

23996

Entwicklung eines Bodens
für
große Flüssigkeitsbeaufschlagung

16

L. M. M. M.

23997

Verteiler:

Herrn Direktor Dr. Sauer

Herrn Direktor Dr. Strombeck

Herrn Direktor Dr. von Staden

Herrn Dr. Giesen

Herrn OI. Sabel

Herrn OI. Dr. Sackmann

Herrn OI. Keinke

Herrn Dr. Hunisch

Herrn Dr. Dally

Herrn Dr. Wirth

- 4. Versuche mit einem Tunnelboden der Firma Borsig
- 5. Entwicklung eines neuen Stabbodens.
 - 1. Überlegungen, die zur Entwicklung des Stabbodens führten.
 - 2. Versuche mit dem neuen Stabboden.
 - 3. Stabboden mit Ventilstäben.
 - 4. Vor- und Nachteile der Botsen.

6. Versuche mit einem Stabboden 1000 mm Ø.

- 1. Bauart und Versuchsanordnung.
- 2. Belastungsversuch für Gas und Flüssigkeit.
 - a. 1,2 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
 - b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
 - c. 2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.
- 3. Auswertung der Belastungsversuche.

7. Druckverluste

- a. 1,3 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
- b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
- c. 2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.
- d. Druckverlustkoeffizient.

8. Photographische Aufnahmen des in Betrieb befindlichen Stabbodens

- a. im Betriebszustand ohne
- b. im Betriebszustand mit

9. Versuch mit einem Stabboden 1000 mm Ø.

- a. Versuchsanordnung für einen Boden mit großem Durchmesser
- b. Zusammenfassung.

Entwicklung eines Bodens für große Flüssigkeits-
beaufschlagung.

A. Versuche mit einem Tunnelboden der Firma Borsig.

Die Firma Borsig hatte für eine Butankolonne, die bei normaler Dampfbelastung mit abnormal hoher Flüssigkeitsbeaufschlagung fahren sollte, einen Tunnelboden angeboten. Da sie aber Klarheit darüber haben wollte, ob sich der Boden für diesen Zweck eignet, wurde ein Versuchsapparat angefertigt, mit dem die Belastungsgrenzen ermittelt werden sollten. Die Versuche wurden in Leuna durchgeführt. Abbildung 1 zeigt den Versuchsboden mit seinen Hauptabmessungen. Die Grundfläche war etwa $1,75 \times 1,95 = 3,4 \text{ m}^2$, die

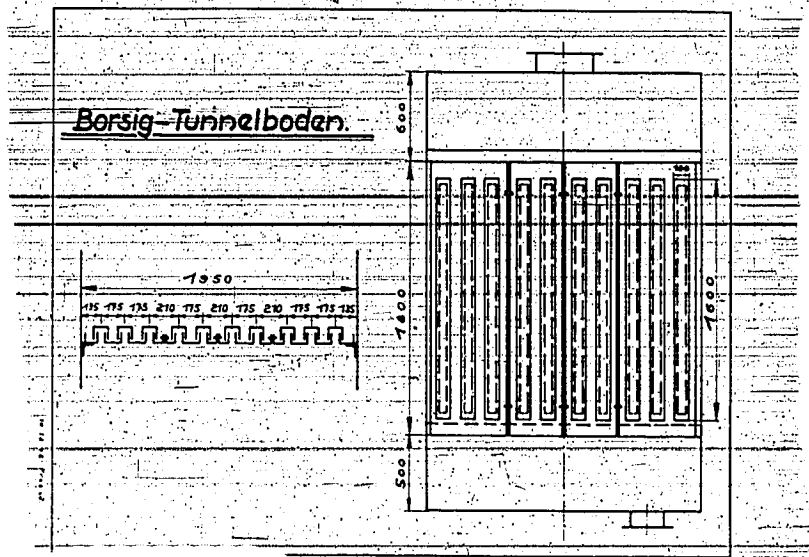


Abbildung 1
Der Borsig-Versuchsboden.

Zahl der Tunnel 10. In D. bzw. 5 der Tunnel waren an einer gemeinsamen
gemeinsamen Grundplatte angeordnet. Diese Platten durch Stege mit-
einander verschraubt waren. Die Stege, die einen Wärmeaustausch
senkrecht zur Strömungsrichtung der Flüssigkeit verhielten, erwiesen

sich als sehr ungünstig und wurden nach den ersten Versuchen abgeholt. Die Überlegungen, die die Firma Borsig zur Wahl eines Tunnelbodens für hohe Beaufschlagung bewegen hatten, waren wohl die, daß die Flüssigkeit zwischen den Tunneln ohne große Hindernisse ablaufen kann und ihr viel weniger Widerstand entgegengesetzt wird, als auf einem Glockenboden, wo eine dauernde Ablenkung der Flüssigkeit durch die Glocken erfolgt und infolgedessen ein viel größerer Strom eintreten muß.

Der Boden hat die in ihm gesetzten Erwartungen nicht erfüllt. Es zeigte sich, daß der Tunnelboden auch nicht mit mehr Flüssigkeit besetzt werden konnte als ein normaler Glockenboden. Dabei war besonders ungünstig, daß die gubeisernen Tunneln sich etwas verzogen hatten und die Schlitze auch bei sorgfältigen Ausrichten nicht die gleiche Eintauchtiefe in die Flüssigkeit hatten. Abbildung 2 zeigt die Grenzwasserkurve des Tunnelbodens bei der auffällt, daß die Gasbelastung nur sehr niedrig einge-

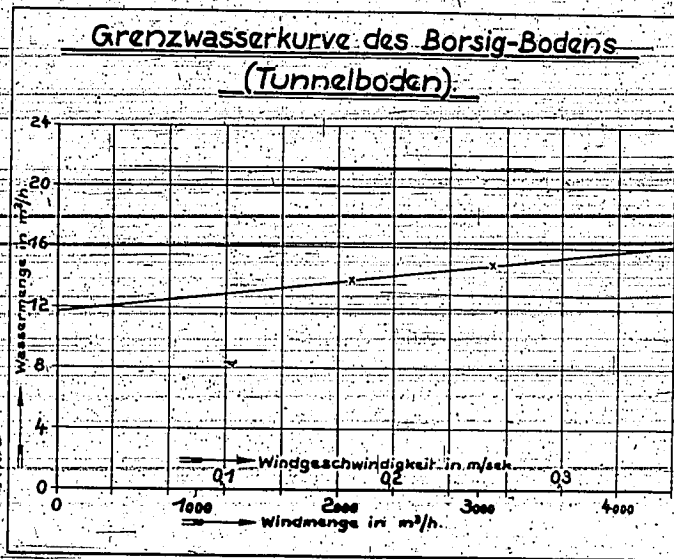


Abbildung 2
Grenzwasserkurve des Borsig - Versuchstunnelbodens.

Auf Abbildung 3 ist der Boden außer Betrieb

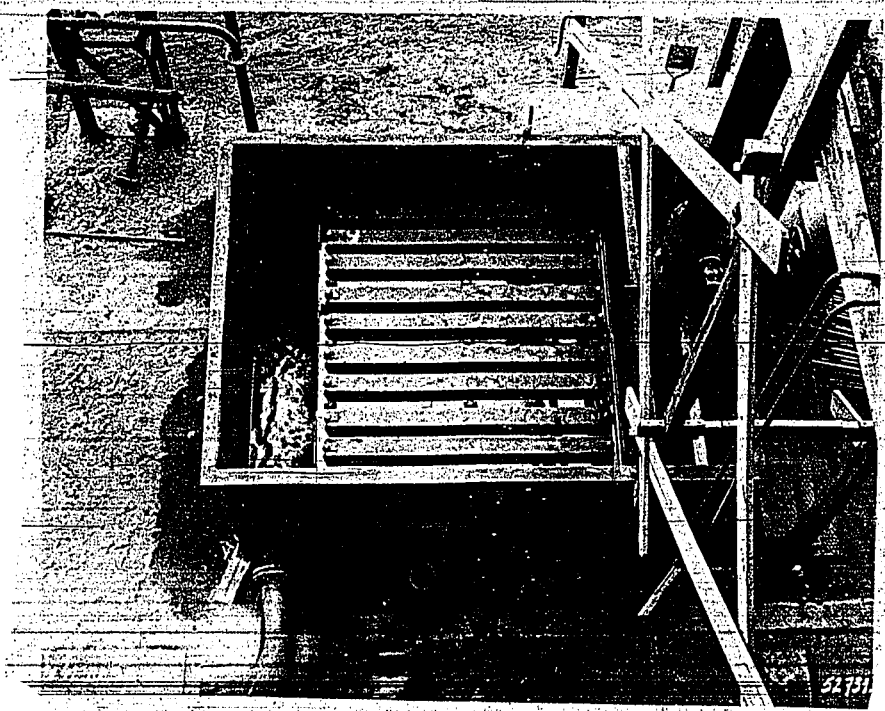
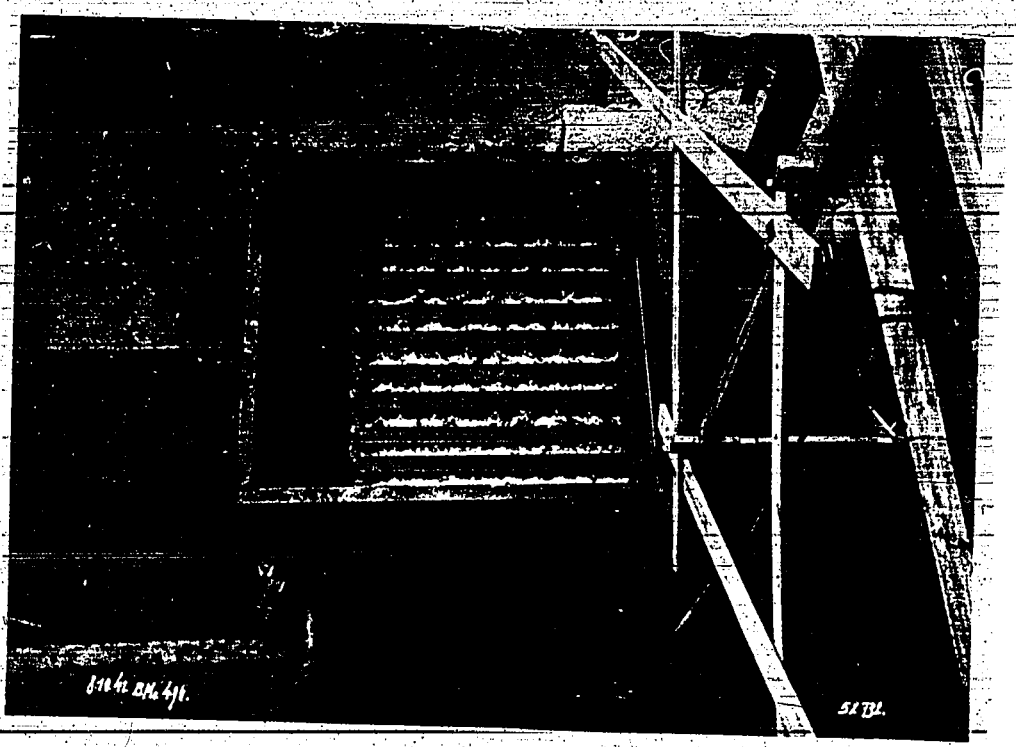


Abbildung 3
Boden-Sachen nicht in Betrieb.

und auf Abbildung 4 in Betrieb bei einer Gasbelastung von 2100 l/n und



einer Wassermenge von 10,1 m³/h zu sehen.

Versuche, die im Niederdruck mit einem Tunnelboden von 3400 mm Ø der Firma Bamg durchgeführt wurden, hatten ganz ähnliche Ergebnisse. Es zeigte sich ebenfalls, daß ein einwandfreies Arbeiten nur bei sehr genauen Ausrichten der Tunnels und in relativ geringen Belastungsgrenzen zu erreichen ist. Nach dieser Erkenntnis wurden die Versuche mit dem Borsigboden abgebrochen, da eine erfolgreiche Weiterentwicklung bis zu den geforderten Leistungen nicht zu erwarten war.

B. Entwicklung eines neuen Stabbodens.

1. Überlegungen, die zur Entwicklung des Stabbodens führten.

Da die gesamte Einrichtung vorhanden war, wurde der Versuch unternommen, aufgrund eigener Überlegungen einen besser geeigneten Boden auszubilden. Es wurde von der Annahme ausgegangen, daß eine Art Stabbodenkonstruktion zur Bewältigung der übermäßig großen Flüssigkeitsmengen

mit besonderer Regelmäßigkeit im Vergleich des normal üblichen Stabbodens mit

von 1700 mm Länge mit

Stab

Stab

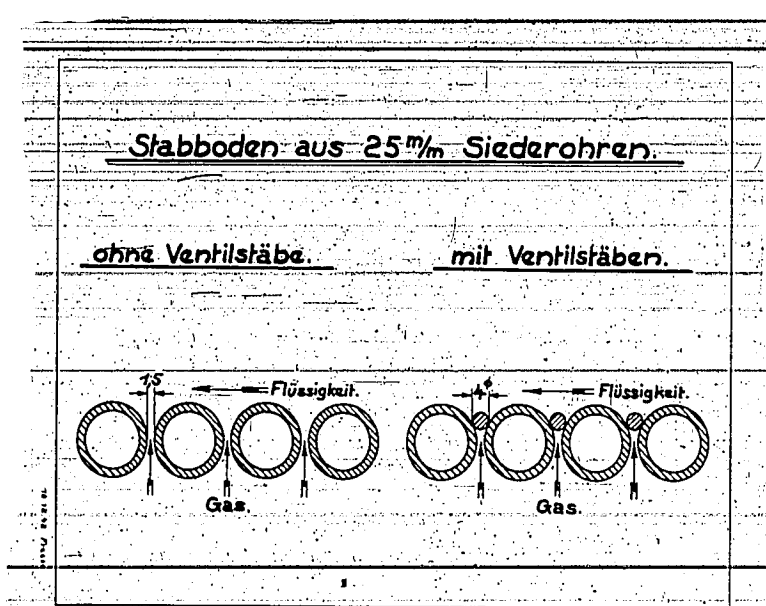


Abbildung 5
Schnitt durch einen Stabboden mit und ohne Ventilstäbe.

nebeneinander legte. Benutzt wurden dabei Rohre, die für einen Kondensator als Kühlrohre im zugeschnittenen Längen zur Verfügung standen.

Durch Verwendung dieser Rohre wurde eine dünnflüssige Ausbildung des Gasedurchtrittes durch den Boden erreicht und wir erwarteten dadurch einen geringeren Druckverlust als bei Siebböden, die keine Vergrößerung des Strömungsquerschnittes in Richtung des Gasaustrittes aus dem Boden aufwiesen.

2. Versuche mit dem neuen Siebboden.

Der Boden arbeitete schon bei den ersten Versuchen verhältnismäßig gut, trotzdem keine besondere Sorgfalt auf seine Herstellung verwendet worden war, so waren zum Beispiel die Rohre nicht genau gereinigt und die rechteckigen Schlitzreihen wankten in ihrer Breite etwa von 2 bis 3 mm. Mit dem Boden ließ sich ohne weiteres die geforderte Flüssigkeitsmenge von ca. 150 l/h bei gleichmäßiger Strömungsweise aus dem Boden ablassen.

Ungleichmäßig war der geringe Sekundärdruck auf der Wasseseite. Bei kleinerem Gasmengefluß insbesondere beim Anfahren des Bodens die Flüssigkeit durch die ganzen Schlitzreihen durch, so daß der Boden nicht an Spannung war. Bei hohen Gasleistungen wurde der Boden infolge von Schwingungen des Gases stark hergeblasen.

Siebböden mit Ventillösungen.

Die Ventillösungen des Bodens bei geringen Flüssigkeitsmengen zu verhindern, werden, wie aus Abbildung 5 zu ersehen ist, zwischen die 4 mm Durchmesser kleine zylindrische Stäbe von 4 mm (Schweißstabe) gelegt, von denen ein Ventilarrangement erhoffen erwartet wurde. Der gewünschte Erfolg trat auch ein, die Stäbe wurden auch bei Flüssigkeit in die Schlitzreihen gedrückt und blieben dieselben nur durch den Gasdruck weiter die Stäbe durch den Boden aus dem Ventilarrangement in die Flüssigkeit einströmen.

Abbildung 6 zeigt den Stabboden außer Betrieb.

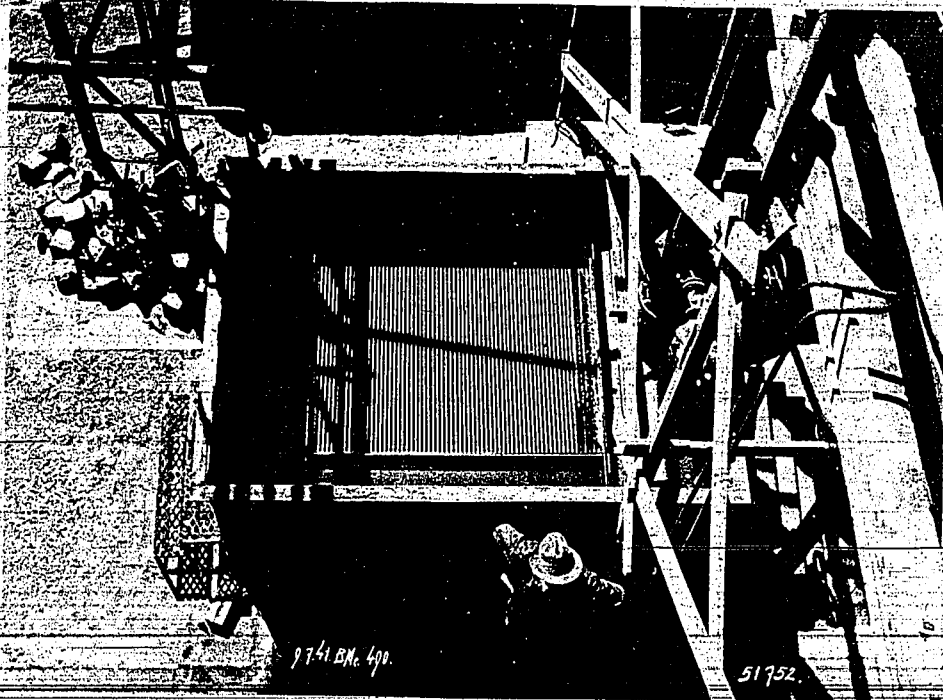
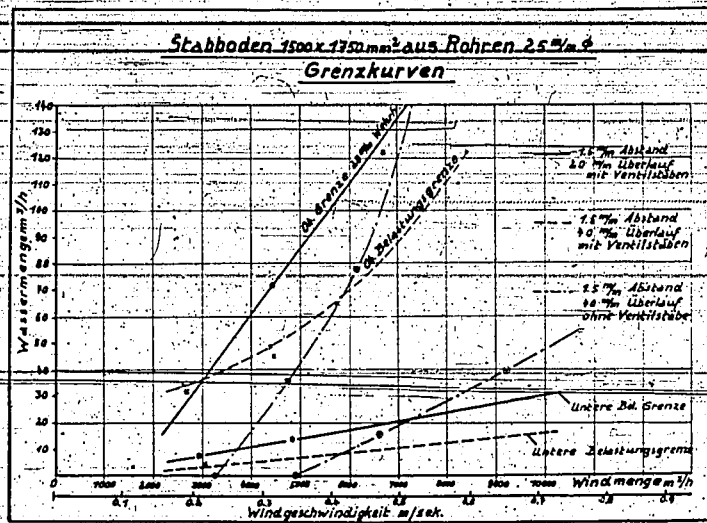


Abbildung 6
Stabboden 1,50 m x 1,75 m aus 25 mm Stab-
außer Betrieb.

