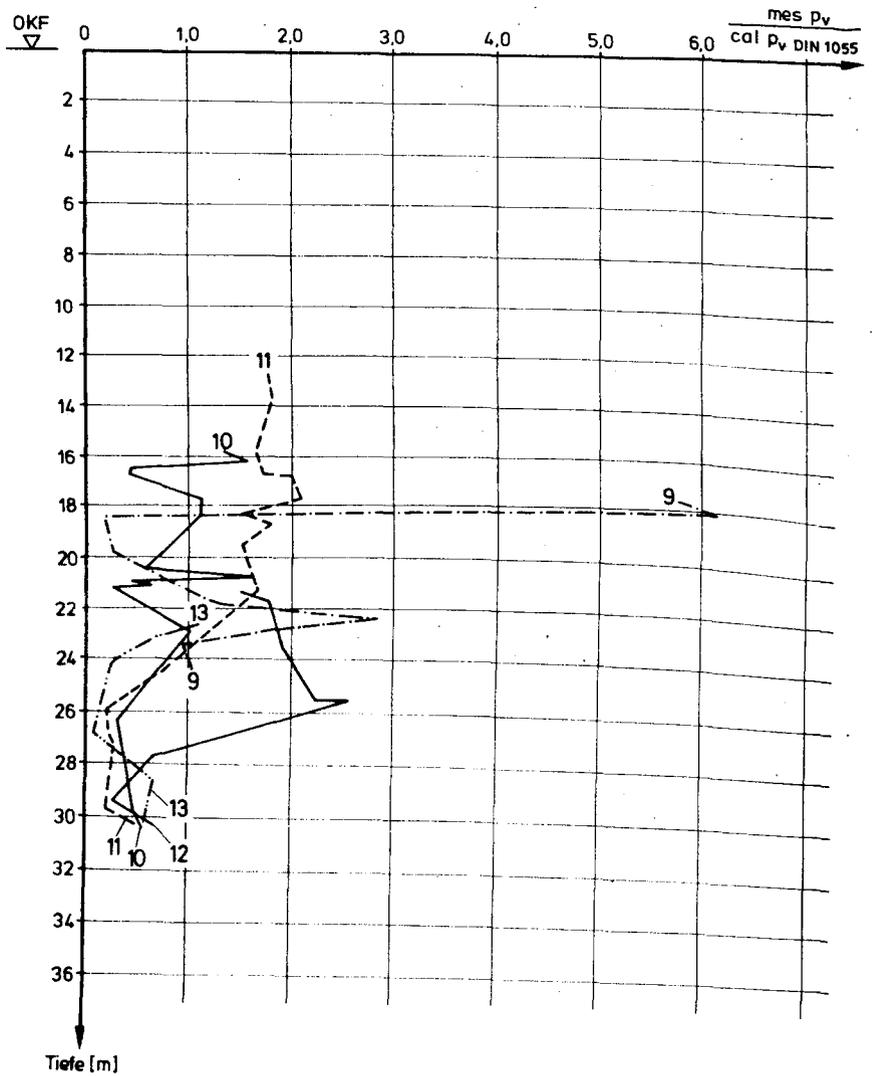


Bild 3.6.5 : Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken für WTAG-Zelle 70

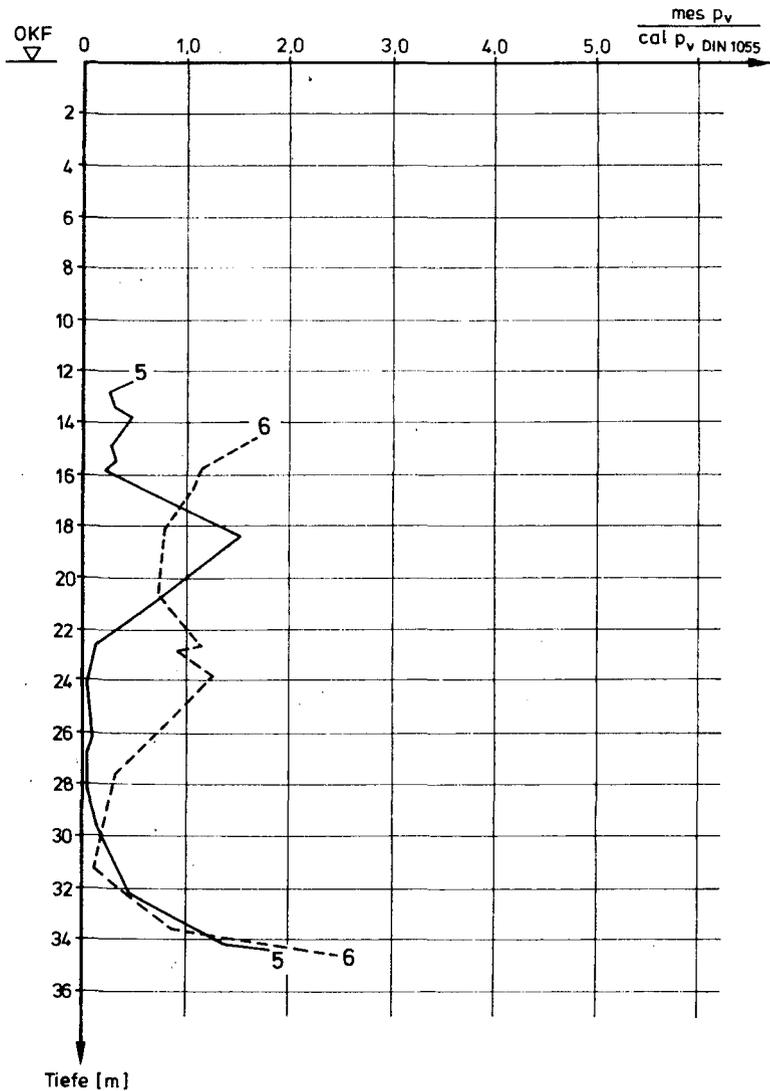


Bild 3.6.6 : Vergleich der gemessenen mit den errechneten Drücken für Rhenania-Zelle

Versuchsnummer	Überschüttungshöhe [m] für Meßstelle		Fülldrücke bei Füllende [kN/m ²]		Entleerungsdrücke [kN/m ²]											
	h	v	P _h	P _v	med P _h			med p _v			max P _h			max p _v		
					aus Bereich			aus Bereich			aus Bereich			aus Bereich		
					O - A ₁	O - A ₂	O - B	O - A ₁	O - A ₂	O - B	O - A ₁	O - A ₂	O - B	O - A ₁	O - A ₂	O - B
1	7,3	6,4	9,70	68,80	12,56	12,90	13,17	51,70	49,54	37,60	18,63	18,63	18,63	82,75	82,75	82,75
2	8,4	7,5	8,10	23,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	8,5	7,6	-	-	14,00	14,54	14,45	41,41	38,66	32,11	17,85	17,85	18,92	66,02	66,02	66,02
4	12,9	12,7	19,10	52,90	18,48	19,42	24,83	31,82	26,21	17,17	21,50	28,16	30,33	54,00	54,00	54,00
5	10,1	9,9	18,50	11,10	18,63	18,11	16,22	18,03	16,77	12,05	22,33	22,33	22,33	34,00	34,00	34,00
6	11,3	11,1	11,60	29,60	14,39	14,50	14,45	22,73	19,13	17,10	18,26	19,00	19,00	37,00	37,00	39,00
7	8,5	8,3	24,80	28,40	25,76	24,65	23,68	27,00	17,50	7,83	26,33	28,66	28,66	30,00	30,00	30,00
8	15,4	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	16,0	15,8	15,10	61,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	14,8	14,6	11,30	39,90	13,57	13,96	12,22	22,14	19,28	15,32	15,00	15,75	23,00	38,00	38,00	38,00
11	11,0	10,8	12,60	41,00	14,12	15,28	14,24	36,47	34,39	26,64	17,66	22,90	22,90	47,00	47,00	47,00
12	19,6	19,4	12,80	47,60	14,26	-	13,54	45,11	-	28,65	18,33	-	25,16	58,00	-	58,00
13	20,6	20,4	15,90	38,00	19,33	21,11	15,63	18,85	14,95	9,82	21,49	22,83	23,16	26,00	26,00	26,00