In Abbildung 7 sind die Grenzkurven eingetragen, die unter



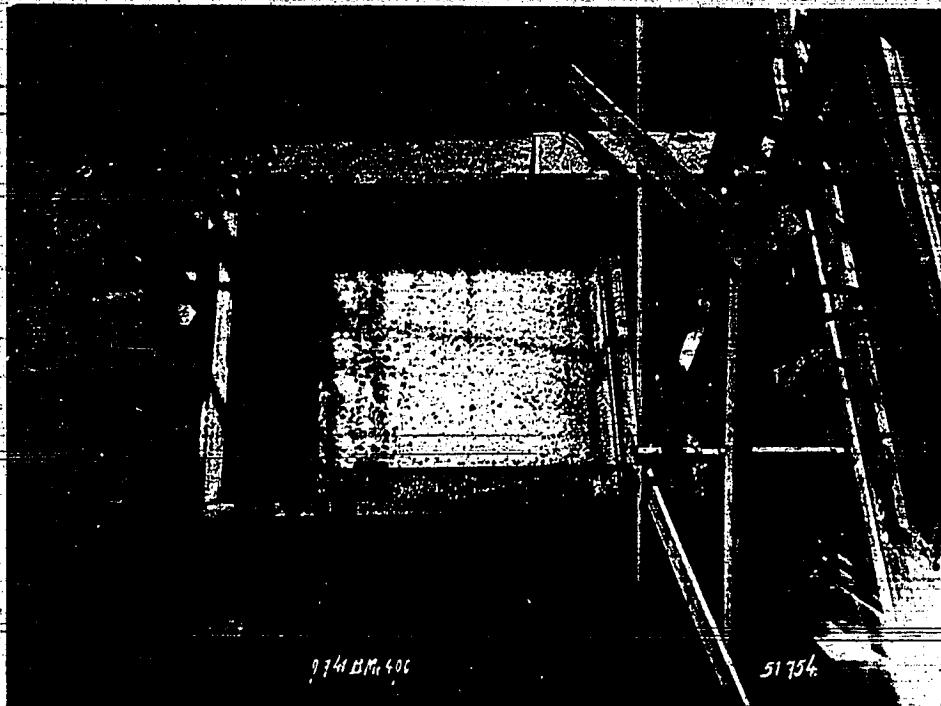
0 173

Abbildung 7
Stabboden 1500 x 1750 mm aus Röhren 25 mm ϕ
Grenzkurven des Bodens mit 1,5 m Abstand

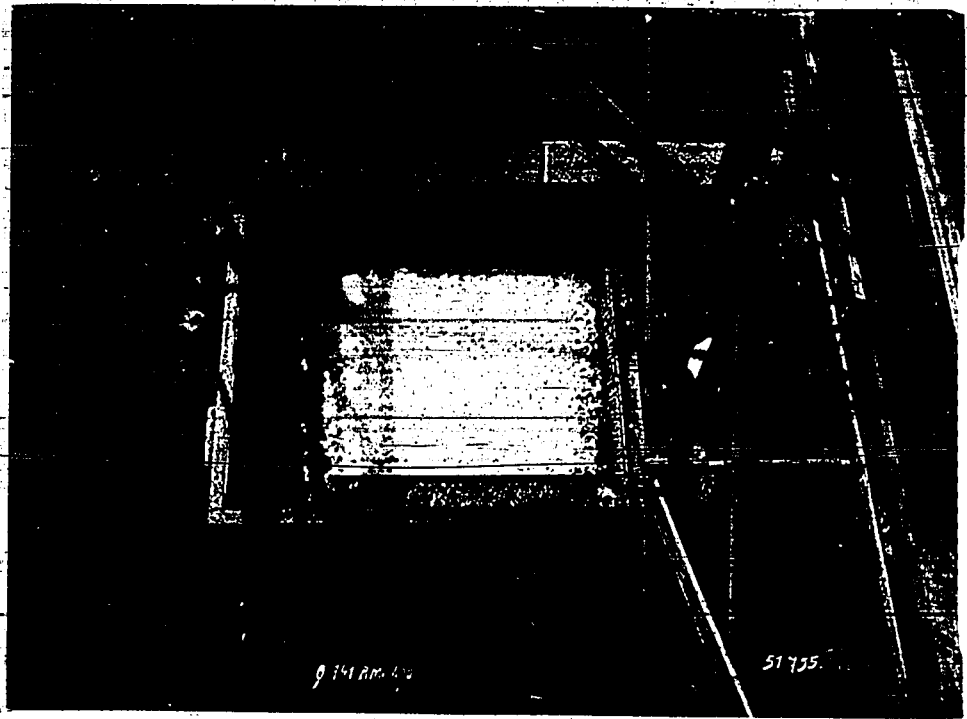
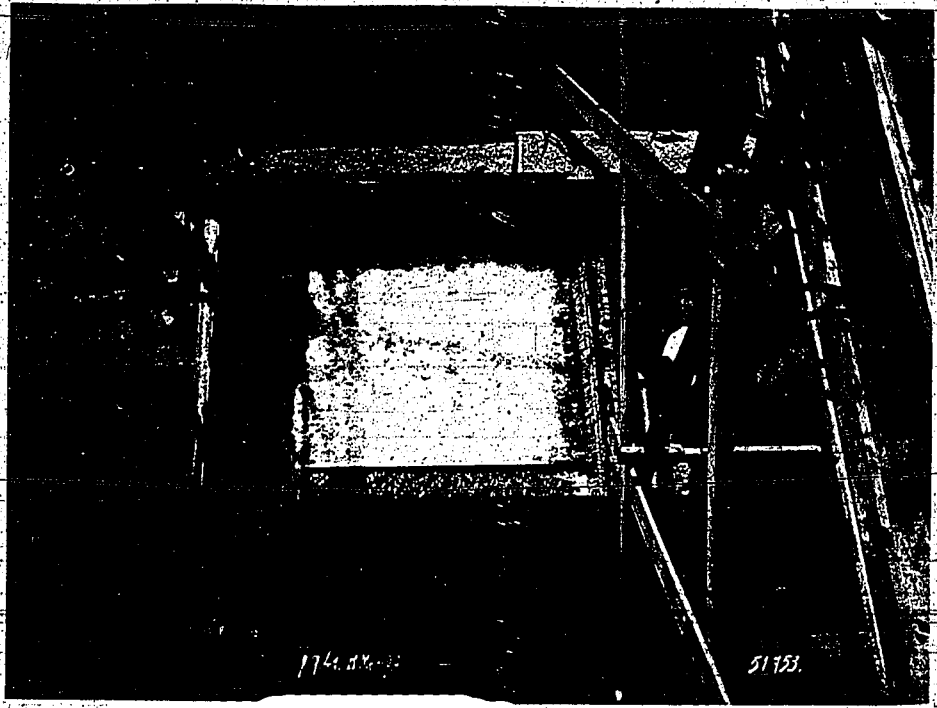
verschiedenen Betriebsbedingungen untersucht wurden. Der oberste Boden mit einer Höhe von 1,5 m. Die Versuche wurden mit einem Überlauf durchgeführt. Die Flüssigkeitsbelastung konnte bis auf 200 l/h gesteigert werden. Durch Erhitzen der oberen Bodenfläche wurde die obere als auch die untere Bodenfläche mit einer Gasbelastung verschoben. Um also einen Boden zu erhalten, der bei geringen Gasmengen arbeitet, muß der Druckverhältnis gering als möglich halten. Die untere Bodenfläche wird dadurch bedingt, daß infolge von Schwingungen der Stäbe, die eine Stabweite von 1,5 m hatten, der Boden an einer Stelle leicht abheben wurde.

In die Abbildung 7 sind ferner die Probestücke für den gleichen Boden ebenfalls mit 1,5 m Stababstand, ohne eine Ventilstange, eingezeichnet. Man sieht, daß der Belastungsbereich, in dem der Boden arbeitet, durch Entfernen der Ventilstange wesentlich geringer geworden ist. Der Boden fängt erst bei höherer Gasbelastung an zu arbeiten und wird auch bei einer geringeren Gasbelastung leerlassen, als ein Boden, der mit Ventilstäben ausgerüstet ist.

Die folgenden 4 Abbildungen zeigen einige fotografische Aufnahmen des Bodens bei verschiedenen Betriebsbedingungen. Die Abbildung 8 zeigt den Boden bei einer Gasbelastung von 100 l/h. Die Abbildung 9 zeigt den Boden bei einer Gasbelastung von 200 l/h. Die Abbildung 10 zeigt den Boden bei einer Gasbelastung von 300 l/h. Die Abbildung 11 zeigt den Boden bei einer Gasbelastung von 400 l/h.



Die Einstellung der Kugel mit der Flüssigkeit ist sehr schwach,
die Kugel ist bei der Beobachtung als kleine Fläche sehr langsam



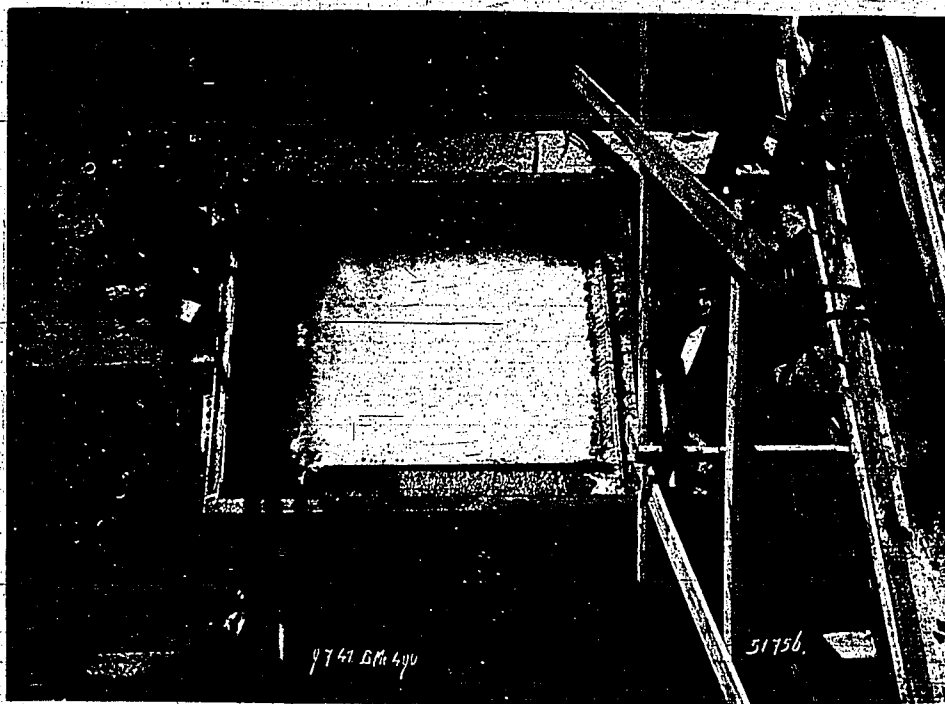


Abbildung 11

Stabboden, Mindbelastung 8400 $\frac{m}{h}$ Wasserbelastung 34,5 $\frac{m}{h}$

Man sieht, daß das Arbeiten des Bodens mit der Erhöhung der Gasbelas-
tung immer besser geworden ist.

Für eine größere Wasserbeaufschlagung liegen jedoch keine Erfahrungen

vor. Das Abgeben des Bodens verschlechtert sich jedoch dabei immer

halb in der oben angegebenen Menge in keiner Weise

Abbildung 12 zeigt nochmals für einen gleichen Boden mit 1,5 mm Rohrab-

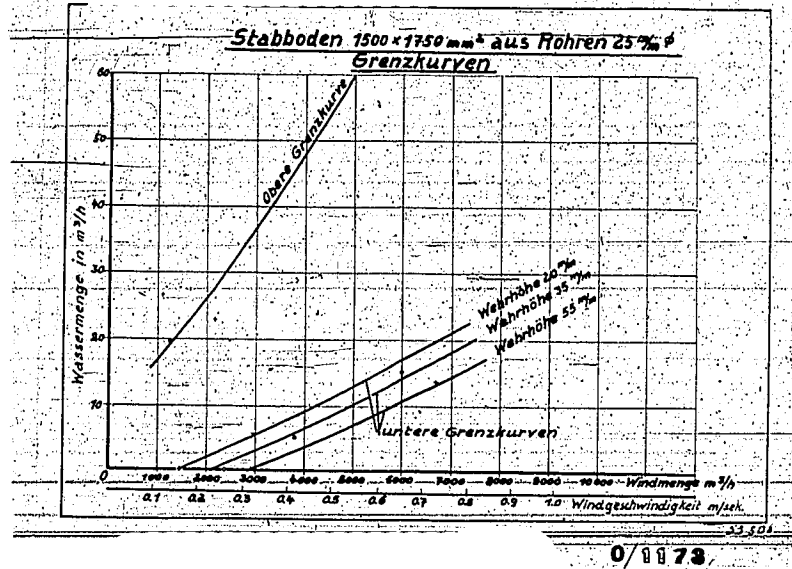


Abbildung 12
Stabboden 1500 x 1750 mm² aus Stabrohren 25 mm ϕ
mit Vertikalstäben 4 mm ϕ , Grenzkurven des Bodens
für verschiedene Wehrhöhen.

Grundgesamtheit der Wehrhöhe, dabei war die Streckung der Verstärkungsstäbe für die obere Grenzkurve so groß, dass für die 3 Teile nur eine Wehrhöhe eingezeichnet wurde. Die obere Grenzkurve ist für eine Wehrhöhe von 20 auf 55 cm ein Beispiel für einen größeren Bodenaufbau vorliegt. Diese Berechnung ist zu erklären, dass durch den höheren Stand des Flüssigkeit auf dem Boden eine bessere Dampfung der Staubschwingung eintritt und der Boden deshalb von Flüssigkeit nicht so leicht durchdrungen wird.

Vor- und Nachteile des Bodens.

Als besonderer Vorteil des Bodens hat er eine große Belastbarkeit mit Flüssigkeit, der Nachteil ist die relativ geringe Belastbarkeit bei hohen Wehrhöhen, dessen obere Grenze durch Schwingungen des Bodens, dessen untere Grenze mit dem Durchregen der Flüssigkeit zu erklären ist. Eine bessere Abdichtung der Stäbe, insbesondere bei hohen Wehrhöhen, ist in dieser Hinsicht notwendig zu berücksichtigen. Die Stäbe sollten in einem Boden so groß

Die Versuche mit großem Material- und Leuteaufwand durchzuführen waren, wurde zur weiteren Erforschung des Stabbodens mit Ventilstäben ein kleinerer Versuchsboden mit 1000 mm Durchmesser gebaut und an 15 genauere Messungen durchgeführt.

Versuche an einem Stabboden mit 1000 mm Durchmesser.

Konstruktion und Versuchseinrichtung.

Die Konstruktionszeichnung des Versuchsbodens ist aus Abbildung 13 zu ersehen. Der Boden besteht aus 25 Rohren, von 25 mm lichtigem Durchmesser. Durch Plattenblöcke verschiedener Größe war es möglich, den

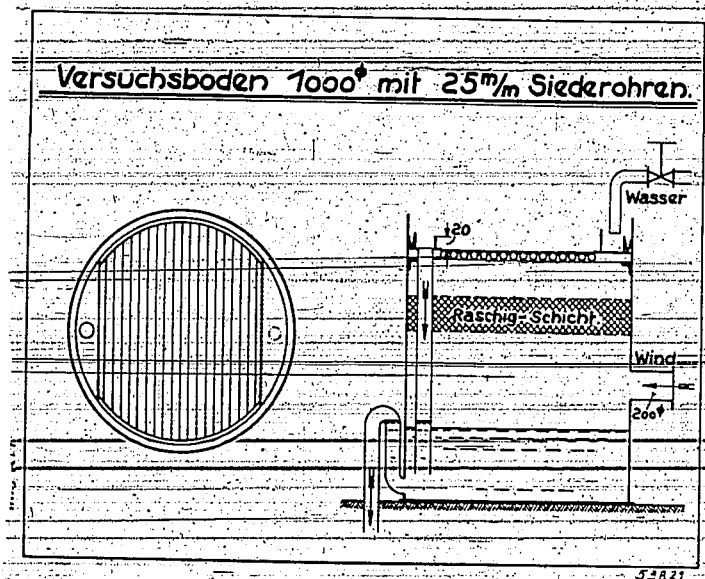


Abbildung 13
Versuchs-Stabboden 1000 mm

... bestehend und damit die Rohrstärke in Größen von 0-2,5 mm zu

... von einem schließlichen

... durch einen Schieber in weiten Grenzen vermindert werden.

... dem Boden war eine Rastungsschicht angeordnet, durch welche die

... Luft zuerst hindurchstreichen konnte, um ein gleichmäßiges Auftreffen

... auf dem Boden zu erreichen.

Die Rohre, welche den eigentlichen Boden bildeten, stützten sich

... auf dem Boden des Rohrs von 1000 mm Durchmesser.

war und wurden von oben her durch eine Deckplatte auf diesen Winkel-
 eisring gedrückt. Die Ventilstäbe waren durch die Deckplatte in ihrer
 Bewegung nach oben begrenzt, sonst aber frei beweglich. Das Auflaufen
 der Flüssigkeit auf den Boden erfolgte über ein gezacktes Wehr, der Ab-
 lauf vom Boden über ein konstant eingestelltes gerades Wehr von 20 mm
 Höhe. Der Boden, Abbildung 14, war in der eigenen Betriebswerkstätte

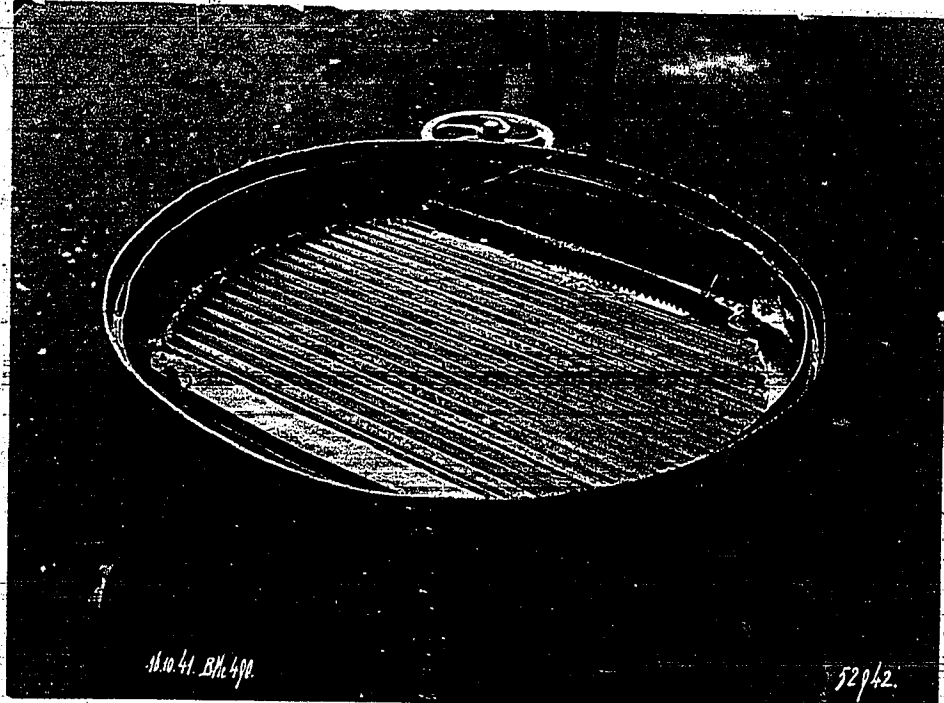


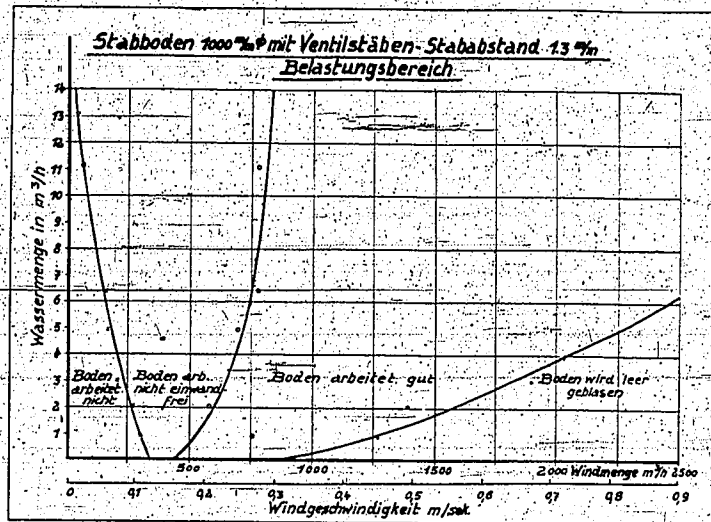
Abbildung 14
 Boden des Versuchsaufbaus mit Wehrräumen 25 mm
 mit Ventilstäben.

hergestellt und erlaube in Bezug auf Genauigkeit der Herstellung kei-
 nesfalls alle Wünsche, sodass bei einem in einer Spezialwerkstätte mit
 größerer Genauigkeit angefertigten Boden voraussichtlich noch bessere
 Ergebnisse zu erwarten sind.

Belastungsbereich für Gas und Flüssigkeit.

a) 1,5 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.

Abbildung 15 zeigt den Belastungsbereich des Bodens bei
 1,5 mm Abstand der Röhre unter Verwendung von massiven 2 mm Ventilstäben.
 Der Boden weist zuerst bei niedrigeren Gasdrücken ein Ge-
 biet auf, in dem ein Arbeiten überhaupt nicht möglich ist und die



0/1173

Abbildung 15
 Stabboden 1000 mm Ø mit Ventilstäben 4 mm Ø, Stababstand 13 mm Belastungsbereich des Bodens

dadurch gekennzeichnet ist, daß die Flüssigkeit durch den Boden hindurch regnet. Ein Überlaufen von Flüssigkeit am Ablaufrohr erfolgt in diesem Falle nicht. Bei einer Flüssigkeitsbeaufschlagung von 1 l/s wird dieser Bereich gekennzeichnet, durch windgeschwindigkeitsspezifische Messungen auf dem freien Querschnitt der Kolonne, bei einer Windgeschwindigkeit von 0,1 m/sec., bei einer Flüssigkeitsbeaufschlagung von 2,5 l/s kleiner als 0,05 m/sec. Bei höherer Flüssigkeitsbeaufschlagung ist dies nicht, indem der Boden nicht arbeitet, sondern sich nicht kleiner als bei geringen Wassermengen.

An den Bereich, an dem der Boden nicht arbeitet, schließt sich ein solcher an, indem kein vollständig einwirkendes Wasser in die Poren des Bodens zu strömen ist. In diesem Bereich regnet das Wasser nicht vollständig gleichmäßig durch den Boden hindurch. Die Oberbeaufschlagung genügt nicht, um den Boden auf seiner ganzen Fläche zum Arbeiten zu bringen. Dieser Bereich nicht einwandfrei Arbeitens erstreckt sich zum Teil auch bei einer Flüssigkeitsbeaufschlagung von 5 l/s von 0,07 bis etwa 0,25 m/sec. Windgeschwindigkeit. An den Bereich nicht einwandfrei arbeiten, schließt sich

dann ein Gebiet an, in dem der Boden gleichmäßig arbeitet. Für die vorhin erwähnte Flüssigkeitsbelastung von 5 m³/h geht dieses Gebiet von 0,25 m/sec. bis 0,8 m/sec. Windgeschwindigkeit. Überschreitet man 0,8 m/sec. dann gelangt man in ein Gebiet, in dem der Boden von Flüssigkeit leergeblasen wird. Je höher man mit der Flüssigkeitsbeaufschlagung geht, umso höher kann man auch die Windgeschwindigkeit wählen, ohne daß Störungen in der Flüssigkeits- oder Gas-Verteilung eintreten.

Entfernt man die Ventilstäbe von dem Boden, ohne daß man sonst etwas am Abstand der Rohre ändert, so zeigt sich nach Abbildung 16, daß sich der untere Bereich in dem der Boden nicht arbei-

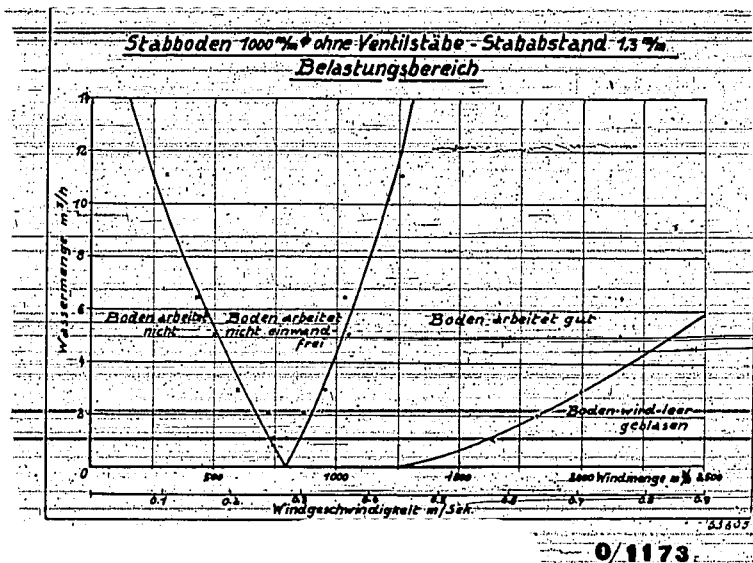


Abbildung 16
 Stabboden 1000 mm Ø ohne Ventilstäbe, Stababstand 1,3 mm Belastungsbereich des Bodens.

tet, besonders bei kleinen Wassermengen in ein Gebiet viel größerer Windgeschwindigkeiten erstreckt. Für die Wassermenge von 5 m³/h benötigt man zum Beispiel eine Windgeschwindigkeit von 0,465 m/sec., um überhaupt ein Arbeiten des Bodens zu erreichen. Demnach ist der Bereich, in dem der Boden nicht einwandfrei arbeitet, größer als wenn man Ventilstäbe anwendet und stellt sich bei einer Wassermenge von 5 m³/h und einer Windgeschwindigkeit von 0,37 m/sec. ein. Das Gebiet, in dem der Boden leergeblasen wird, ist ungefähr das

gleiche, wie bei einem Boden mit Stäben. Nur bei sehr kleinen Flüssigkeitsbelastungen läßt sich die Windgeschwindigkeit gegenüber dem Boden mit Ventilstäben sogar erhöhen. Der Vergleich von Abbildung 15 und 16 ergibt aber ganz einwandfrei, daß das Gebiet, in dem der Boden ohne Stäbe gut arbeitet, kleiner ist als bei dem Boden mit Stäben und daß insbesondere der letztere Boden schon bei wesentlich kleineren Gasbelastungen einwandfrei funktioniert.

b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.

Die Belastungskurven des Bodens mit Ventilstäben haben nach Abbildung 17 angenähert die gleiche Charakteristik wie bei dem Bo-

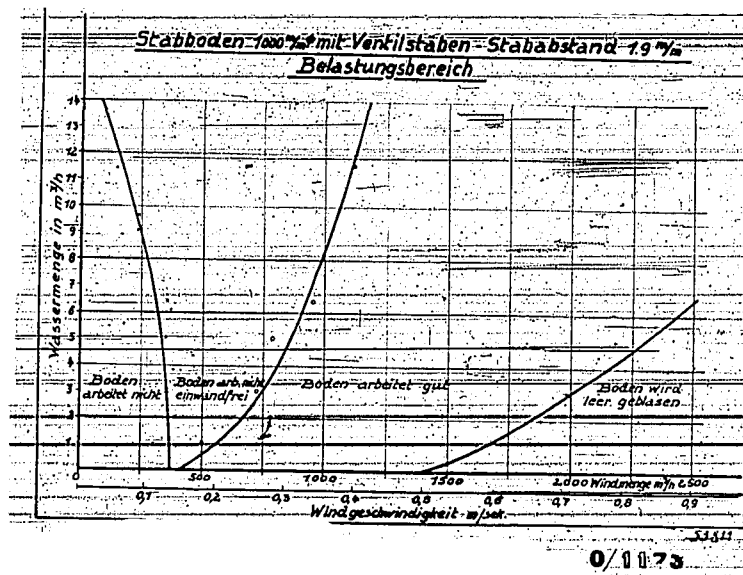


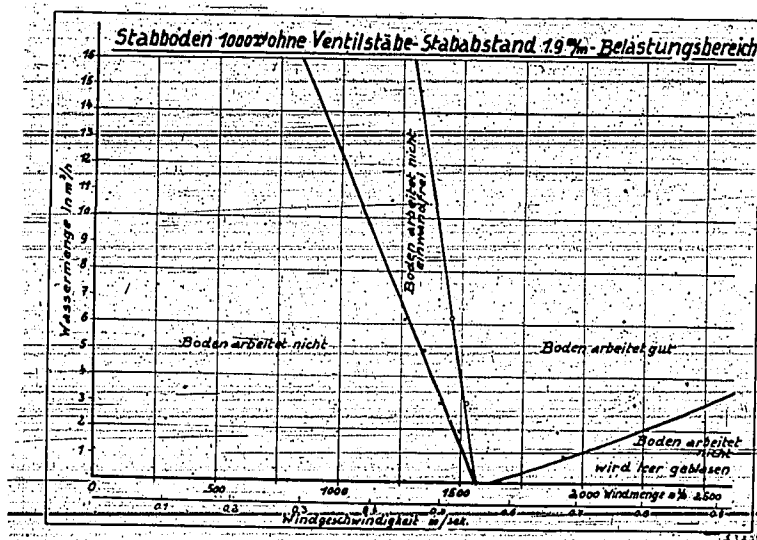
Abbildung 17

Stabboden 1000 mm mit Ventilstäben 1 mm Stababstand 1,9 mm Belastungsbereich des Bodens

den mit 1,9 mm Stababstand, der Bereich, in dem der Boden nicht arbeitet, ist ungefähr durch die gleichen Mengen bzw. Geschwindigkeiten gegeben wie bei dem vorher beschriebenen Boden mit 1,3 mm Stababstand. Das gute Arbeiten des Bodens setzt bei niedrigen Flüssigkeitsbelastungen schon bei geringeren Windgeschwindigkeiten ein, verschiebt sich jedoch für höhere Wassermengen in den Bereich höherer Windgeschwindigkeiten. Das Leerblasen des Bodens ist aber

falls bei kleinen Wassermengen in den Bereich größerer Windgeschwindigkeiten gerückt und erreicht für hohe Wasserbelastungen ungefähr die gleichen Werte wie bei dem Boden mit 1,5 mm Abstand. Im großen und ganzen gesehen arbeitet der Boden also besser als mit 1,5 mm Stababstand.

Das Entfernen der Ventilstäbe wirkt sich bei diesem Boden, wie Abbildung 18 zeigt, wesentlich ungünstiger aus, als beim Boden mit 1,5 mm Abstand. Der Bereich, in dem der Boden nicht zum Arbeiten kommt ist bereits außerordentlich groß geworden und erreicht für



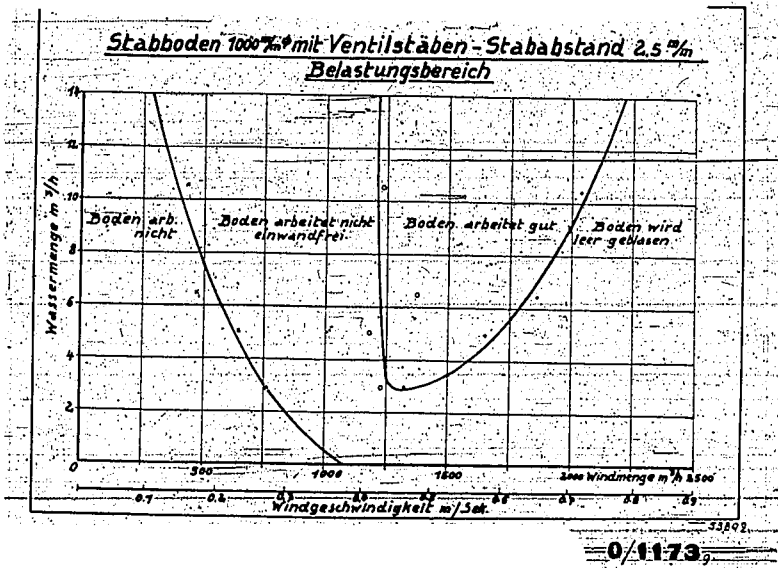
7/1173

Abbildung 18
 Stabboden 1000 mm ohne Ventilstäbe, 1,5 mm Stababstand, Belastungsbereich des Bodens.

3 m/h Effektivlastbelastung die Windgeschwindigkeit von 3,45 m/sec. Das Gebiet, in dem der Boden nicht einschiffen arbeitet, wird als Leistung relativ klein und der Bereich, in dem der Boden leergeblieben wird, ist außerordentlich groß, ähnlich wie bei dem Boden mit Ventilstäben, wobei das Gebiet, in dem der Boden nicht zum Arbeiten kommt, wesentlich größer ist als bei dem Boden mit Ventilstäben.

1,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.
 Die Erhöhung des Stababstandes auf 1,5 mm ergibt nach Abbildung 18 eine ziemlich beträchtliche...

der Boden nicht zum Arbeiten kommt. Bei 5 m/h Wasserbelastung er-



0/1173

Abbildung 19

... mit Ventilstäben 5 mm \varnothing , Stababstand 2,5 m. Belastungsbereich des Bodens.

... wird nur erreicht bei 0,22 m/sek. Windgeschwindigkeit einen Dauerbetrieb des Bodens. Dieses ist das Gebiet, in dem der Boden nicht einwandfrei arbeitet, sondern als bei der Ausführung mit 1,9 mm Abstand. Der Bereich, in dem der Boden gut arbeitet, ist gleichmäßig ...

... nicht ausreicht, wenn der Boden mit geringem Stababstand, und ...

... unter 5 m/h ...

... der Druckkurven ... überhaupt nicht mehr ...

... die Ventilstabe bestanden bei diesem Versuch nicht aus ...

... waren aus Holz mit 5 mm äußerem Durchmesser ...

... die Verringerung des Gewichtes zeigte jedenfalls in Bezug auf die Belastbarkeit des Bodens kein positives ...

Nach den Beobachtungen der vorhergehenden Versuche war ...

... mit dieser Boden bei den zur Verfügung ...

... stehenden Bedingungen die Ventilstabe überhaupt noch einarbeiten ...

... erhalten wir. Daraus, dass Ventilstabe wurden deshalb nicht ...

... durchgerollt.

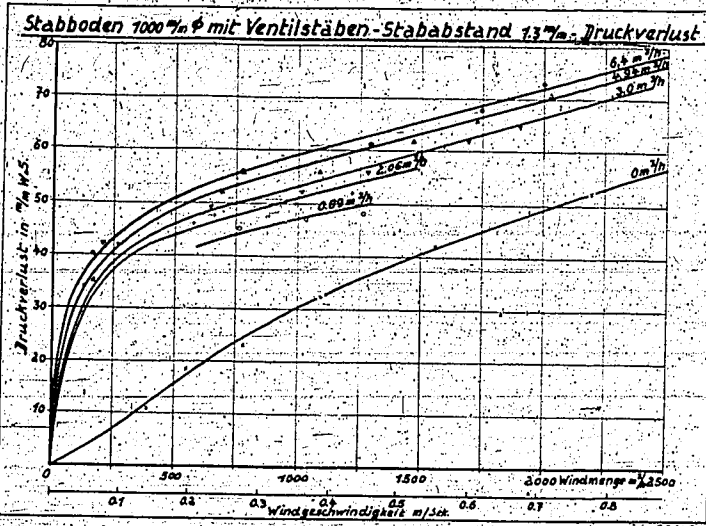
d. Ergebnis der Belastungsversuche.

Wenn man die Grenzbelastungen der 3 Böden mit 1,3, 1,9 und 2,5 mm Stababstand betrachtet, so kommt man zu dem Ergebnis, daß das zweckmäßigste Arbeiten mit einem Stababstand von etwa 1,9 mm zu erzielen ist. Größere, bzw. kleinere Abstände schränken den Bereich, in dem der Boden gut arbeitet aus ein, ohne daß sie sonstige wesentliche Vorteile bringen, denn wie in der nachfolgenden Diskussion über die Druckverluste gezeigt wird, ergibt eine Vergrößerung des Abstandes über 1,9 mm auch keine wesentliche Druckverlustminderung mehr. Der Boden arbeitet bei 1,9 mm Stababstand etwa von 0,15-0,8 m/sec. Windgeschwindigkeit und weist ein gutes gleichmäßiges Arbeiten von 0,25-0,8 m/sec. auf. Unter Voraussetzung einer besseren werkstatttechnischen Arbeit, ist der Arbeitsbereich des Bodens noch zu vergrößern, besonders wenn die Deckplatte einwandfrei ausgerichtet ist und die Ventilstäbe, die durch eine Abstellung in ihren Arbeiten etwas gehindert waren, sich frei bewegen können. Eine Vergrößerung des Gebietes, in dem der Boden gut arbeitet, läßt sich vermutlich auch durch Einbau eines Stages senkrecht zu den Böden erzielen, da dann die Schräglagestellung der Stäbe auf die Hälfte vermindert und der Boden weniger leicht umgeschickelt wird.