Bild 3.7.1 Tabellarische Zusammenstellung ausgewählter gemessener Füll- und Entleerungsdrücke

Versuch- Nummer	Überschüttungs- höhe für Meß- stelle in m		Druck nach DIN 1055 kn/m^2				Verhältnis mes p/cal $P_{\text{DIN 1055}}$						
			Füllen		Entleeren		Füllen		Entleeren (Bereich O - B)				max $P_V(\text{f.od.e.})$
			cal P_h	cal P_V	cal P_h	cal P_V	h	v	h,mittel	v,mittel	h,max	v,max	$P_{V,\text{füllen,DIN}}$
1	7,3	6,4	17,34	34,68	21,0	20,5	0,56	1,98	0,63	1,83	0,89	4,04	2,39
2	8,4	7,5	17,61	35,22	21,6	21,2	0,46	0,68	-	-	-	-	-
3	8,5	7,6	17,63	35,26	21,7	21,2	-	-	0,66	1,51	0,82	3,11	1,87
4	12,9	12,7	17,99	35,98	22,6		1,06	1,47	1,10	0,76	1,34	2,39	1,50
5	10,1	9,9	17,84	35,68	22,2		1,04	0,31	0,73	0,54	1,01	1,53	0,95
6	11,3	11,1	17,93	35,86	22,5		0,65	0,82	0,64	0,76	0,84	1,73	1,09
7	8,5	8,3	17,63	35,26	21,7		1,41	0,80	1,09	0,36	1,32	1,38	0,85
8	15,4	15,2	18,03	36,06	22,7		-	-	-	-	-	-	-
9	16,0	15,8	18,03	36,06	22,8		0,84	1,69	-	-	-	-	-
10	14,8	14,6	18,02	36,04	22,7		0,63	1,11	0,54	0,67	1,01	1,67	1,11
11	11,0	10,8	17,91	35,82	22,5		0,70	1,14	0,63	1,18	1,02	2,09	1,31
12	19,6	19,4	18,04	36,09	22,8		0,71	1,32	0,59	1,26	1,10	2,54	1,61
13	20,6	20,4	18,04	36,09	22,8		0,88	1,05	0,68	0,43	1,02	1,14	1,05
Mittelwert							0,81	1,12	0,73	0,93	1,04	2,16	1,37
Standard- abweichung							0,27	0,48	0,20	0,49	0,18	0,89	0,48