Druckverluste

a. 1,9 mm Stababstand mit einer Ventilstabe.

In Abbildung 20 sind die Druckverlustkurven eines Bodens mit Ventilstäben als Funktion der Windmenge bzw. Windgeschwindigkeit für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen eingetragen. Man sieht, daß der Druckverlust mit zunehmender Windgeschwindigkeit zuerst sehr rasch ansteigt, was dann von Stelle abnimmt und ab 0,2 m/sec. an nur noch langsam und annähernd linear zunimmt. Das rasche Ansteigen im Gebiet kleiner Geschwindigkeiten ist im wesentlichen durch die Ventilstabe bedingt, die zuerst einmal angehoben werden müssen, dann aber keine wesentliche Änderung der

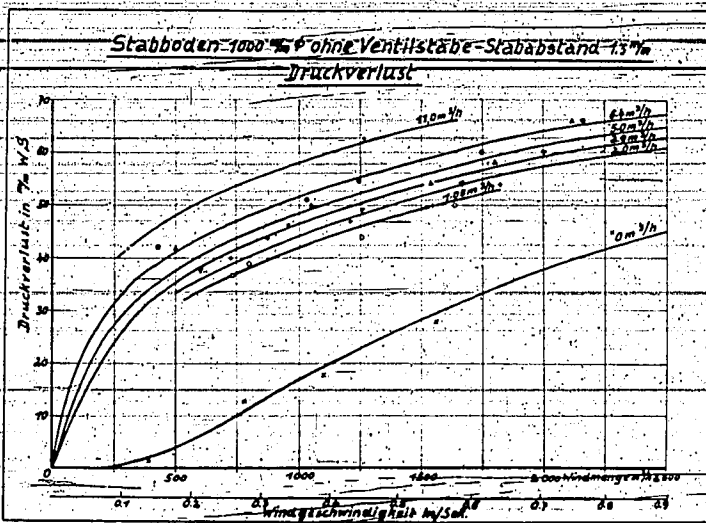


0/1173

Abbildung 20
Stabboden 1000 mm ϕ mit Ventilstäben, Stababstand 1.3 mm
Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge
für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

Druckverlustes mehr, gegenüber einem Boden ohne Stäbe bedeuten.

Abbildung 21, wo die gleichen Kurven für



0/1173

Abbildung 21
Stabboden 1000 mm ϕ ohne Ventilstäbe, Stababstand 1.3 mm
Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge
für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

den Boden mit 1,9 mm Abstand, aber ohne Ventilstäbe eingetragen sind. Hier zeigt sich ganz deutlich der langsamere Anstieg des Druckverlustes im Gebiet kleiner Geschwindigkeiten. Dagegen liegen bei einer Windgeschwindigkeit von 0,6 m/sec. die Druckverluste des Bodens mit Stäben nur etwa 10 mm WS höher als bei einem Boden ohne Ventilstäbe.

b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.

Noch deutlicher wird durch den Vergleich von Abbildung 22 und 23 der Unterschied im Druckverlust zwischen dem Boden mit und

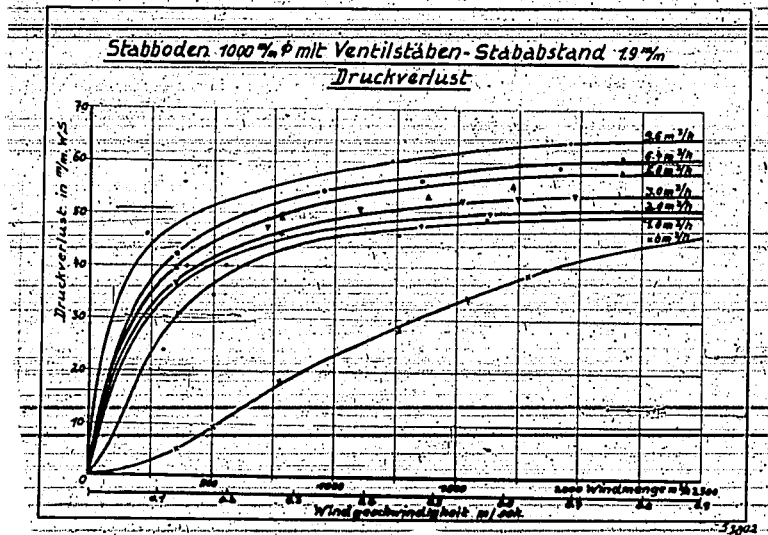
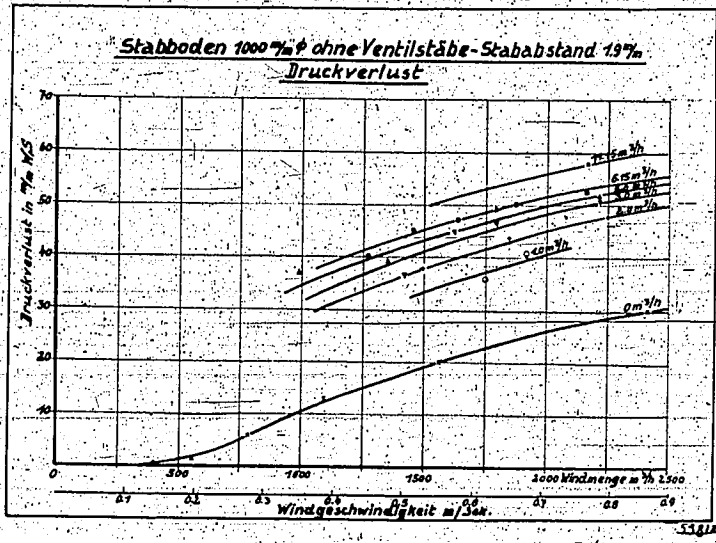


Abbildung 22
Stabboden 1000 μ mit Ventilstäben, Stababstand 1,9 mm.
Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge
bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten.

ohne Ventilstäbe. Die Kurven verlaufen nämlich die Druckverlustkurve für eine Ventilabstände bei kleinen Windgeschwindigkeiten noch wesentlich flacher als vorher beschrieben, während der steile Anstieg, bedingt durch den Reibwiderstand der Stäbe, bei dem Boden mit Ventilen noch auffälliger in Erscheinung tritt. Der Unterschied im Druckverlust ist bei einer Windgeschwindigkeit bei 0,6 m/sec. und einer Flüssigkeitsschichtdicke von 0,2 mm zwischen dem Boden mit und ohne Ventilabstände von ca. 5 mm WS zusammengefasst. Der



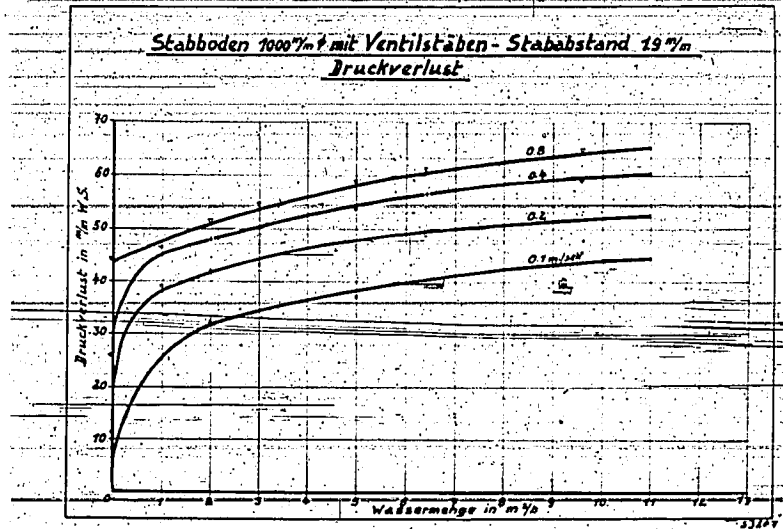
0/1173

Abbildung 23

Stabboden 1000 mm ohne Ventilstäbe, Stababstand 19 mm, Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

Unterschied im Druckverlust mit und ohne Ventilstäbe mit sich also bei 1,9 mm Bodenabstand noch wesentlich verringert, sodass die großen Vorteile des Bodens mit Ventilstäben den geringeren nur etwa 8% höheren Druckverlust in Kauf nehmen lassen.

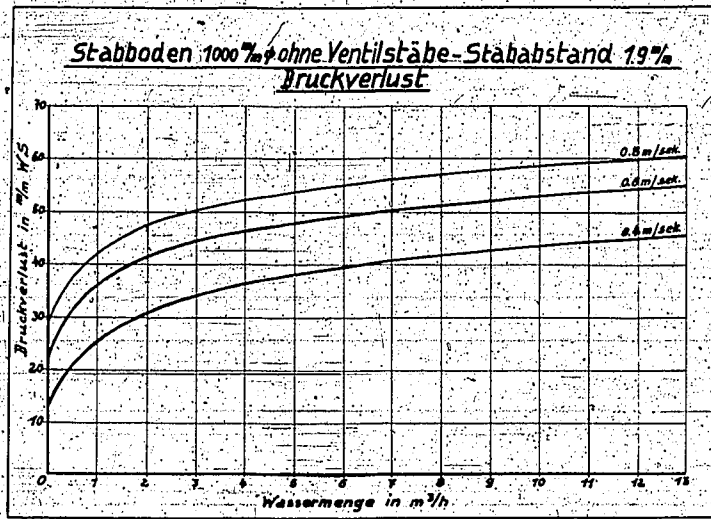
Diese Tatsache erkennt man auch aus den Abbildung 24.



0/1173

Abbildung 24

Stabboden 1000 mm mit Ventilstäben, Stababstand 19 mm, Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Wassermenge für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.



0/1173

Abbildung 25
 Stabboden 1000 mm Ø ohne Ventilstäbe, Stababstand 19 mm
 Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Flüssigkeitsmenge für verschiedene Windgeschwindigkeiten.

So der Druckverlust des Bodens als Funktion der Wassermenge für verschiedene Windgeschwindigkeiten als Parameter eingetragen ist. Man sieht, daß besonders im Bereich größerer Wassergeschwindigkeiten und großer Wassermengen der Druckverluste mit und ohne Ventilstäbe nur wenig voneinander abweicht und daß nur im Bereich kleiner Flüssigkeitsbelastungen, die aber im Allgemeinen bei technischer Ausführung nicht vorkommen, größere Differenzen vorliegen.

o. 2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.

In Abbildung 25 sind die Druckverluste eines Bodens mit 2,5 mm Abstand und 5 mm Ventilabstand als Funktion der Windgeschwindigkeiten für verschiedene Flüssigkeitsbelastung als Parameter eingetragen. Der steile Anstieg des Druckverlustes bei kleinen Windgeschwindigkeiten hat sich gegenüber den Böden mit 1,3 und 1,9 mm Abstand gemildert. Das ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß die Ventilstäbe, wie bereits weiter oben angedeutet, als Hohlstäbe ausgebildet waren und trotz ihres großen Durchmessers geringeres Gewicht hätten, als die früher verwendeten Vollstäbe mit 4 mm Ø. Im

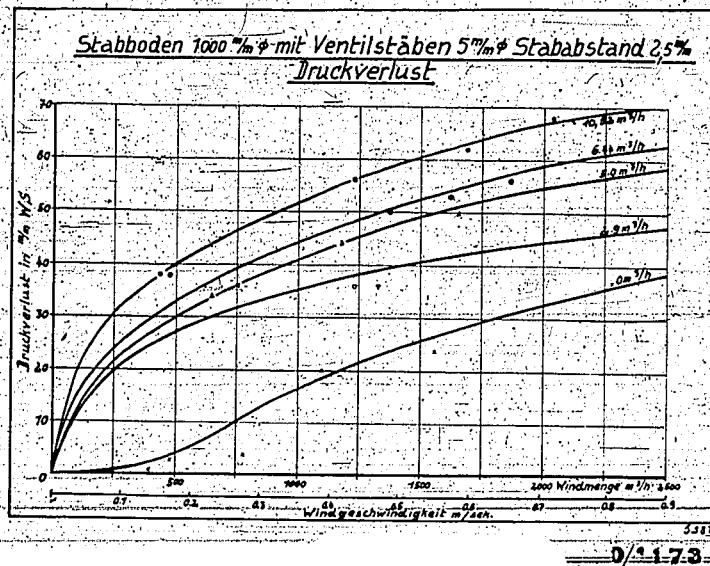


Abbildung 26

Stabboden 1000 mm ϕ mit Ventilstäben 5 mm ϕ , Stababstand 2,5 mm, Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

Bereich hoher Windgeschwindigkeiten zum Beispiel 0,8 m/sec. unterscheiden sich die Druckverluste kaum von denen des Bodens mit 1,9 m Abstand. Die Vergrößerung der Schlitzbreite über 2 mm bedeutet also, im bezug auf den Druckverlust keinen Fortschritt, sodaß sie auch aus diesem Grund nicht gerechtfertigt ist.

Druckverlustziffer.

Ferner wurden noch die Druckverlustziffern des nicht mit Flüssigkeit beaufschlagten Bodens, bezogen auf die Geschwindigkeit im engsten Querschnitt, berechnet und in Abbildung 27 über der Windgeschwindigkeit, bezogen auf den freien Kolonnenquerschnitt, aufgetragen. Man sieht auch hier, daß bei kleinen Windbelastungen durch das Abheben der Stäbe ein Vielfaches der kinetischen Energie des strömenden Gases verbraucht wird. Bei einer Geschwindigkeit von 0,2 m/sec. in der Kolonne beträgt für 1,9 mm Rohrabstand mit Ventilstäben die Druckverlustziffer 6,75 und sinkt bei 0,9 m/sec. auf 1,45. Bei 1,3 mm Stababstand und 0,9 m/sec. Gasgeschwindigkeit

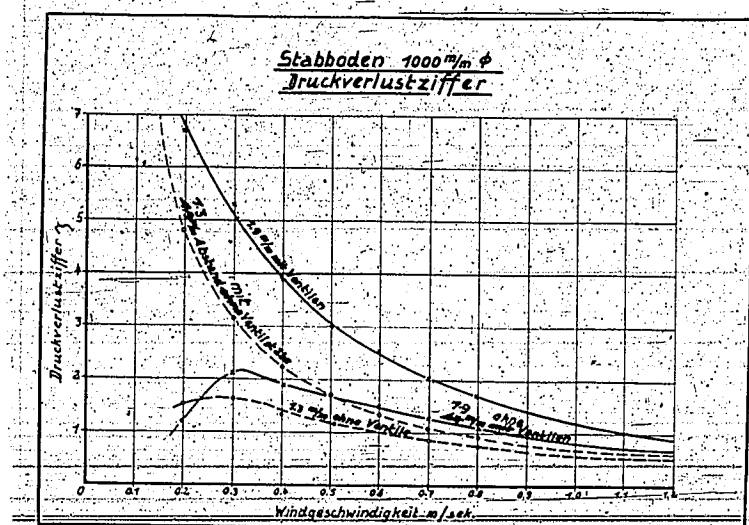


Abbildung 27

Stabboden 1000 mm ϕ . Druckverlustziffer γ des Bodens bezogen auf die Geschwindigkeit im engeren Querschnitt mit und ohne Ventilstäbe in Abhängigkeit von der Windbelastung ohne Flüssigkeitbeaufschlagung.

hat die Druckverlustkennziffer mit Ventilstäben den Wert 0,75, ohne Ventilstäbe nur 0,55. Hier wird also ein Teil der kinetischen Energie des Gases wieder zurückgewonnen. Bei hohen Geschwindigkeiten sinkt demnach die Druckverlustziffer unter 1. Die Stäbe sind in diesem Fall vollständig von ihrer Unterlage abgehoben und schweben über dem Rost. Der Gasstrom legt sich beim Austritt aus den röhrenförmigen Öffnungen weitgehend an die Wandungen an. Durch eine günstigeren Form der Austrittsöffnung wäre vermutlich eine weitere Senkung des Druckverlusts zu erzielen. Man müsste dann allerdings auf einfache Röhre als Bauelemente des Bodens verzichten und besonders geeignete Stäbe dafür verwenden.

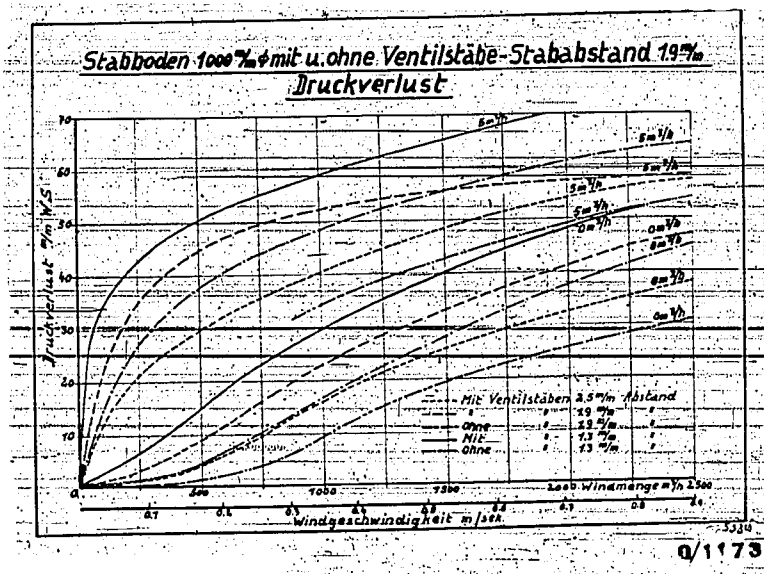
e. Ergebnis der Druckverlustversuche.

Betrachtet man die absolute Höhe des Druckverlustes, so findet man, daß er nicht wesentlich höher liegt, als bei Glockenbodenkonstruktionen. Bei dem in Lemma früher untersuchten 3 m Glockenboden wurde zum Beispiel bei einer Windmenge von 20 000 m^3/s

einer Flüssigkeitsbelastung von 35 μ /h ein Druckverlust von 50 mm WS gefunden. Der Stabboden von 1,9 mm Schlitzbreite mit Ventilstäben hat bei der proportional umgerechneten entsprechenden Belastung einen Druckverlust von 55 mm, also nur 10% höher.

Die Vergrößerung der Schlitzbreite von 1,5 auf 1,9 mm bringt eine Senkung des Druckverlustes um ca. 10%, während die Erhöhung des Stababstandes auf 2,5 mm im Bereich höherer Geschwindigkeiten keine wesentlich Verbesserung mehr bedeutet. Auch bezüglich des Druckverlustes ergibt also der Boden mit 1,9 mm Abstand die besten Bedingungen.

In Abbildung 28 sind zum Vergleich nochmals Druckverlustkurven in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für die Flüssig-



Q/1173

Abbildung 28

Stabboden 1000 μ m, Stababstand 1,9 mm, Druckverlustkurven für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen mit u. ohne Ventilstäbe für verschiedene Stababstände

keitsbelastung von 0 und 5 μ /h und die einzelnen Schlitzbreiten abgetragen wurde. Die oben angelegten Ergebnisse sind daraus klar zu ersehen.

Photographische Aufnahmen des in Betrieb befindlichen Stabbodens

In den folgenden Abbildungen sind einige Betriebszustände

des Stabbodens mit Ventilstäben für 1,3 mm Stababstand festgehalten:

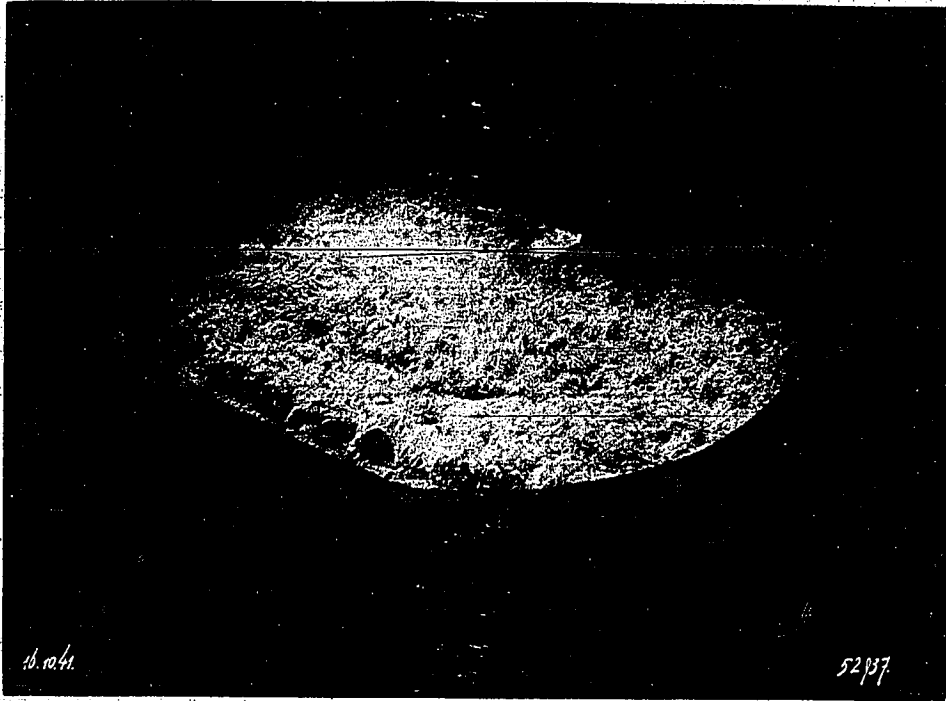


Abbildung 29

— Stabboden 1000 mm \varnothing

— Windbelastung 350 $\frac{N}{m^2}$

— Gasbelastung 0,5 $\frac{m^3}{h}$



Abbildung 30

— Stabboden 1000 mm \varnothing

— Windbelastung 350 $\frac{N}{m^2}$

— Gasbelastung 0,5 $\frac{m^3}{h}$



Abbildung 31
Staboden 1000 mm \varnothing
Windbelastung 350 m/h
Wasserbelastung 5,7 m/h.

Die sämtlichen 3 Aufnahmen 29-31 sind in dem Bereich gemacht, der auf Abbildung 15 als nicht einwandfrei bezeichnet wurde, und zwar nämlich nahe an der Grenzkurve, wo ein Arbeiten überhaupt aufhört.





16 10 41 B.N. 490.

52936

Abbildung 33
Stabbocken 1000 mm
Windbelastung 1015 m/h
Wasserbelastung 2,5 m/h.



16 10 41 B.N. 490.

52940

Abbildung 34
Stabbocken 1000 mm
Windbelastung 1015 m/h
Wasserbelastung 2,5 m/h.

Die Abbildungen 32-34 sind in den Bereich des guten Arbeitens des Bodens aufgenommen, und zwar in der Nähe der Grenzkurve, die das Gebiet guten von demjenigen nicht einwandfreien Arbeitens voneinander trennt. Man sieht auch hier, daß der Boden um so besser arbeitet, je mehr er mit Flüssigkeit beaufschlagt ist.

5. Anfahrbereich des Bodens.

Wie weiter oben schon angedeutet ergab sich für verschiedene Stababstände auch ein verschieden großer Bereich, in welchem der Boden nicht arbeitet, weil die Flüssigkeit durch die Schlitz hindurchläuft, sodaß sich kein geregelter Flüssigkeitsspiegel auf dem Boden halten läßt. Noch stärker wirkt sich dieser Einfluß des Durchregens beim Anfahren der Böden aus. Stellt man auf den nicht mit Flüssigkeit beaufschlagten Boden eine gewisse Windmenge und steigert dann die Flüssigkeitsmenge langsam von 0 bis zu einem Wert bei dem die Flüssigkeit sich über den Boden bis zum Ablaufwehr ausbreitet und der Boden zu arbeiten anfängt, so kann man ein Gebiet abgrenzen, in welchem ein Anspringen des Bodens überhaupt nicht stattfindet, gegenüber einem Gebiet, in welchem ohne weiteres das Arbeiten des Bodens erfolgt. Hier zeigt sich am allerdeutlichsten der Vorteil eines mit Ventilstäben ausgerüsteten Bodens gegenüber einem Boden ohne diese Einrichtung.

Für die Böden mit 1,5 und 1,9 mm Abstand und jeweils mit und ohne Ventilstäbe sind die Mindestwassermengen, welche zum Anfahren des Bodens notwendig sind, als Funktion der Windgeschwindigkeit in Abbildung 35 eingetragen. Ein Boden mit 1,5 mm Abstand benötigt zum Beispiel bei einer Windgeschwindigkeit von 0,2 m/sec. eine Mindestwassermenge von 100 l/h um in Funktion zu treten, während der gleiche Boden ohne Ventilstäbe erst bei etwa 6 l/h zum Arbeiten kommt. Noch krasser sind die Verhältnisse bei einem Boden mit 1,9 mm Abstand. Hier ergibt sich zum Beispiel bei der gleichen Windgeschwindigkeit mit Ventilstäben eine Mindestwassermenge von etwa 100 l/h, während ohne Ventilstäbe die Flüssigkeitsmenge zu dem gleichen Zweck auf etwa 70 l/h gesteigert werden mußte. Diese schlechte Anspringen eines Bodens ohne Ventilstäbe würde sich bei einer ausgeführten Kolonne natürlich in erster Linie auf den obersten Boden auswirken, während durch das Durchregnen auf den nächstfolgenden Boden eine immer größere Ausbreitung der Flüssigkeit stattfinden würde.

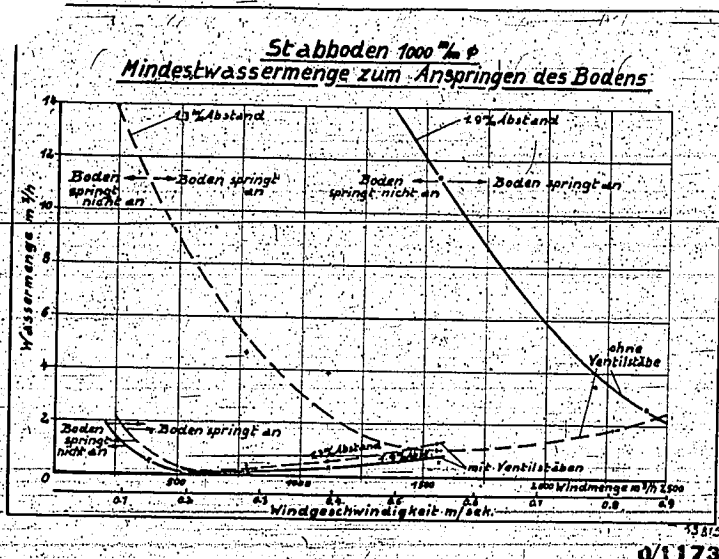


Abbildung 35
 Stabboden 1000 mm φ, Mindestwassermenge zum Anspringen
 des Bodens in Abhängigkeit von der Windbelastung mit
 und ohne Ventilstäbe.

sa und vielleicht der Rülcks oder auch noch ein Boden dann trotzdem
 aus Arbeiten käme. Es bedeutet aber schon der Verlust der Qualität
 Boden für den Austausch einen großen nachteil. Bew. einen Schwerk-
 bereich. Es würde der Zustand der Ventilröhre stellt also auch in be-
 zug auf das Anspringen und gleichmäßige A. Seiten der Kolonne einen
 ganz bedeutenden Vorzug dar.

Für den Boden mit 2,5 m Abstand würden diese Versuche nicht
 mehr durchgeführt, da besonders bei dem Boden ohne Stäbe das Anspringen
 nur mit einer so großen Flüssigkeitsmenge zu erzwungen gewesen
 wäre, wie sie für den Betrieb nicht in Frage kommt.

Das starke Wiederanstiegen der Kurven im Bereich höherer
 Windgeschwindigkeit ist durch das Lagerschleudern des Bodens zu er-
 klären. Da der Boden nicht mit einem größeren Sedimentring versehen
 war, wurde die hochgeschleuderte Flüssigkeit aus dem Boden im freien
 getragen. Bei einer angesetzten Kolonne würde das Anspringen der
 Kurve erst in dem Bereich erfolgen, wo auch im normalen Betrieb ein
 Lagerschleudern des Bodens erfolgt.

6. Abnutzung der Ventilstäbe.

Von wesentlichem Einfluss auf die Verwendbarkeit des Bodens mit Ventilstäben ist natürlich seine Abnutzung. Es interessiert die Frage, ob die Stäbe vom Boden abgehoben und durch das Gas in der Schwebe gehalten werden, oder ob sie im Betrieb dauernd auf den Boden zurückschlagen und dann großer Abnutzung unterworfen sind. Um das Verhalten zu untersuchen, wurden einige Ventilstäbe gewogen und ihre Gewichtsabnahme im Laufe mehrerer Betriebsstunden gemessen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist aus Zahlen tafel 1 zu ersehen.

| Versuch Nr. | Gew. d. Stäbe v. d. Vers. | Gew. d. Stäbe n. d. Vers. | Gewichtsabnahme | Versuchsdauer | Gew. Abnahme/Jahr | Bemerkungen |
|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------------|---------------------------|
| 1 | 88,02 g | 87,92 g | 0,10 g | 52 h | 19,2 % | } Ventil- stäbe |
| 1 | 88,70 g | 88,58 g | 0,12 g | 52 h | 22,6 % | |
| 1 | 90,68 g | 90,58 g | 0,10 g | 52 h | 18,6 % | |
| 1 | 90,39 g | 90,26 g | 0,13 g | 52 h | 24,2 % | |
| 2 | 87,92 g | 87,79 g | 0,13 g | 160 h | 9,1 % | } Ventil- stäbe |
| 2 | 88,58 g | 88,40 g | 0,18 g | 160 h | 11,1 % | |
| 2 | 90,58 g | 90,47 g | 0,11 g | 160 h | 9,7 % | |
| 2 | 90,26 g | 90,07 g | 0,19 g | 160 h | 11,5 % | |
| 3 | 66,75 g | 66,62 g | 0,13 g | 158,5 h | 12,2 % | } fest- angeord- |
| 3 | 66,65 g | 66,52 g | 0,13 g | 158,5 h | 12,2 % | |
| | | | | | | Netz- ventil- stäbe |

Zahlen tafel 1
Gewichtsabnahme der Ventilstäbe A.M.A.O.

Die 4 Stäbe zeigten nach den ersten 52 Betriebsstunden eine mittlere Abnahme von 0,13 Gewichtsprozent. Das würde eine jährliche Abnutzung der Stäbe um etwa 21,2 Gewichtsprozent bedeuten. Dies Ergebnis war nicht sehr wenig befremdlich, es zeigte sich jedoch, dass die Stäbe kein metallisches Aussehen hatten, wie es der Fall wäre, wenn das Metall infolge des Zurückschlagens auf dem Boden erodiert würde. Es war demnach der Meinung zuzufolge liegend, dass der Gewichtsverlust durch Korrosion bedingt war. Die Stäbe wurden deswegen nochmals einem Versuch unterworfen und gleichmäßig 2 Schweisstäbe desselben Materials, so in der sprudelnden Flüssigkeitsschicht befestigt, dass sie nur einem Korrosionsangriff, aber keiner mechanischen Abnutzung ausgesetzt

waren. Es ergab sich nun, daß sowohl die Ventilstäbe als auch die beiden Vergleichsstäbe im Laufe von 160 bzw. 138,5 Betriebsstunden mindestens den gleichen prozentualen Gewichtsverlust erlitten (Zahlentafel 1) und dabei die Gewichtsabnahme gegenüber dem ersten Versuch etwa auf die Hälfte zurückgegangen war. Da die kupferfarbige Oberfläche der Schweißstäbe bei dem ersten Versuch abkorrodierte, besteht die Wahrscheinlichkeit, daß dieselbe einer erhöhten Korrosion unterworfen ist. Bei den Vergleichsstäben war diese Schicht vor dem Einbau mit Schmirgelleinwand abgearbeitet worden. Die Versuche lassen erwarten, daß in einer Kolonne, die mit nichtkorrodierendem Medium gefahren wird oder die aus korrosionsbeständigem Material gebaut ist, eine Abnutzung der Ventilstäbe und der den Boden bildenden Rohre nicht eintritt.

D. Entwurf eines Bodens mit 1000 mm Ø.

Die bisherigen Versuche sagen noch nichts aus über das mit dem Stabboden erreichbare Verstärkungsverhältnis. Sie wurden gemacht, um die strömungstechnischen Eigenschaften des Bodens, die mit der Voraussetzung für eine gute Trennwirkung sind, zu erforschen. Da der Bau einer Versuchskolonne mit den neuen Böden unter den heutigen Verhältnissen sehr schwierig ist, haben wir zwei Böden zum Einbau in einem Wascher in Auftrag gegeben. Die Apparatur, die aus Aluminium besteht, ist aus Abbildung 36 zu ersehen und erhält bei 1000 mm Ø einen Stabboden aus Böden von 25 mm H₂O und 2 mm Rohrabstand. Die beiden Böden sind denjenigen des Versuchsbodens ziemlich genau nachgebildet. In der Mitte erhält der Boden nochmals eine Verstärkung durch einen Steg, um das Leerschießern bei großen Fließgeschwindigkeiten zu verbessern.

Auf der Abbildung 36 ist ferner eine Abdichtung des Bodens gegenüber der Wascherwand zu sehen, die in Leuna zum Zweck der Asbestersparnis entwickelt wurde. Während früher in dem Zwischenraum zwischen Boden und Kolonnenwand Asbest eingestopft wurde, besteht die neue Dichtung aus einem federnden U-förmigen Metallring, dessen einer Schenkel sich gegen die Kolonnenwand und der andere gegen den Boden legt. Die besten Verhältnisse ergaben sich bei Verwendung eines Bleches von 0,5 - 0,7 mm Stärke und einer Schenkellänge von 20 mm bei einer Breite des ausfüllenden Ringraumes von 10 mm. Der Ring kann an einer Stelle offen sein und wird dann überlappt angeordnet. Der entstehende Spalt

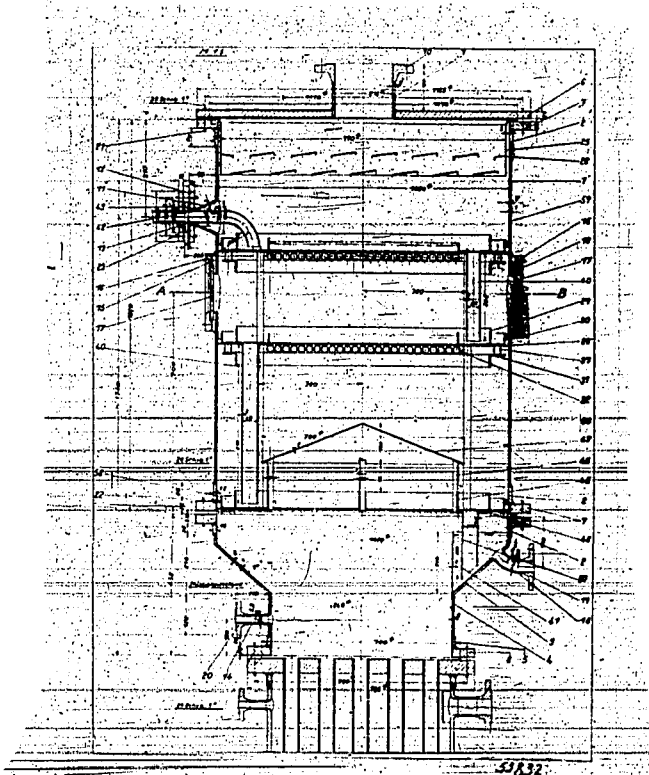


Abbildung 36

Stabboden 1000 mm Ø für eine Messbohrung

steht gleichzeitig als Leerlauföffnung.

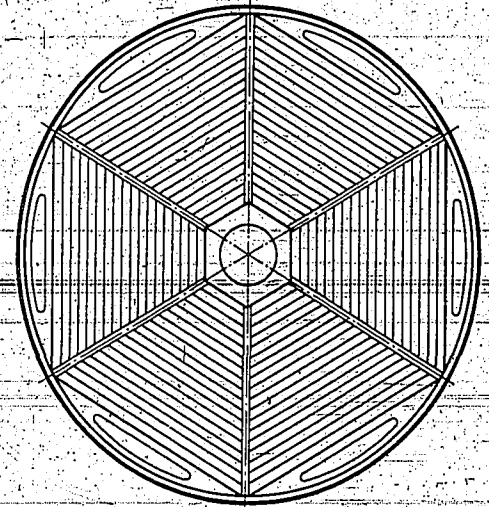
Das Einbringen eines derartigen Dichtungsringes erfordert etwa 1 Minute Zeit während das Abdichten mit Asbest bei sorgfältiger Arbeit etwa 2 Stunden in Anspruch nimmt.

E. Vorschlag für einen Boden mit großem Durchmesser.

Falls man einen großen Boden als Stabboden ausführen will, ist es, wie die Versuche zeigen, nicht zweckmäßig, Stäbe mit über 1 m Länge zu verwenden, da diese zu leicht in Schwingungen kommen und den Flüssigkeitsablauf stören.

Es ist dann richtiger, den Boden in eine Anzahl Bahnen mit kleiner Stablänge aufzuteilen und eine Anordnung, wie sie in Abbildung

Stabboden mit großem
Durchmesser.



5332

gewünscht ist, auszuführen. Die Flüssigkeit wird bei diesem Boden
innen aufgegeben, fließt nach außen und von dort auf den darunter lie-
genden Boden, wo sie von unten nach innen strömen muß.

Es wird über Versuche mit einem neuartigen Stabboden be-
richtet, der aus parallelen, in Abständen von etwa 2 mm verlegten Sie-
brillen von 25 mm Durchmesser besteht. Um den Widerstand gegen gegenüber
einem normalen Siebboden zu ermitteln, wurden in die entstehenden
Schlitze Ventilstäbe von 4 mm Durchmesser gelegt. Der Belastungsbereich
des Bodens und der Druckverlust wurden eingehend untersucht und die
optimalen Abmessungen ermittelt. Der Boden verhielt sich in Bezug auf
die Belastbarkeit mit Gas weitgehend dem üblichen Boden, während er die
hohe Flüssigkeitsbelastung mit einem Siebboden gemeinsam hat.