Bild 3.7.2 Vergleich der gemessenen mit den theoretischen Drücken nach DIN 1055

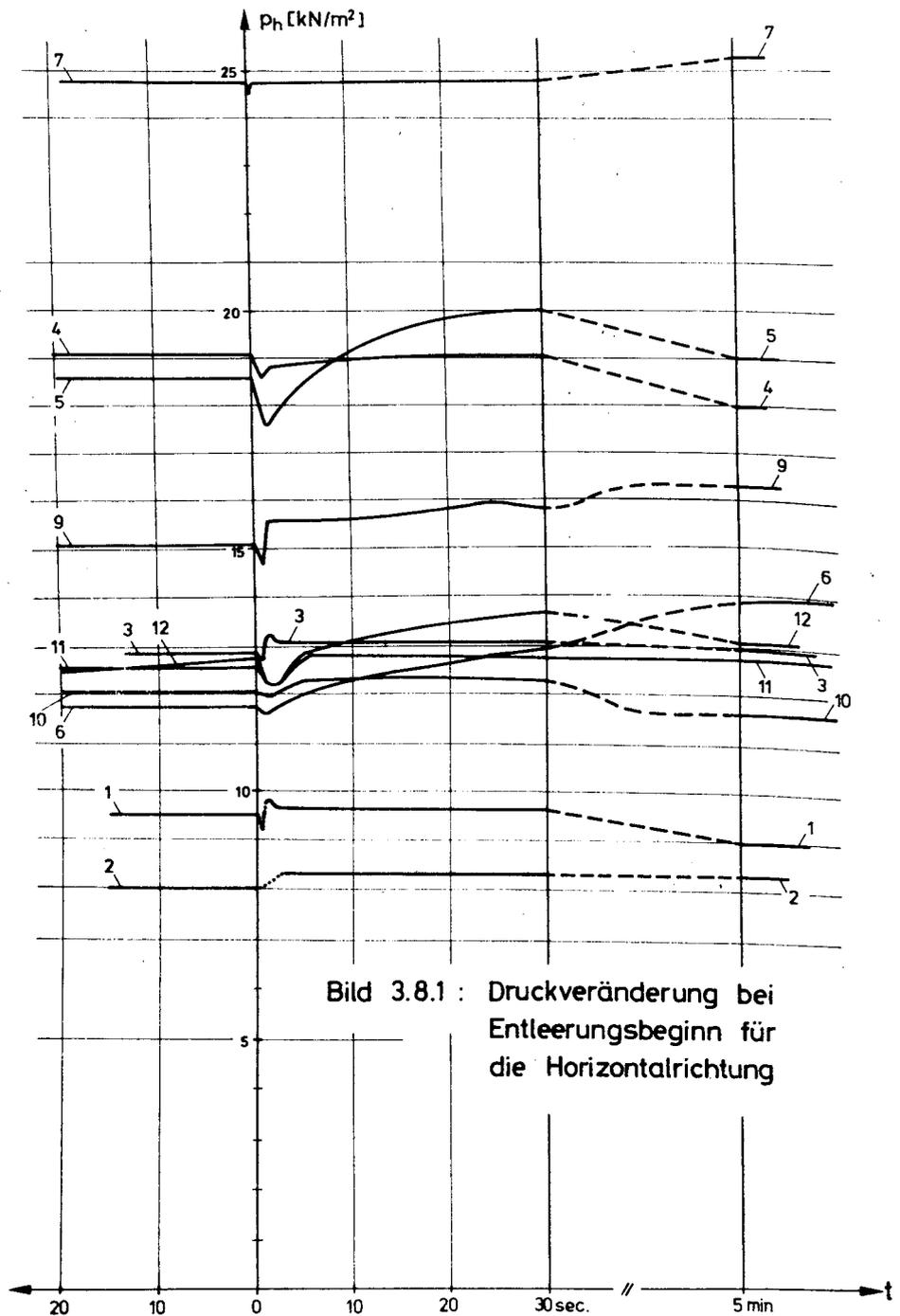


Bild 3.8.1 : Druckveränderung bei Entleerungsbeginn für die Horizontalrichtung

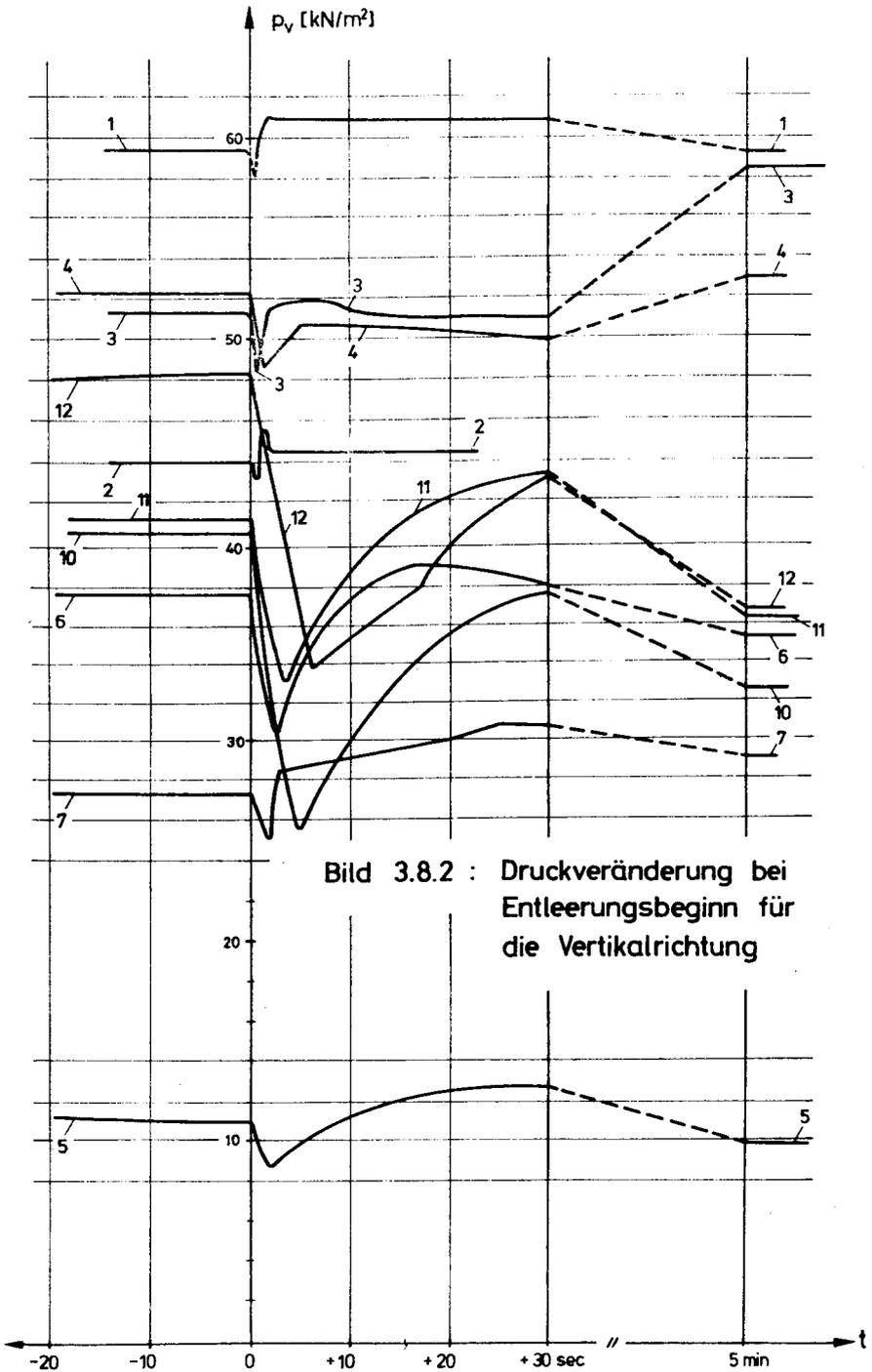


Bild 3.8.2 : Druckveränderung bei Entleerungsbeginn für die Vertikalrichtung

WTAG

Zelle 69

Zelle 70

Versuchs-Nr. →

1 3 4 7

9

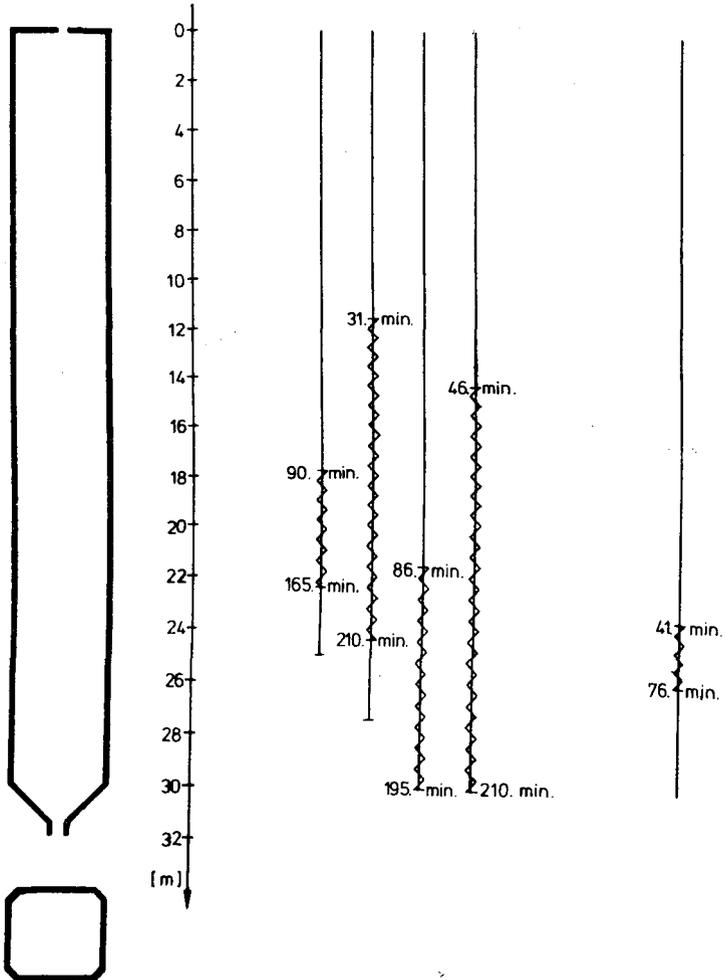


Bild 391: Bereiche der Pulsationserscheinungen

Versuch Nr.	Zeit nach Entleerungsbeginn [min]	Form der Kurve p_v	Δp_v [kN/m ²]	Δp_h [kN/m ²]	$\frac{\Delta p_h}{\Delta p_v}$	Periodendauer [sec.]	Frequenz [sec. ⁻¹]
1	122		1,3	~0,2	~0,15	5,0	0,2
3	99		5,4	0,2	0,04	2,7	0,37
3	161		9,5	0,6	0,06	2,3	0,43
3	208		8,8	0,6	0,07	1,7	0,59
4	90		4,4	0,9	0,20	4,4	0,23
4	162		4,7	2,7	0,57	2,4	0,42
7	62		1,5	0,5	0,3	3,7	0,27
9	43		~0,1	~0,3	?	?	?

Bild 3.9.2: Nähere Angaben zu den Pulsationen

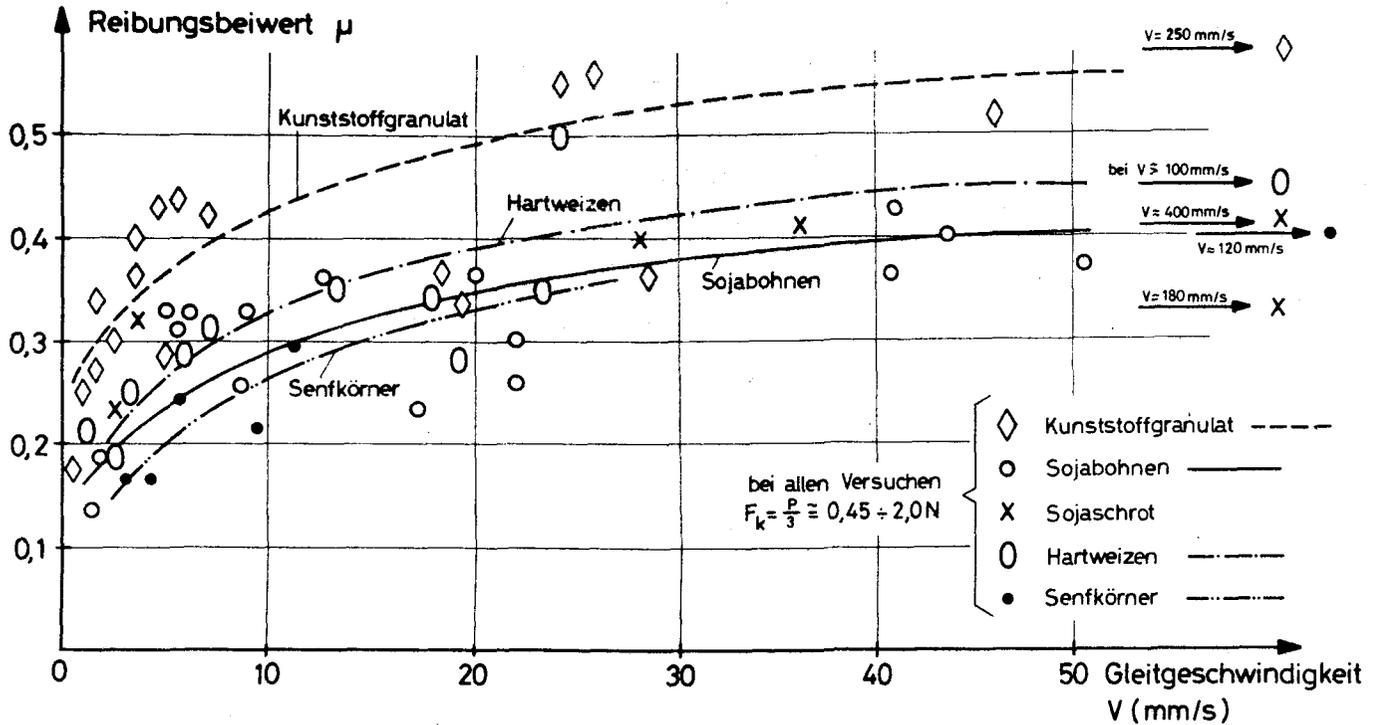


Bild 3.10.1: Reibungsbeiwerte für ungereinigte Glasplatte (Körner fest)

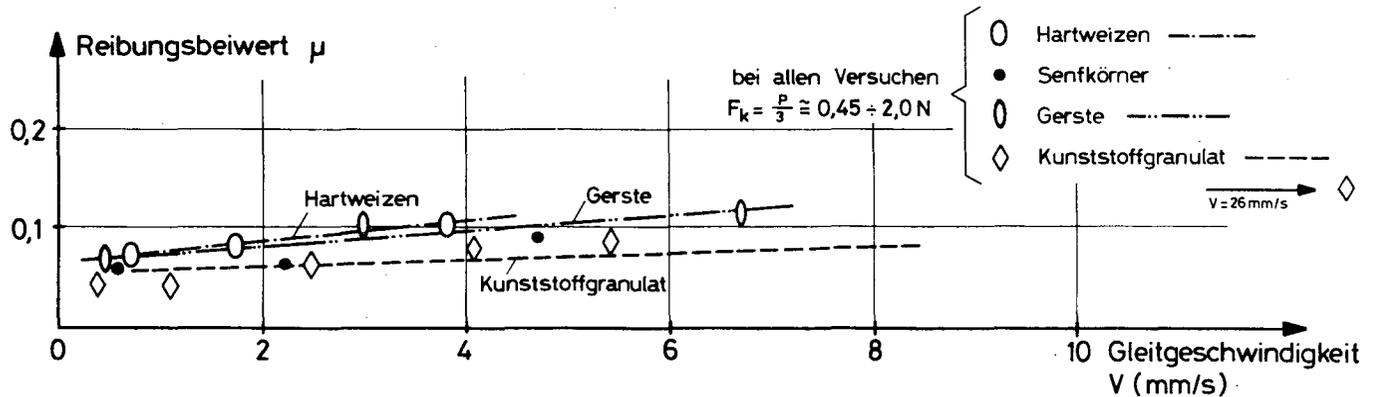
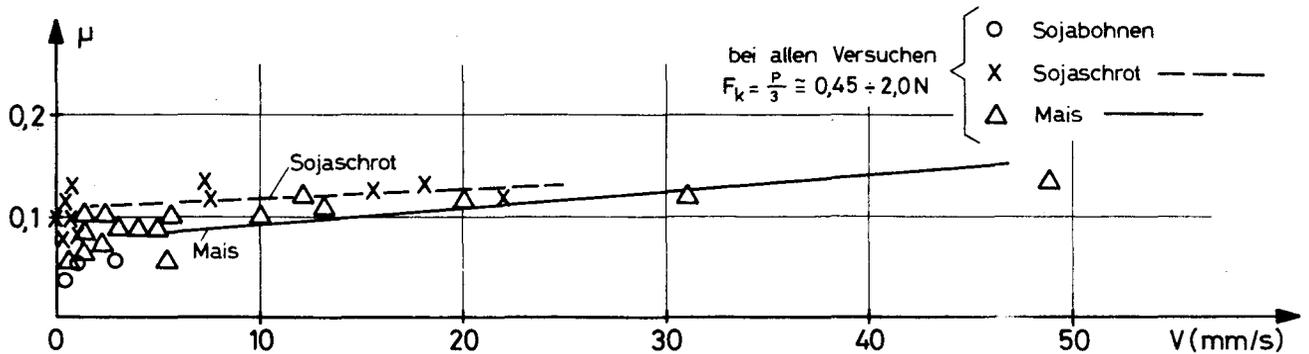


Bild 3.10.2 : Reibungsbeiwerte für azetongereinigte Glasplatte (Körner fest)

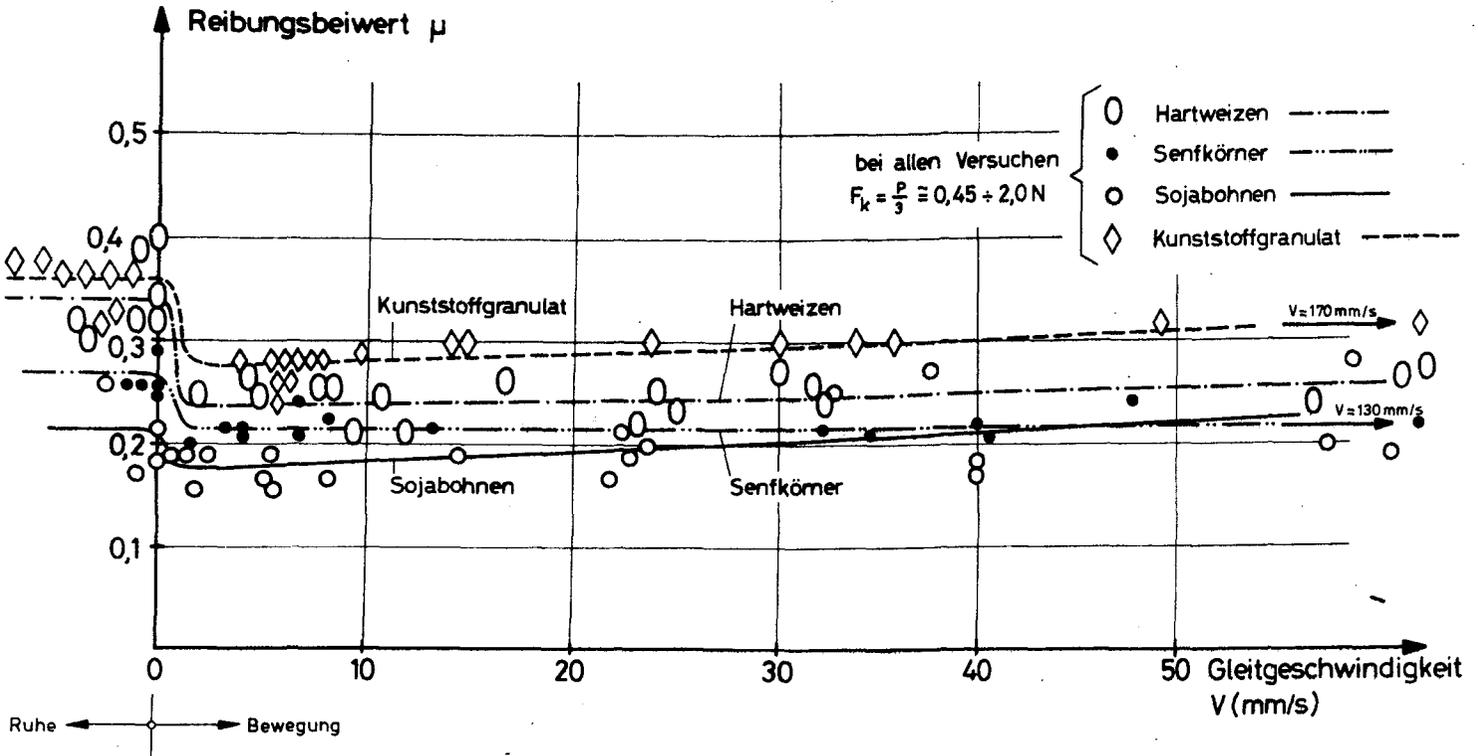


Bild 3.10.3 : Reibungsbeiwerte für kunststoffbeschichtete Schalplatte (Körner fest)