24032

Entwicklung eines Bodens
für

große Flüssigkeitsbeaufschlagung

18-2

M

Verteiler:

24033

Herrn Direktor Dr. Sauer

Herrn Direktor Dr. Strombeck

Herrn Direktor Dr. von Staden

Herrn Dr. Giesen

Herrn OI. Sabel

Herrn OI. Dr. Sackmann

Herrn OI. Reinke

Herrn Dr. Henrich

Herrn Dr. Gally

Herrn Dr. Wirth

- A. Versuche mit einem Tunnelboden der Firma Borsig
- B. Entwicklung eines neuen Stabbodens.
 - 1. Überlegungen, die zur Entwicklung des Stabbodens führten.
 - 2. Versuche mit dem neuen Stabboden.
 - 3. Stabboden mit Ventilstäben.
 - 4. Vor- und Nachteile des Bodens.
- C. Versuche mit einem Stabboden 1000 mm Ø.
 - 1. Konstruktion und Versuchseinrichtung.
 - 2. Belastungsbereich für Gas und Flüssigkeit.
 - a. 1,3 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
 - b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
 - c. 2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.
 - 3. Ergebnisse der Belastungsversuche.
 - a. Druckverluste.
 - 1. 1,3 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
 - 2. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.
 - 3. 2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.
 - b. Druckverlustkoeffiz.
 - c. Ergebnisse der Druckverlustversuche.
 - 4. Potenzielle Ausnutzung des in Betrieb befindlichen Stabbodens.
 - a. im Hinblick auf Leuchte.
 - b. im Hinblick auf Ventilstäbe.
- D. Entwurf eines Bodens mit 1000 mm Ø.
- E. Vorschlag für einen Boden mit großer Durchmesser.
- F. Zusammenfassung.

Entwicklung eines Bodens für große Flüssigkeitsbeaufschlagung.

Versuche mit einem Tunnelboden der Firma Borsig.

Die Firma Borsig hatte für eine Butankolonne, die bei normaler Dampfbelastung mit abnormal hoher Flüssigkeitsbeaufschlagung fahren sollte, einen Tunnelboden angeboten. Da sie aber Klarheit darüber haben wollte, ob sich der Boden für diesen Zweck eignete, wurde ein Versuchsapparat angefertigt, mit dem die Belastungsgrenzen ermittelt werden sollten. Die Versuche wurden in Leuna durchgeführt. Abbildung 1 zeigt den Versuchsboden mit seinen Hauptabmessungen. Die Grundhöhe war etwa 1,25 - 1,35 m, die

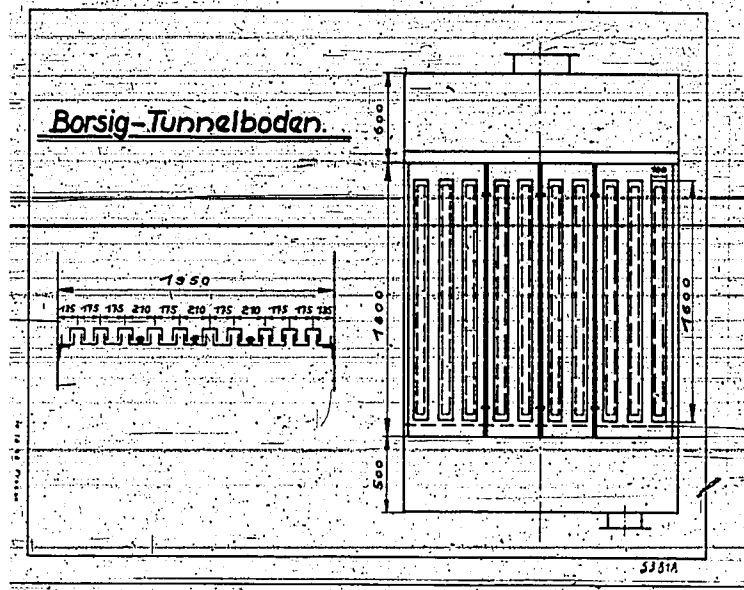


Abbildung 1
Der Borsig-Versuchsboden.

Die Versuche wurden durchgeführt, um die Belastungsgrenzen des Bodens zu ermitteln. Die Versuche wurden in Leuna durchgeführt. Die Versuche wurden in Leuna durchgeführt.

sich als sehr ungünstig und wurden nach den ersten Versuchen abgehoben.
 Die Überlegungen, die die Firma Borsig zur Wahl eines Tunnelbodens für hohe
 Bauaufschlagung bewogen hatten, waren wohl die, daß die Flüssigkeit zwischen
 den Tunneln ohne große Hindernisse ablaufen kann und ihr viel weniger Wi-
 derstand entgegengesetzt wird, als auf einem Glockenboden, wo eine dauern-
 de Lenkung der Flüssigkeit durch die Glocken erfolgt und infolgedessen
 ein viel größerer Stau eintreten muß.

Der Boden hat die in ihn gesetzten Erwartungen nicht erfüllt.
 Es zeigte sich, daß der Tunnelboden auch nicht mit mehr Flüssigkeit be-
 schickt werden konnte als ein normaler Glockenboden. Dabei war besonders
 ungünstig, daß die Gabelschen Tunneln sich etwas verzogen hatten und die
 Schlitzlöcher auch bei sorgfältigem Ausrichten nicht die gleiche Eintauchtiefe
 in die Flüssigkeit hatten. Abbildung 2 zeigt die Grenzwasserkurve des Tun-
 nelbodens bei der auffällt, daß die Gasbelastung nur sehr niedrig einge-

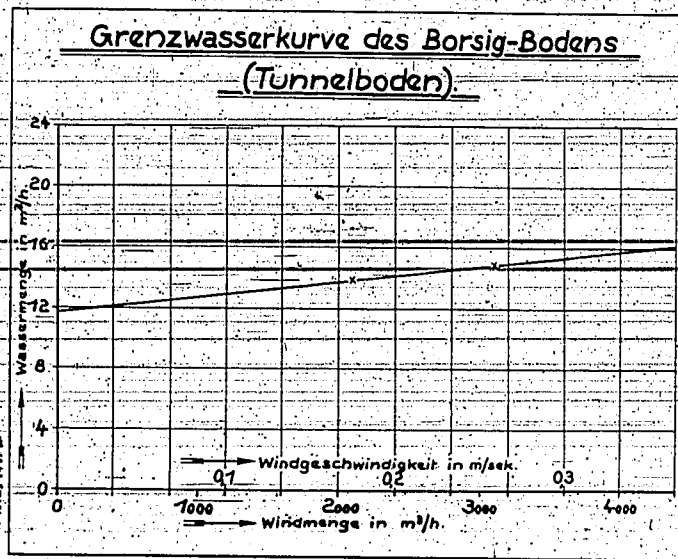


Abbildung 2
 Grenzwasserkurve des Borsig-Versuchstunnelbodens,
 die bei verschiedenen Windmengen
 abgelesen wurde.

Auf Abbildung 3 ist der Boden außer Betrieb

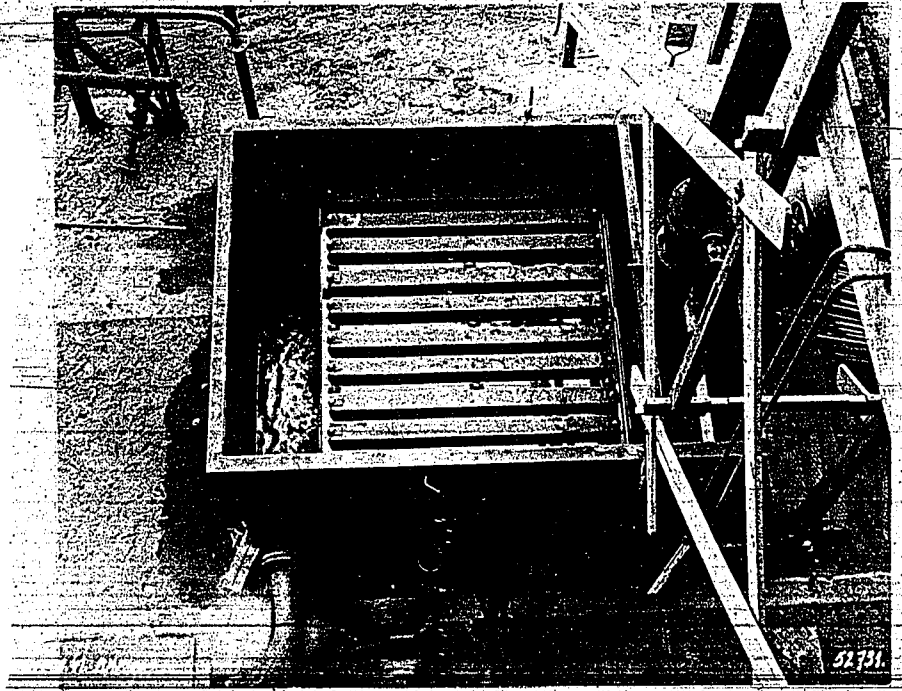


Abbildung 3
Formig-Boden nicht in Betrieb.

Auf Abbildung 4 in Betrieb bei einer Gasbelastung von 2100 g/h und

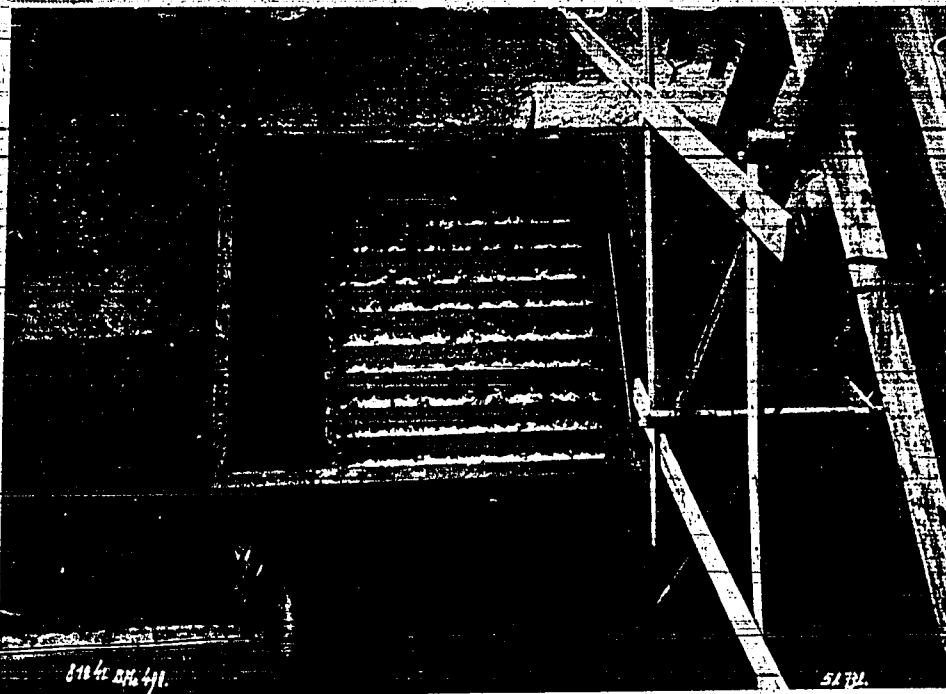


Abbildung 4
Boden in Betrieb bei einer Gasbelastung von 2100 g/h und
einer Gasbelastung von 10 g/h.

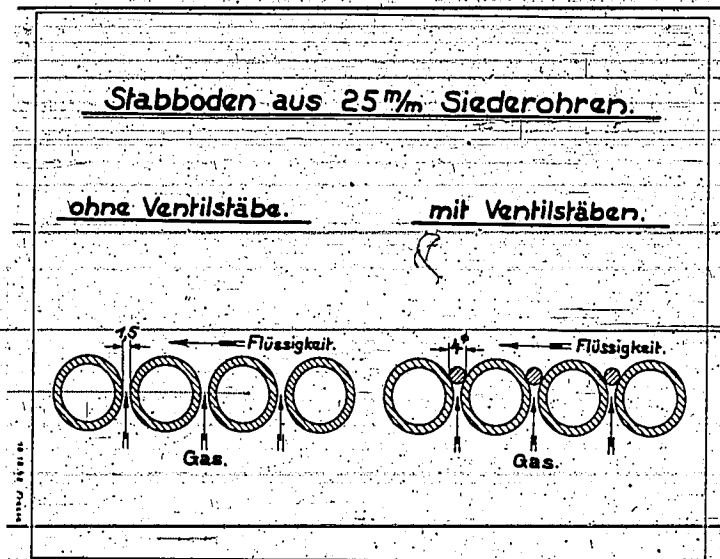
einer Wassermenge von 10,1 m³/h zu sehen.

Versuche, die im Niederdruck mit einem Tunnelboden von 3400 mm Ø der Firma Bam durchgeführt wurden, hatten ganz ähnliche Ergebnisse. Es zeigte sich ebenfalls, daß ein wandfreies Arbeiten nur bei sehr genauen Ausrichten der Tunnel und in relativ geringen Belastungsgrenzen zu erreichen ist. Nach diesen Erkenntnis wurden die Versuche mit dem Borsighoden abgebrochen, da eine erfolgreiche Weiterentwicklung bis zu den geforderten Leistungen nicht zu erwarten war.

5. Entwicklung eines neuen Stabbodens.

1. Überlegungen, die zur Entwicklung des Stabbodens führten.

Da die gesamte Einrichtung vorhanden war, wurde der Versuch unternommen, aufgrund eigener Überlegungen einen besser geeigneten Boden auszubilden. Es wurde von der Annahme ausgegangen, daß eine Art Siebbodenkonstruktion zur Bewehrung der Druckkräfte gegen Flüssigkeiten



nebeneinander legte. Benutzt wurden dabei Rohre, die für einen Kondensator als Kühlrohre in zugeschnittenen Längen zur Verfügung standen. Durch Verwendung dieser Rohre wurde eine cübenförmige Ausbildung des Gasedurchtrittes durch den Boden erreicht und wir erwarteten dadurch einen geringeren Druckverlust als bei Stabböden, die keine Vergrößerung des Strömungsquerschnittes in Richtung des Gasedurchtrittes auf den Boden aufweisen.

2. Versuchen mit dem neuen Stabboden.

Der Boden arbeitete schon bei den ersten Versuchen verhältnismäßig gut, trotzdem keine besondere Sorgfalt auf seine Herstellung verwendet worden war. So waren zum Beispiel die Rohre nicht gerade gerichtet und die rechtseitigen Schlitze schwankten in ihrer Breite etwa von 3 mm, mit dem Boden ließ sich eine weitaus als aufgeworfene Flüssigkeitsschicht von ca. 10 mm bei gleichmäßiger Wirkungsfläche des Bodens verhalten.

Bei geringen Durchflüssen der geringen Flüssigkeitsgeschwindigkeit auf der Gasseite, bei kleinen Durchflüssen der insbesondere beim Anfahren des Bodens die Bildung geschäumerter Flüssigkeitsschichten durch den Boden nicht zu erwarten war, die nach Gatedurchströmung durch den Boden in Form von Schichten abfließen, die sich nicht lastgeblasen.

3. Stabboden mit Ventilstreben

Die im Verlauf des Bodens bei geringen Flüssigkeitsgeschwindigkeiten zu beobachtenden Schichten, wie aus Abbildung 5 zu entnehmen ist, wurden durch eine Niederrohre kleine zylindrische Röhre von 4 mm Durchmesser (Abb. 6) gelegt, von denen ein Teil mittels Anstrich erwärmt wurde. Für die gleiche Durchflussmenge wurde die Stabhöhe durch die gleiche Flüssigkeitsschicht geschichtet und drückten dieselben ab. Durch den Druckverlust der abgeworfene Flüssigkeit die das ungenutzte in der Flüssigkeit zu beobachten.

Abbildung 6 zeigt den Stabboden außer Betrieb.

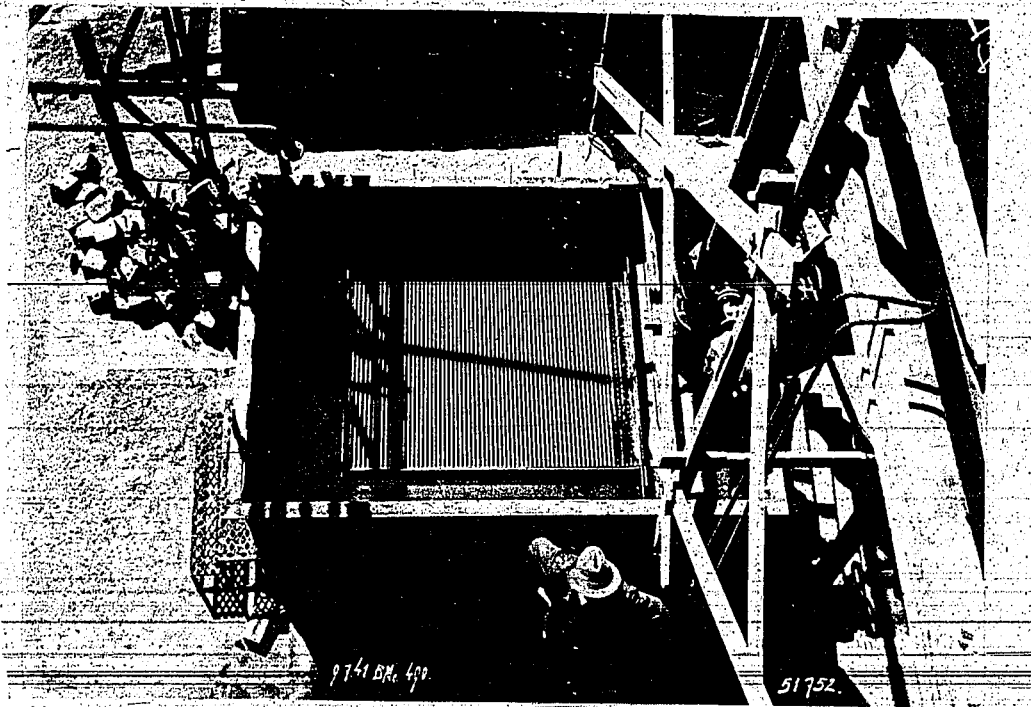
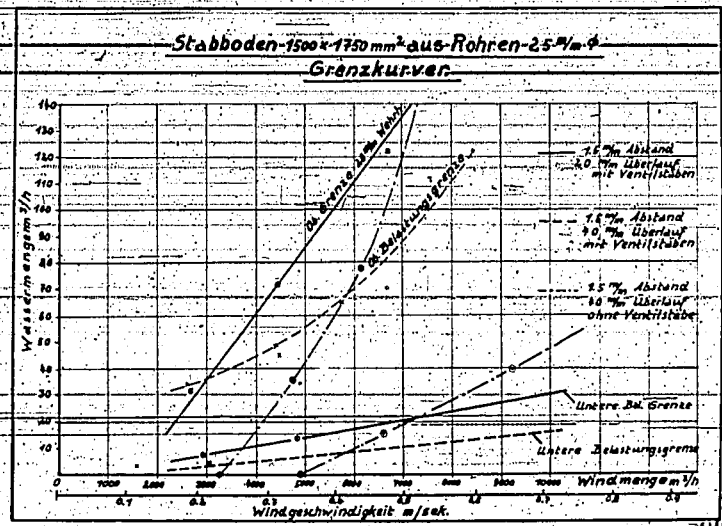


Abbildung 6

Stabboden 1,5 m x 1,75 m aus 25 mm Rohren
 können außer Betrieb.