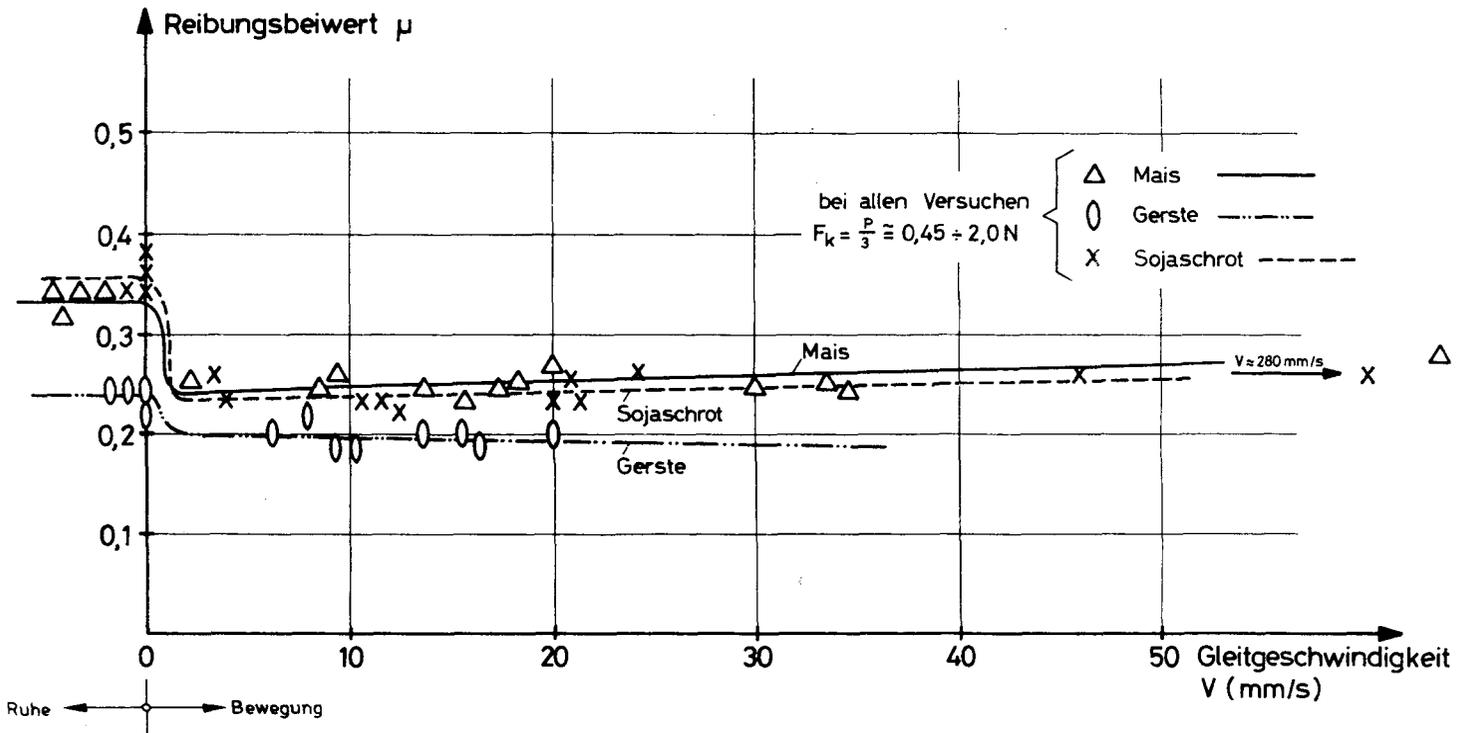


Bild 3.10.4 : Reibungsbeiwerte für kunststoffbeschichtete Schalplatte (Körner fest)

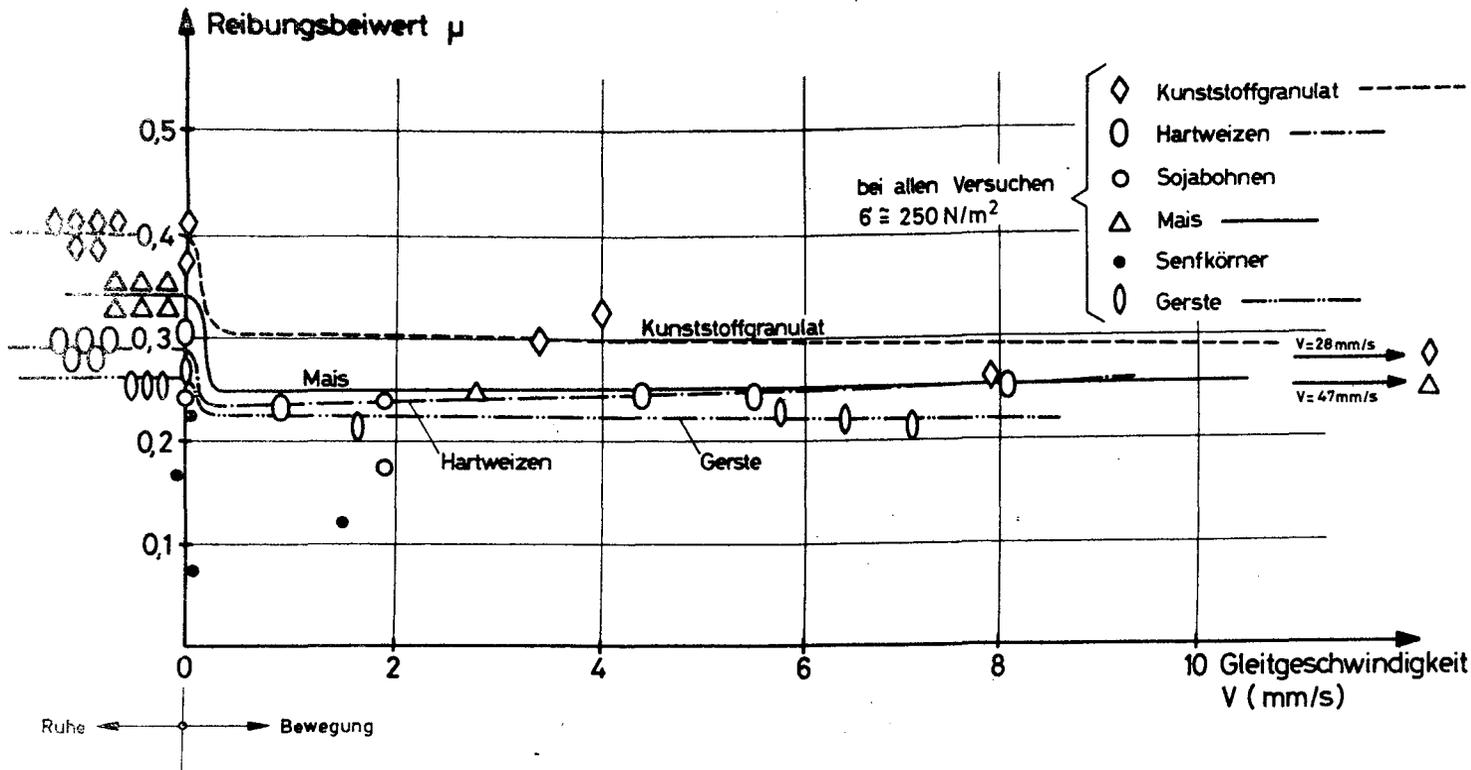


Bild 3.10.5: Reibungsbeiwerte für kunststoffbeschichtete Schalplatte (Körner lose)