In Abbildung 7 sind die Grenzkurven eingetragen, die unter



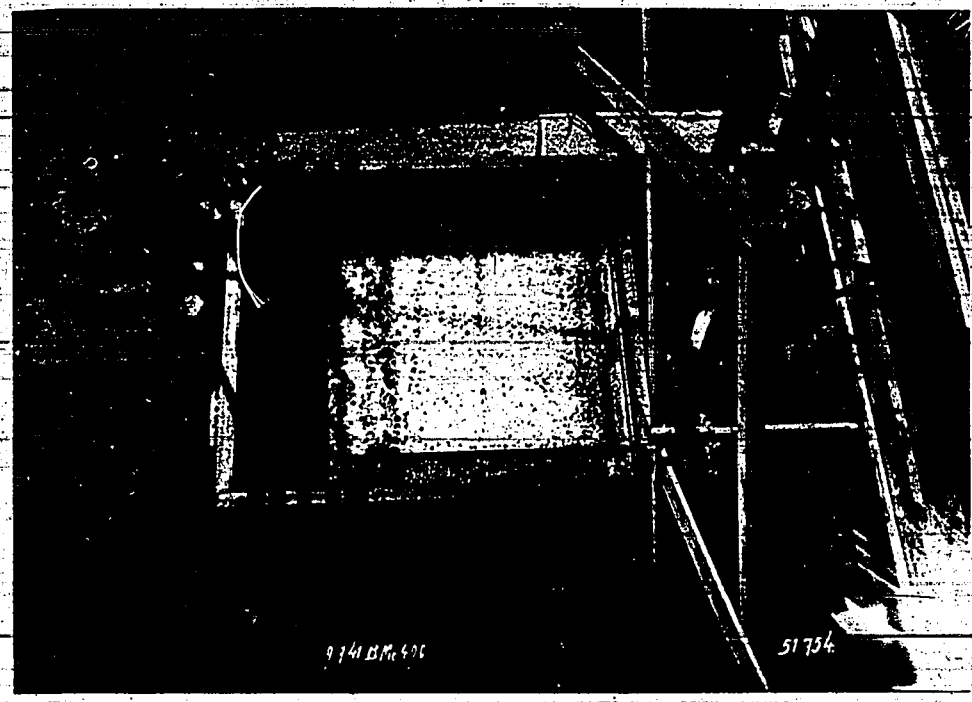
0 173

Abbildung 7 zeigt die Grenzkurven für den Stabboden 1500 x 1750 mm aus 25 mm Rohren 25 mm φ. Die Grenzkurven sind in der Abbildung eingetragen, die unter

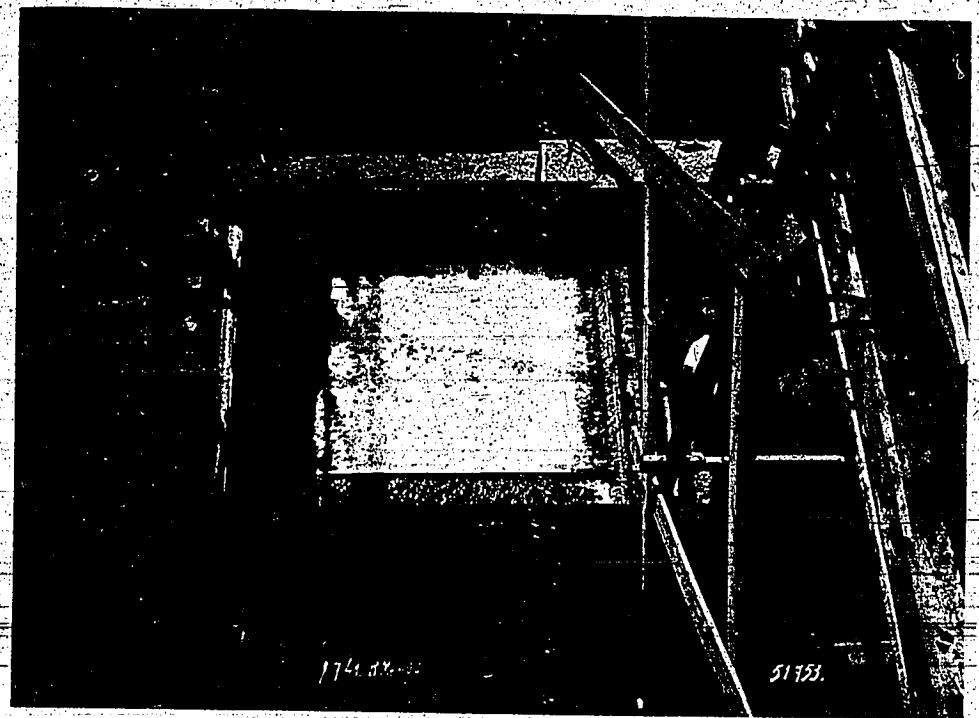
verschiedenen Betriebsbedingungen. Der Abstand der Stäbe betrug jeweils 1,5 mm. Die Versuche wurden mit 100-10 mm Wehrkreis im Überlauf durchgeführt. Die Flüssigkeitsbelastung konnte ohne weiteres bis auf 200 l/h gesteigert werden. Von der Kurve des freien Bodens sowohl die obere als auch die untere Grenzkurve in ein Gebiet höherer Gasbelastung verschoben. Um also einen Boden zu erhalten, der sich bei geringen Gasmengen arbeitet, muß die Wehrhöhe, also die Lasthöhe so gering als möglich halten. Die untere Grenzkurve ist dadurch bedingt, daß infolge von Schwingungen der Stäbe, die untere Stabweite von etwa 1,5 mm hätten, der Boden an einer Stelle leuchtend wird.

In die Abbildung 7 sind ferner die Beobachtungen an dem freien Boden ebenfalls mit 1,5 mm Stababstand, aber ohne Ventilstäbe, eingetragen. Man sieht, daß der Belastungsbereich, in dem der Boden arbeitet, durch Entfernen der Ventilstäbe wesentlich geringer geworden ist. Der Boden fängt erst bei höherer Gasbelastung an zu arbeiten und wird auch bei einer geringeren Gasbelastung leuchtend, als ein Boden, der mit Ventilstäben ausgestattet ist.

Die folgenden Abbildungen zeigen einige weitere Beobachtungen an dem Boden bei verschiedener Gas- und Flüssigkeitsbelastung. Sie sind zwar:



Die Ausbreitung des Bodens auf dem und mit Flüssigkeit ist sehr uneben,
hoch-arbeitet der Boden über die ganze Fläche mehr gleichmäßig.



g 741 am. 400.

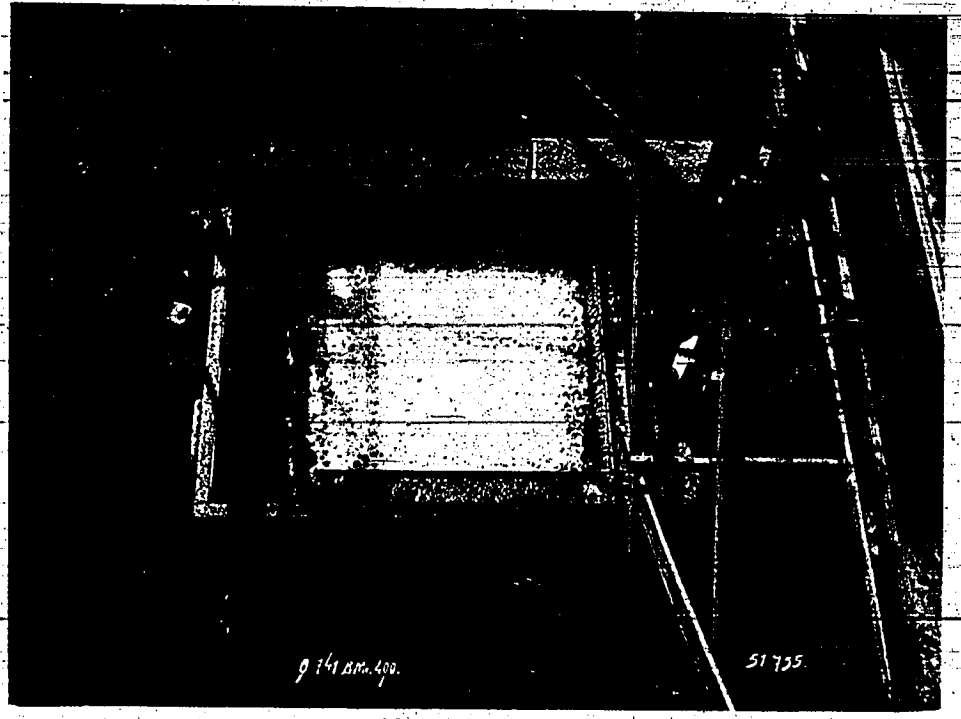


Abbildung 12 zeigt nochmals für einen gleichen Boden mit 1,5 mm Rohrab-

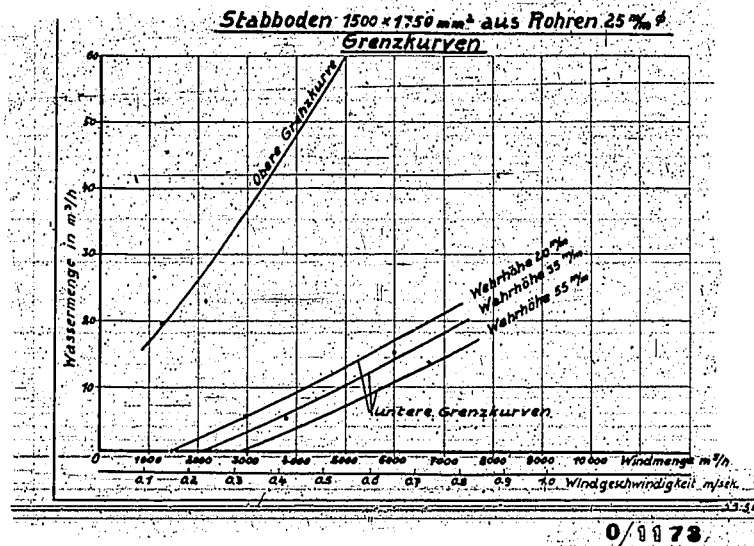


Abbildung 12

Stabboden 1500 x 1750 mm² aus Stabrohren 25 mm ϕ
mit Vertikalstäben 4 mm ϕ , Grenzkurven des Bodens
für verschiedene Weirhöhen.

stand den Einfluß der Weirhöhe. Dabei war die Streuung der Verdampfungspunkte für die obere Grenzkurve so groß, daß für die Mittellinie eine mittlere Kurve eingetragen wurde. Die untere Grenzkurve wird bei Steigerung der Weirhöhe von 20 auf 55 mm in ein beträchtlich größeres Maßleistung verlegt. Diese Erscheinung ist so zu erklären, daß durch den höheren Stand der Flüssigkeit auf dem Boden eine bessere Dämpfung der Stabschwingung eintritt und der Boden deshalb von Flüssigkeit nicht so leicht leergeschleudert wird.

Vor- und Nachteile des Bodens.

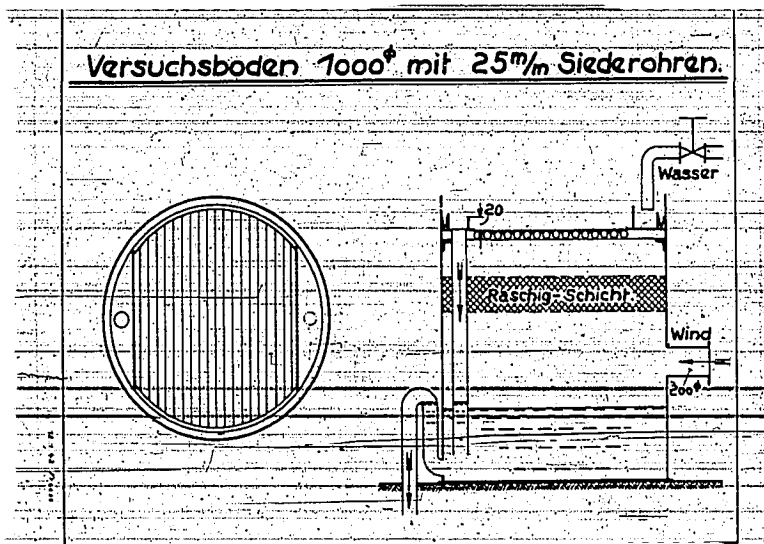
Als besonderer Vorteil des Bodens hat sich seine große Belastbarkeit mit Flüssigkeit gezeigt. Ein Nachteil ist der relativ geringe Belastungsbereich für die Gasphase, dessen obere Grenze durch Schwingungen des Bodens, während die untere Grenze mit dem Durchregen der Flüssigkeit zu erklären ist, durch eine bessere Ableitung der Stäbe, insbesondere in der Mitte, wo der Boden in dieser Hinsicht wesentlich zu verbessern gewesen. Bei jedoch Änderungen zu einem Boden so großer

Die Messung nur mit großem Material- und Leuteaufwand durchzuführen waren, wurde zur weiteren Erforschung des Stabbodens mit Ventilstäben ein kleinerer Versuchsboden mit 1000 mm Durchmesser gebaut und an ihm genauere Messungen durchgeführt.

0. Versuche an einem Stabboden mit 1000 mm Durchmesser

1. Konstruktion und Versuchseinrichtung.

Die Konstruktionszeichnung des Versuchsbodens ist aus Abbildung 12 zu ersehen. Der Boden besteht aus 25 Röhren, von 25 mm lichte[m] Durchmesser. Durch Distanzblöcke verschiedener Größe war es möglich, den



Versuchs-Stabboden 1000 mm Ø

Reorastand und damit die Schlitzbreite in Grenzen von 0-2,5 mm zu variieren. Die Windmenge für den Versuch wurde von einem Schläse geliefert und konnte durch einen Schieber in weiten Grenzen variiert werden. Unter dem Boden war eine Raschigschicht angeordnet, durch welche die Luft zuerst hindurchströmen musste, um ein gleichmäßiges Auftreffen auf dem Boden zu erreichen.

Die Röhre, welche den eigentlichen Boden bildeten, stützte sich auf einen Winkelständer, dessen dem Rohr von 1000 mm Ø angeschweißt.

war und wurden von oben her durch eine Deckplatte auf Giesseisen Winkel-
 eisenring gedrückt. Die Ventilstäbe waren durch die Deckplatte in ihrer
 Bewegung nach oben begrenzt, sonst aber frei beweglich. Das Auflaufen
 der Flüssigkeit auf den Boden erfolgte über ein gezacktes Wehr, der Ab-
 lauf vom Boden über ein konstant eingestelltes gerades Wehr von 20 mm
 Höhe. Der Boden, Abbildung 14, war in der eigenen Betriebswerkstätte

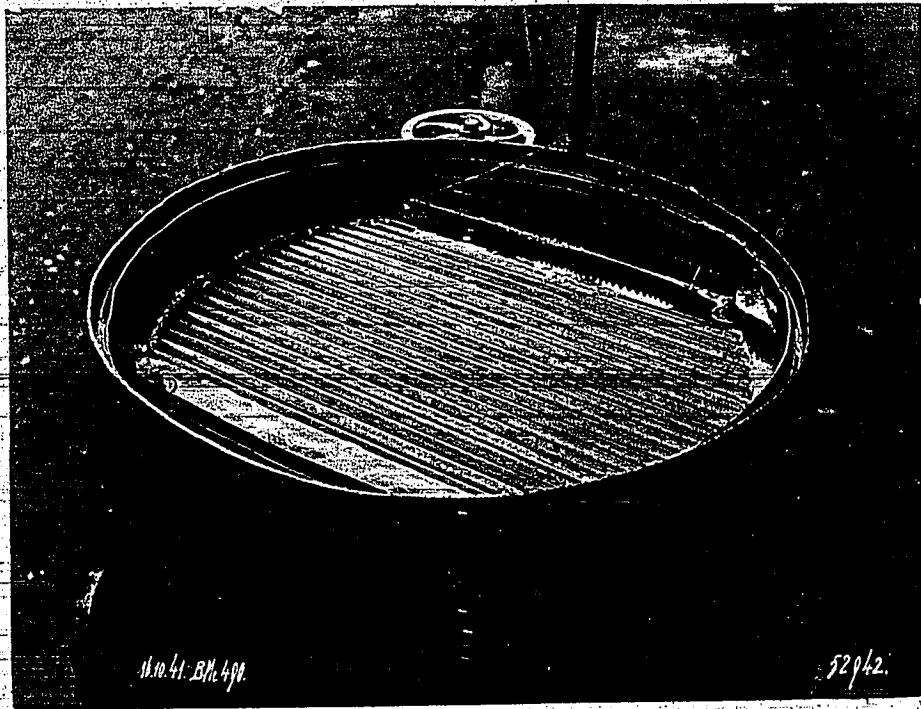


Abbildung 14
 Stababstand 400 mm, mit Ventilstäben.

hergestellt und erfüllte in Bezug auf Genauigkeit der Messung alle
 Bedürfnisse. Jedoch bei einem in einer Spezialwerkstätte mit
 größerer Genauigkeit angefertigten Boden voraussichtlich noch bessere
 Ergebnisse zu erwarten sind.

Belastungsbereich für Gas- und Flüssigkeit.

a. 1,3 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.

Abbildung 15 zeigt den Belastungsbereich des rechnerisch
 1,3 mm Abstand der Röhre unter Verwendung von Ventilstäben. Der Boden weist zuerst bei niedrigeren Gasbelastungen
 auf, in dem ein Arbeiten überhaupt nicht möglich ist.