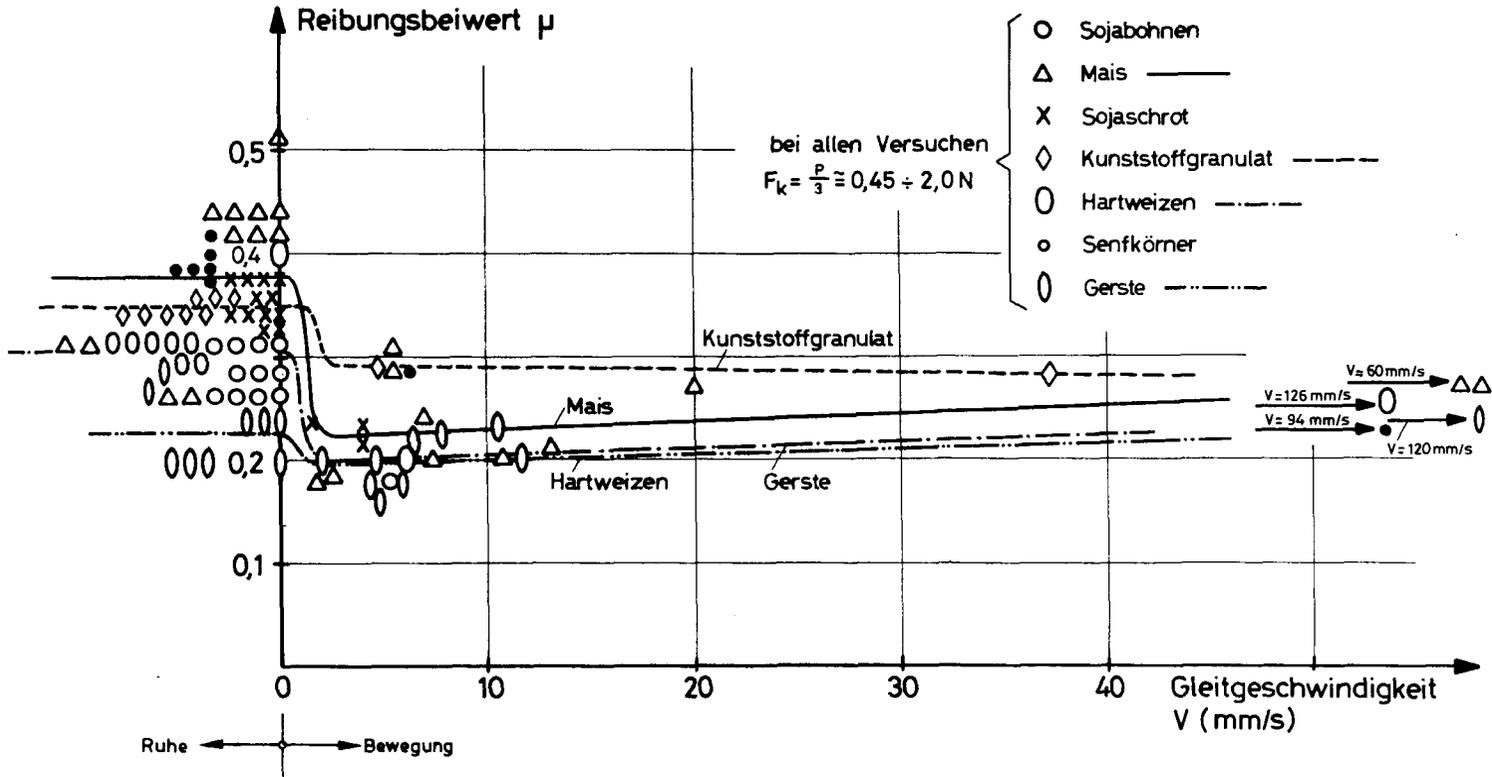
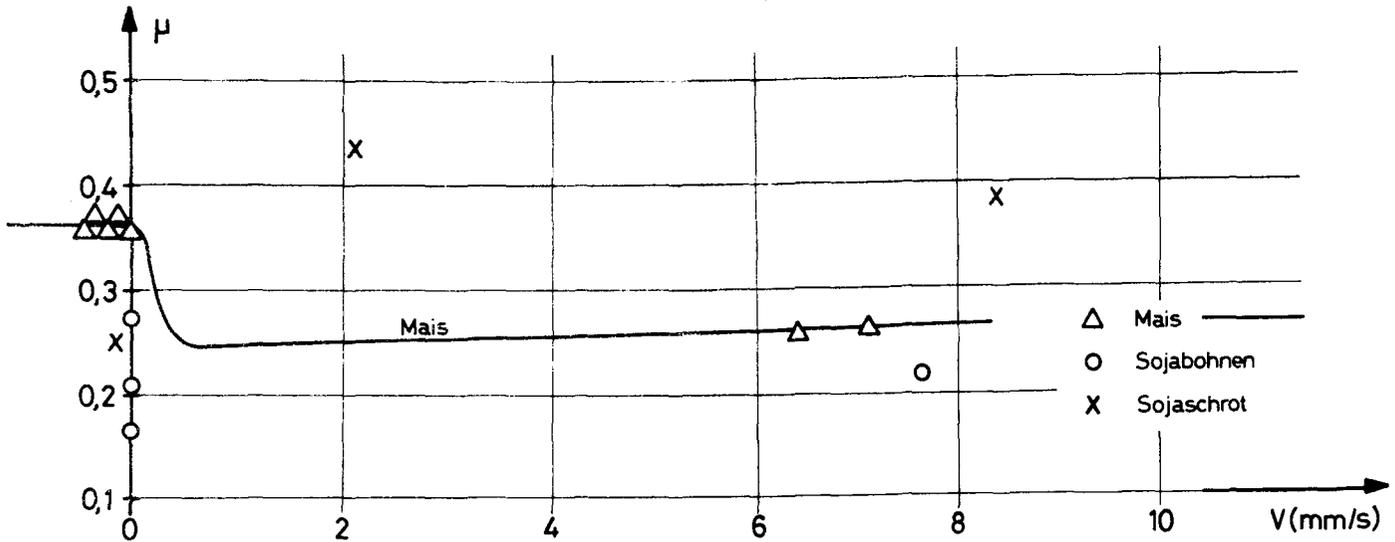


Bild 3.10.6: Reibungsbeiwerte für geschliffene Buchenholzplatte (Körner fest)



bei allen Versuchen $\sigma \approx 250 \text{ N/m}^2$

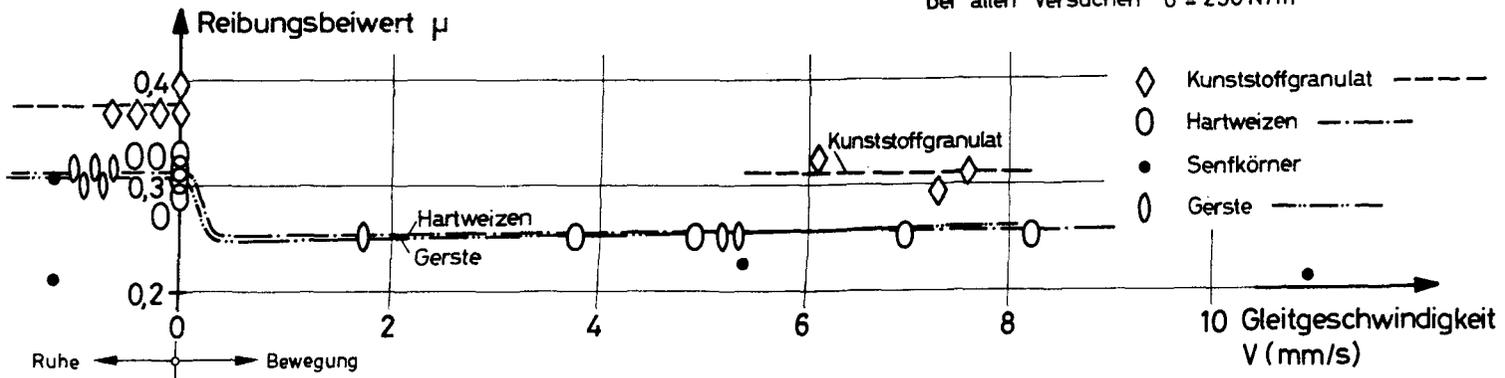


Bild 3.10.7: Reibungsbeiwerte für geschliffene Buchenholzplatte (Körner lose)

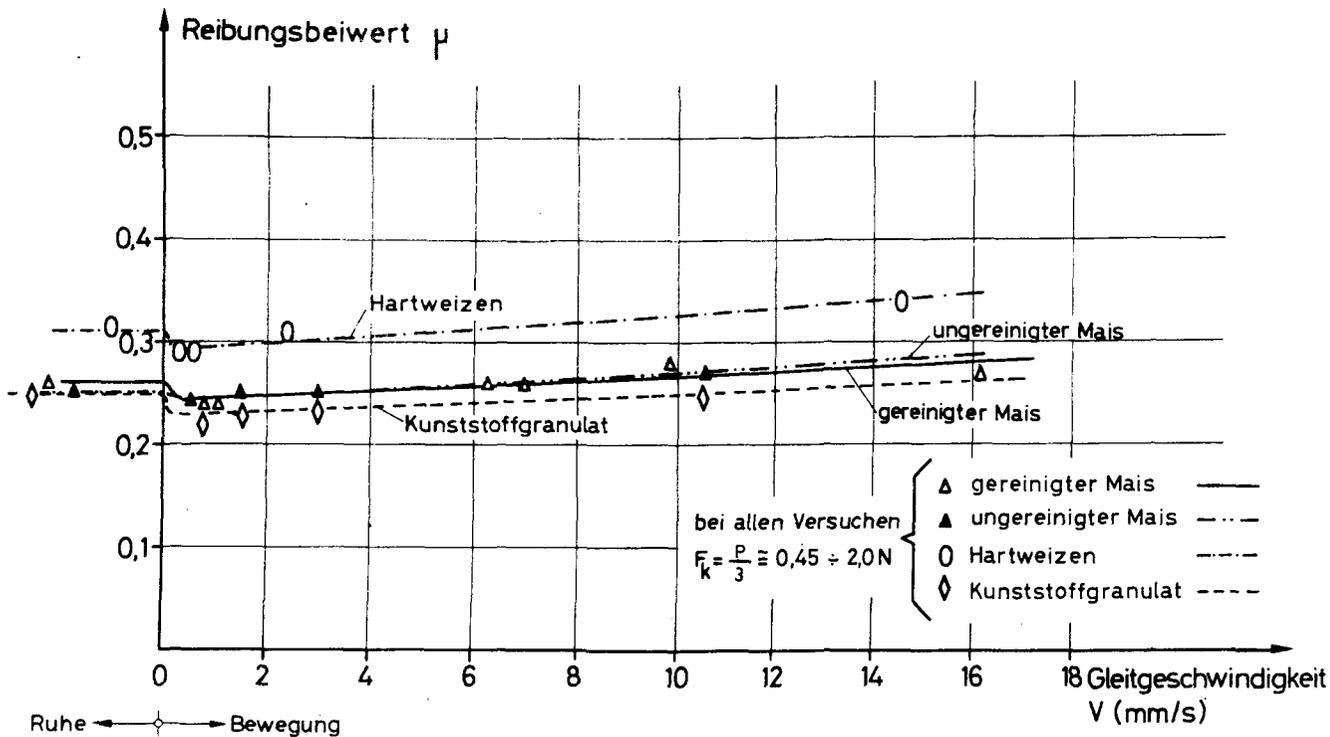


Bild 3.10.9: Reibungsbeiwerte für geglättetes Aluminiumblech (Körner lose)

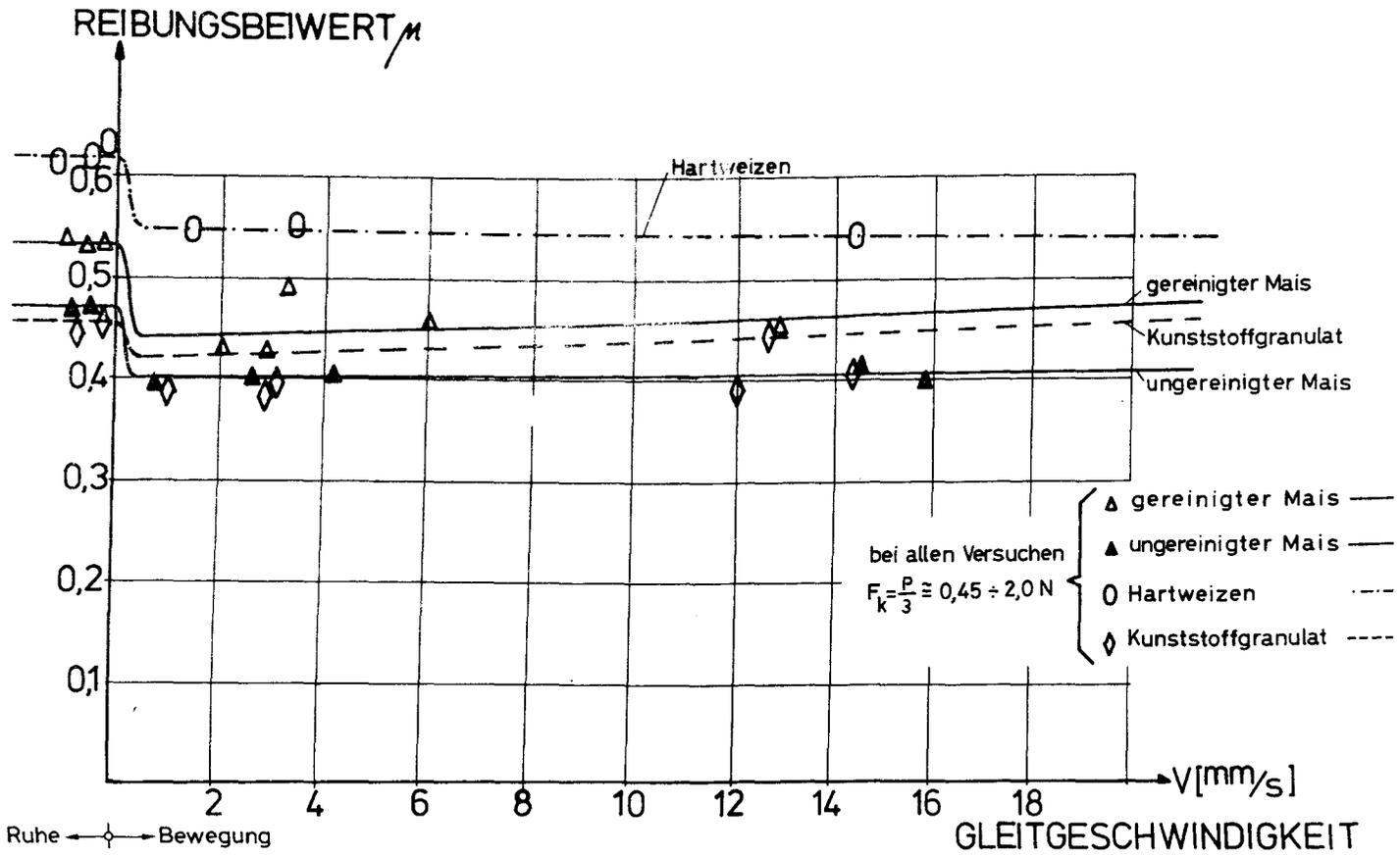


Bild 3.10.11: Reibungsbeiwerte für ungeschliffenes Stahlblech (Körner lose)

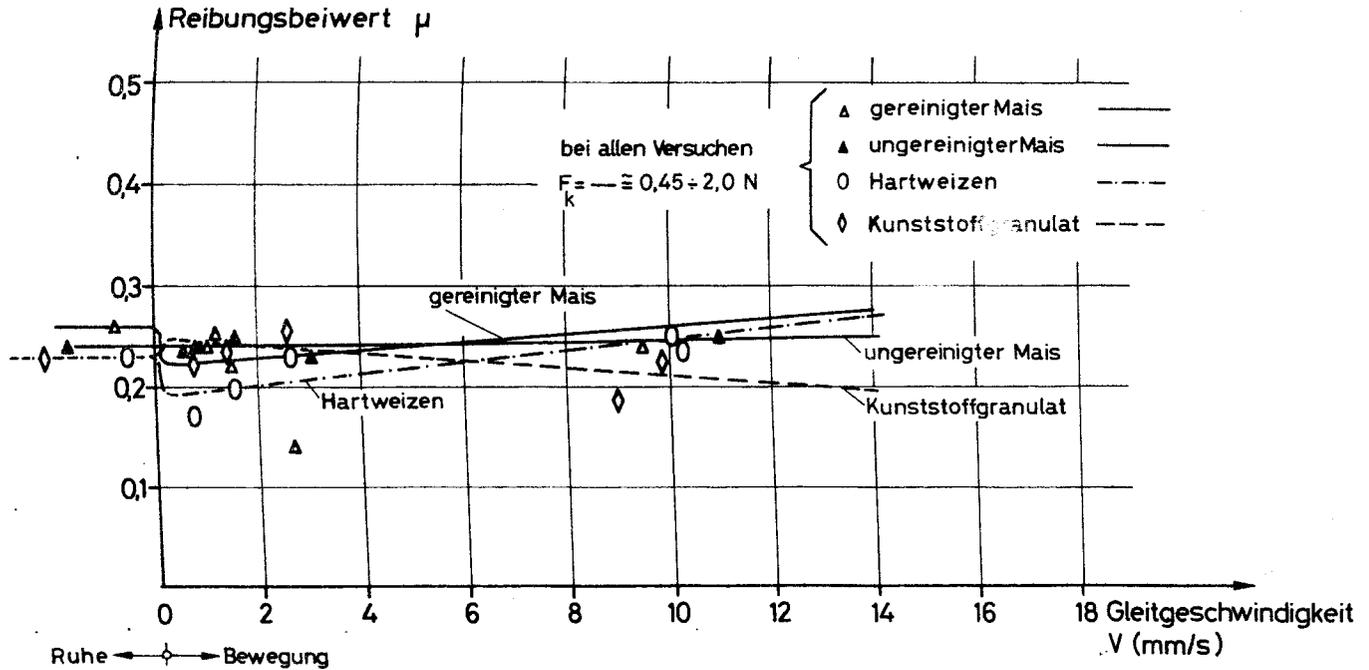


Bild 3.10.12: Reibungsbeiwerte für geglättetes Stahlblech (Körner lose)

In der Schriftenreihe des Instituts für Baustoffe,
Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität
Braunschweig sind bisher erschienen:

- Heft 1: Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öligler Holzschutzmittel (1962)
von Rolf Deters - vergriffen -
- Heft 2: Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff (1963)
von Karl Kordina - vergriffen -
- Heft 3: Zur Stabilitätsfrage des Zweigelenkbogens mit biegeweichem Zugband und schlaffen Hängestangen (1963)
von Josef Eibl - vergriffen -
- Heft 4: Ein Verfahren zur Bestimmung des Vorspannverlustes infolge Schlupf in der Verankerung - Zur Frage der Temperatur-Banspruchung von kreiszylindrischen Stahlbetonsilos - (1964)
von Karl Kordina und Josef Eibl
- Heft 5: Über den Schalungsdruck von Frischbeton (1964)
von Helmut Ertingshausen
- Heft 6: Transportphänomene in Betonporen (1966)
von Nils Valerian Waubke
- Heft 7: Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen (1967)
von Herbert Ehm - vergriffen -
- Heft 8: Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und Flächentragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz (1967)
von Joachim Steinert - vergriffen -
- Heft 9: Untersuchungen an dämmschichtbildenden Feuerschutzmitteln (1967)
von Axel Lämmke - vergriffen -
- Heft 10: Beitrag zur Frage der Kippstabilität aufgehängter Balkenträger und gerader, flächenartiger Träger (1968)
von Kamal Fouad Rafla - vergriffen -
- Heft 11: Die Traglast von offenen, kreisförmigen Stahlbetonquerschnitten - Brazier-Effekt - (1968)
von György Iványi - vergriffen -
- Heft 12: Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der Klassen A und B, insbesondere aus Baustoffen der Klasse A 2 (1969)
von Claus Meyer-Ottens - vergriffen -
- Heft 13: Zum Tragverhalten von kreisförmigen Doppelsilos unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit des Füllgutes (1969)
von Günther Fuchs - vergriffen -

- Heft 14: Wände aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff (1970)
von Claus Meyer-Ottens
- Heft 15: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten an Hand von Betongüte-
würfeln und -bohrproben (1970) - vergriffen -
von Ralf Lewandowski
- Heft 16: Untersuchungen zur Frage der Rissesicherung von leichten
Trennwänden aus Gips-Wandbauplatten (1970) - vergriffen -
von Fritz-Joachim Neubauer
- Heft 17: Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton (1970)
von Claus Meyer-Ottens und Karl Kordina
- Heft 18: Die Stahlblech-Holz-Nagelverbindung und ihre Anwendung -
Grundlagen und Bemessungsvorschläge - (1971)
von Wilfried Bödeker
- Heft 19: Bauaufsichtliche Brandschutzvorschriften - Beispiele für ihre
Erfüllung bei Wänden, Brandwänden und Decken - (1971)
von Claus Meyer-Ottens - vergriffen -
- Heft 20: Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfei-
lern mit Rollenlagern (1972)
von Kurt Liermann
- Heft 21: Zum Trag- und Verformungsverhalten ebener Stockwerkrahmen
aus Stahlbeton (1972)
von Béla Jankó
- Heft 22: Zur Frage des Spannungsrißkorrosionsverhaltens kohlenstoff-
armer Betonstähle in Nitratlösungen unter Berücksichtigung
praxisnaher Verhältnisse (1972)
von Ulf Nürnberger
- Heft 23: Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton
bei Brandbeanspruchung (1972) - vergriffen -
von Claus Meyer-Ottens
- Heft 24: Über die Steinkohlenflugasche und ihre Wirkung auf die
Eigenschaften von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge im
frischen und festen Zustand (1973)
von Hassan Taha El-Arousy
- Heft 25: Mechanismen der Spannungskorrosion von Spannstählen im Hin-
blick auf ihr Verhalten in Spannbetonkonstruktionen (1973)
von Günter Rieche
- Heft 26: Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen
unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens
des Stahlbetons (1974)
von Eckhard Tennstedt

- Heft 27: Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbetonen bei hohen Temperaturen (1973)
von Ulrich Schneider
- Heft 28: Ein dreiparametrisches, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen (1974)
von Jürgen Neisecke
- Heft 29: Traglastermittlung an Stahlbeton-Druckgliedern (1974)
von Karl Kordina, Peter Maack und Olaf Hjorth
- Heft 30: Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit von Randbalken bei Stahlbetondecken (1974)
von Josef Eibl und György Iványi - vergriffen -
- Heft 31: Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau (1974)
von Karl Kordina und Béla Jankó
- Heft 32: Ein Beitrag zur Frage der Festigkeiten und des hohen Verbundverhaltens von Stahl und Beton bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten (1976)
von Olaf Hjorth
- Heft 33: Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung (1976)
von Wolfram Klingsch - vergriffen -
- Heft 34: Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton (1977)
von Farid Djamous - vergriffen -
- Heft 35: Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen im Brandfall (1977)
von Ataman Haksever
- Heft 36: Ein Beitrag zur Traglastermittlung von vierseitig gelagerten Stahlbetonwänden (1977)
von Karl-Heinz Storkebaum
- Heft 37: Zur thermischen Beanspruchung von Außenstützen im Brandfall (1977)
von Rolf Bechtold
- Heft 38: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten (1978)
von Joachim Steinert
- Heft 39: Ein haufwerkstheoretisches Modell der Restfestigkeit geschädigter Betone (1978)
von Rolf Weiß
- Heft 40: Zum Schwingkriechen von Beton (1978)
Von Willi Alda

- Heft 41: Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken mit rechteckigem Querschnitt unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion (1979)
von Manfred Teutsch
- Heft 42: Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen (1979)
von Ulrich Schneider
- Heft 43: Veröffentlichungen 1967 - 1979

Die Schriftenreihe des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz wird im Selbstverlag herausgegeben.

SOFORTDRUCK BRAUNSCHWEIG