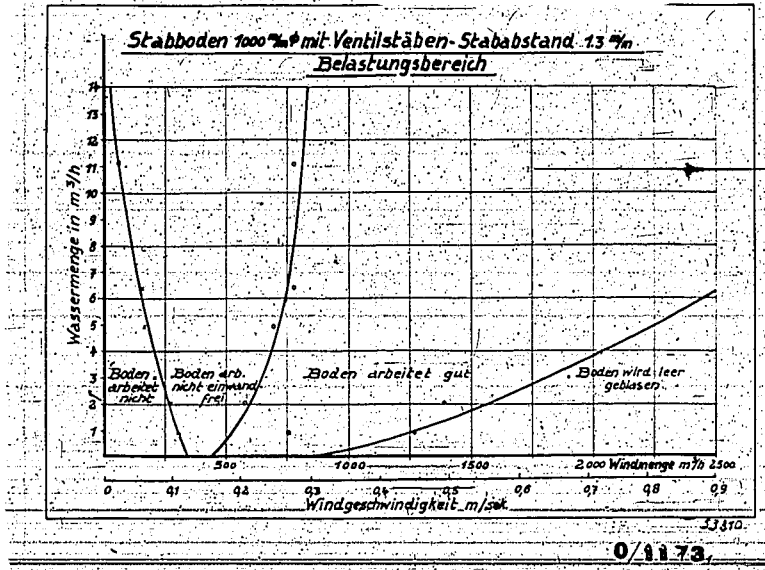


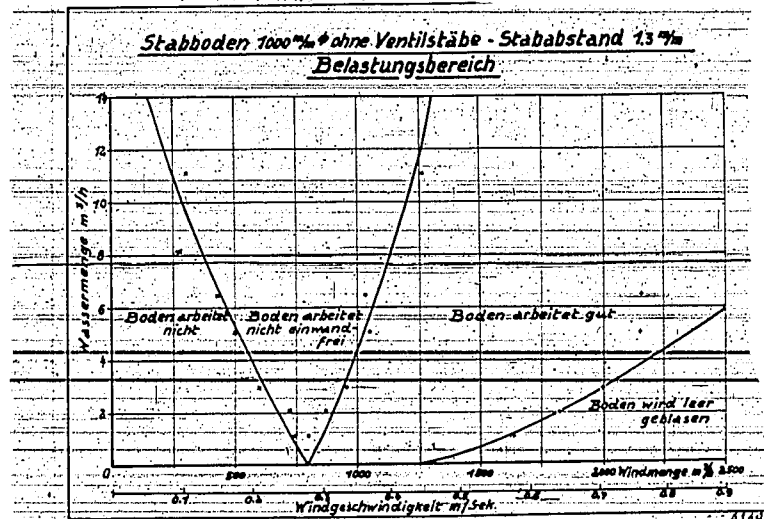
Abbildung 15
 Stabboden 1000 mm ϕ mit Ventilstäben 4 mm ϕ , Stababstand 1,3 m Belastungsbereich des Bodens.

dadurch gekennzeichnet ist, daß die Flüssigkeit durch den Boden hindurch regnet. Ein Überlaufen von Flüssigkeit am Ablaufventil erfolgt in diesem Falle nicht. Bei einer Flüssigkeitsbeaufschlagung von 1 m³/h wird dieser Bereich gekennzeichnet, durch Windgeschwindigkeit von 0,1 m/sec. Bei einer Flüssigkeitsbeaufschlagung von 2,5 m³/h von 0,05 m/sec. Bei höherer Flüssigkeitsbeaufschlagung ist das Gebiet, in dem der Boden nicht arbeitet, also regnet, nicht kleiner als bei geringen Wassermengen.

In dem Bereich, in dem der Boden nicht arbeitet, schließt sich ein solches an, in dem kein vollständig einwandfreies Durchdringen des Bodens zu erreichen ist. In diesem Gebiet tritt das Gas nicht vollständig gleichmäßig durch den Boden hindurch. Die Gasbeaufschlagung genügt nicht, um den Boden auf seiner ganzen Fläche zum Arbeiten zu bringen. Dieser Bereich tritt zum Beispiel bei einer Flüssigkeitsbeaufschlagung von 5 m³/h von 0,07 bis etwa 0,25 m/sec. Windgeschwindigkeit. In dem Bereich nicht einwandfrei arbeitend schließt sich

dann ein Gebiet an, in dem der Boden gleichmäßig arbeitet. Für die vorhin erwähnte Flüssigkeitsbelastung von 5 m³/h geht dieses Gebiet von 0,25 m/sec. bis 0,8 m/sec. Windgeschwindigkeit. Überschreitet man 0,8 m/sec. dann gelangt man in ein Gebiet, in dem der Boden von Flüssigkeit leergeblasen wird. Je höher man mit der Flüssigkeitsbeaufschlagung geht, umso höher kann man auch die Windgeschwindigkeit wählen, ohne daß Störungen in der Flüssigkeits- oder Gas-Verteilung eintreten.

Entfernt man die Ventilstäbe von dem Boden, ohne daß man sonst etwas am Abstand der Röhre ändert, so zeigt sich nach Abbildung 16, daß sich der untere Bereich in dem der Boden nicht arbei-



0/1173

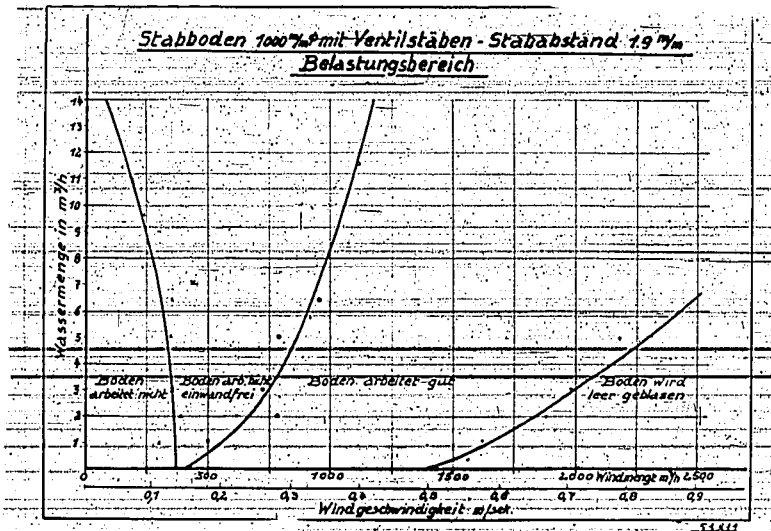
Abbildung 16
Stabboden 1000 mm ohne Ventilstäbe, Stababstand 13 mm Belastungsbereich des Bodens.

tet, besonders bei kleinen Röhrenweiten, in dem relativ geringer Windgeschwindigkeiten eintritt. Für die erwähnte von 5 m³/h benötigt man zum Beispiel eine Windgeschwindigkeit von 0,15 m/sec., um überhaupt ein Arbeiten des Bodens zu erreichen. Ebenso ist der Bereich, in dem der Boden nicht einwandfrei arbeitet, größer als wenn man Ventilstäbe verwendet und stellt sich bei einer Wasserbelastung von 5 m³/h und einer Windgeschwindigkeit von 0,3 m/sec. ein. Bei weiterer Erhöhung der Wasserbelastung wird, mit steigender das

gleiche, wie bei einem Boden mit Stäben. Nur bei sehr kleinen Flüssigkeitsbelastungen läßt sich die Windgeschwindigkeit gegenüber dem Boden mit Ventilstäben sogar erhöhen. Der Vergleich von Abbildung 15 und 16 ergibt aber ganz einwandfrei, daß das Gebiet, in dem der Boden ohne Stäbe gut arbeitet, kleiner ist als bei dem Boden mit Stäben und daß insbesondere der letztere Boden schon bei wesentlich kleineren Gasbelastungen einwandfrei funktioniert.

b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.

Die Belastungskurven des Bodens mit Ventilstäben haben nach Abbildung 17 annähernd die gleiche Charakteristik wie bei dem Bo-



071173

Abbildung 17

Stabboden 1000 mm mit Ventilstäben, 1 mm Ø, Stababstand 1,9 mm Belastungsbereich des Bodens

den mit 1,3 mm Stababstand. Der Bereich, in dem der Boden nicht arbeitet, ist ungefähr durch die gleichen Mengen bzw. Geschwindigkeiten gegeben wie bei dem vorher beschriebenen Boden mit 1,3 mm Stababstand. Das Gute arbeiten des Bodens setzt bei niedrigeren Flüssigkeitsbelastungen schon bei geringeren Windgeschwindigkeiten ein, verschiebt sich jedoch für höhere Gasermengen in den Bereich der höheren Windgeschwindigkeiten. Das Leerblasen des Bodens ist erst

falls bei kleinen Wassermengen in den Bereich größerer Windgeschwindigkeiten gerückt und erreicht für hohe Wasserbelastungen ungefähr die gleichen Werte wie bei dem Boden mit 1,3 mm Abstand. Im großen und ganzen gesehen arbeitet der Boden also besser als mit 1,3 mm Stababstand.

Das Entfernen der Ventilstäbe wirkt sich bei diesem Boden, wie Abbildung 18 zeigt, wesentlich ungünstiger aus, als beim Boden mit 1,3 mm Abstand. Der Bereich, in dem der Boden nicht zum Arbeiten kommt ist bereits außerordentlich groß geworden und erreicht für

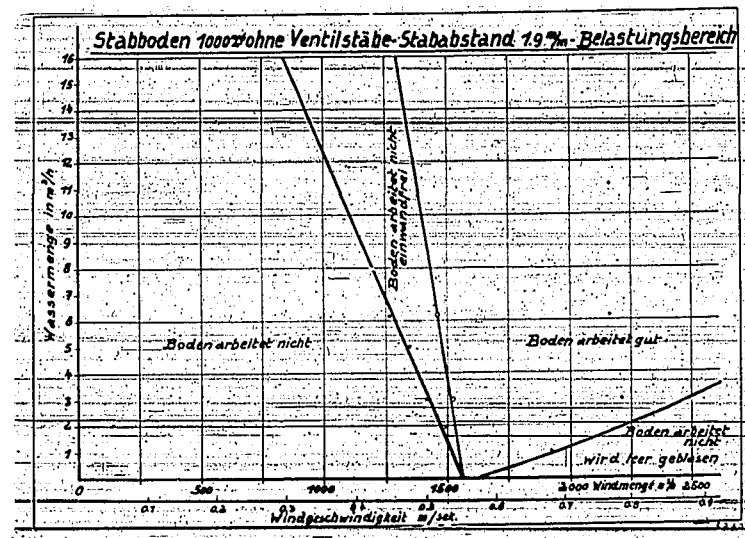


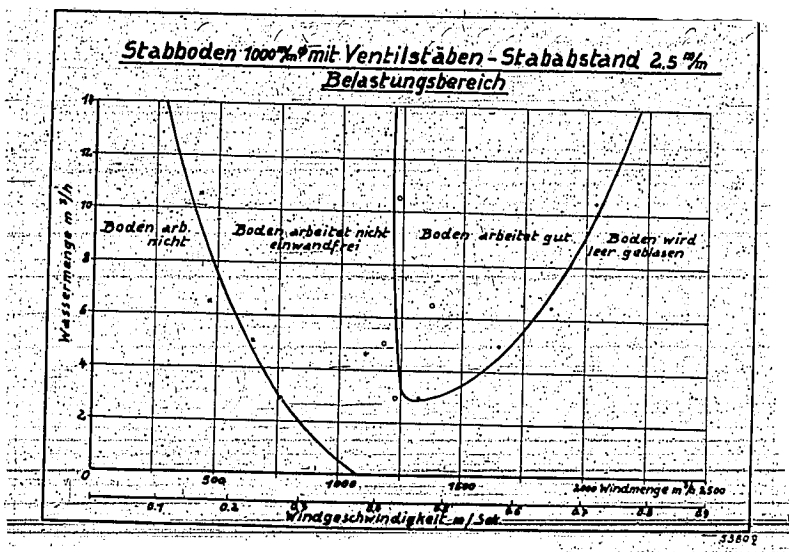
Abbildung 18
Stabboden 1000 mm ohne Ventilstäbe, 1,9 mm Stababstand, Belastungsbereich des Bodens.

5 l/m Flüssigkeitsbelastung die Windgeschwindigkeit von 6,45 m/sec. Das Gebiet, in dem der Boden nicht zum Arbeiten kommt, wird allerdings relativ klein und der Bereich, in dem der Boden leergeblasen wird, ist ungefähr der gleiche wie bei dem Boden mit Ventilstäben. Ab dem Gebiet zum Arbeiten kann jedoch wesentlich mehr Rückschlüsse gezogen werden, wenn man mit Ventilstäben

2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben

Die Erhöhung des Stababstandes auf 2,5 mm ergibt nach Abbildung 19 eine ziemlich beträchtliche Erweiterung des Gebietes in dem

der Boden nicht zum Arbeiten kommt. Bei 5 m³/h Wasserbelastung er-



0/1173,

Abbildung 19
Stabboden 100% mit Ventilstäben 5 mm Δ , Stab-
abstand 2,5 mm. Belastungsbereich des Bodens.

Man sieht man erst bei 0,225 m³/sec. Windgeschwindigkeit einen Leistungs-
 stieg des Bodens. Abnehmend das Gebiet, in dem der Boden nicht
 einwandfrei arbeitet, kleiner als bei der Ausführung mit 1,9 mm Stab-
 abstand. Man kann den Boden gut arbeiten, im gleichmäßigen
 Wasserstrom, wenn der Boden mit geringem Stababstand, und
 bei Auslastungsbedingungen unter 4 m³/h läuft sich infolge Überlastung
 dem dem Kurvenverlauf ein einwandfreies Betrieb überläuft nicht mehr
 erreichen. Die Ventilstäbe bestanden bei diesen Versuche nicht aus
 Vollstahl, sondern waren aus Rohren mit 5 mm äußeren Durchmesser
 angefertigt worden. Die Verankerung des Rohrs zeigte jedoch
 falls in Bezug auf die Dauerhaftigkeit des Bodens kein negatives
 Ergebnis.

Nach den Feststellungen der vorhergehenden Versuche war
 es nicht wahrscheinlich, daß mit dieser Boden bei den zur Verfü-
 gung stehenden Bedingungen eine Ventilstäbe Boden gut arbeiten
 zu erreichen war. Versuche, eine Ventilstäbe wurden deshalb nicht
 mehr durchgeführt.

d. Ergebnis der Belastungsversuche.

Wenn man die Grenzbelastungen der 3 Böden mit 1,3, 1,9 und 2,5 mm Stababstand betrachtet, so kommt man zu dem Ergebnis, daß das zweckmäßigste Arbeiten mit einem Stababstand von etwa 1,9 mm zu erzielen ist. Größere, bzw. kleinere Abstände schränken den Bereich, in dem der Boden gut arbeitet nur ein, ohne daß sie sonstige wesentliche Vorteile bringen, denn wie in der nachfolgenden Diskussion über die Druckverluste gesagt wird, ergibt eine Vergrößerung des Abstandes über 1,9 mm auch keine wesentliche Druckverlustminderung mehr. Der Boden arbeitet bei 1,9 mm Stababstand etwa von 0,15-0,8 m/sec. Windgeschwindigkeit und weist ein gutes gleichmäßiges Arbeiten von 0,25-0,8 m/sec. auf. Unter Voraussetzung einer besseren werkstattechnischen Arbeit, ist der Arbeitsbereich des Bodens noch zu vergrößern, besonders wenn die Deckplatte einwandfrei ausgerichtet ist und die Ventilstäbe, die durch eine Asbestdichtung in ihrem Arbeiten etwas behindert waren, sich frei bewegen können. Eine Vergrößerung des Gebietes, in dem der Boden gut arbeitet, läßt sich vermutlich auch durch Einbau eines Steges senkrecht zu den Stäben erzielen, da dann die Schwingungslänge der Stäbe auf die Hälfte vermindert und der Boden weniger leicht 100% geschädigt wird.

3. Druckverluste.

a. 1,3 mm Stababstand mit oder ohne Ventilstäbe.

In Abbildung 20 sind die Druckverlustkurven eines Bodens mit Ventilstäben als Funktion der Windmenge bzw. Windgeschwindigkeit für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen eingezeichnet. Man sieht, daß der Druckverlust mit zunehmender Windgeschwindigkeit zuerst sehr rasch ansteigt, um dann von einer Geschwindigkeit von 0,2 m/sec. an nur mehr langsam und annähernd linear zu zunehmen. Das rasche Ansteigen im Gebiet kleiner Geschwindigkeiten ist im wesentlichen durch die Ventilstäbe bedingt, die zuerst einmal abgehoben werden müssen, dann aber keine wesentliche Erhöhung des

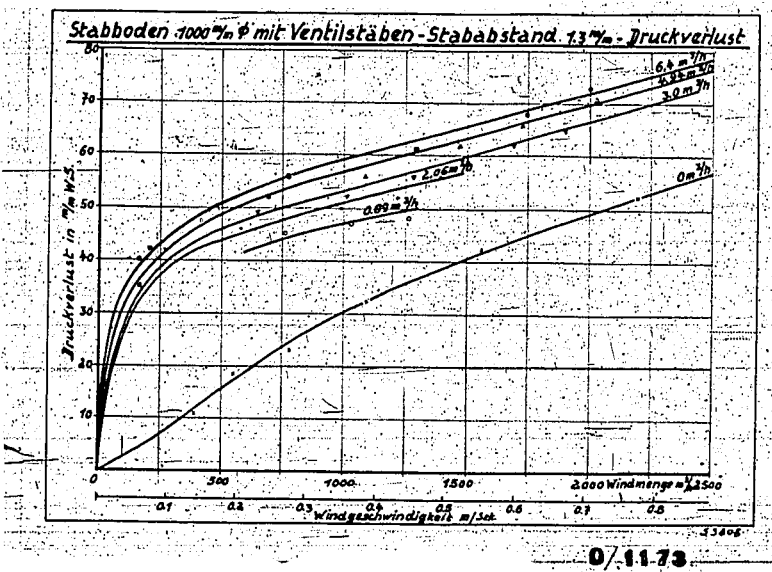


Abbildung 20
 Stabboden 1000 mm φ mit Ventilstäben, Stababstand 13 mm
 Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge
 für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.
 Druckverlustes mehr, gegenüber einem Boden ohne Stäbe vorhanden.
 Dies zeigt ganz deutlich Abbildung 21, wo die Abweichung

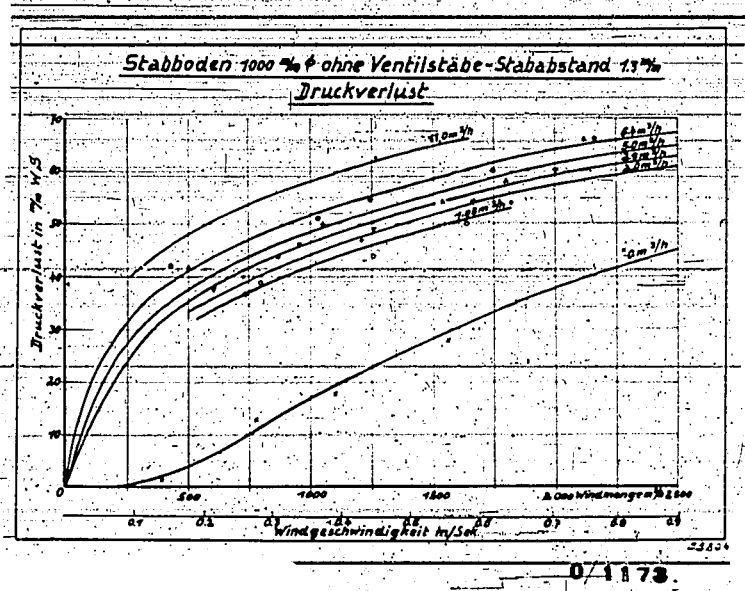
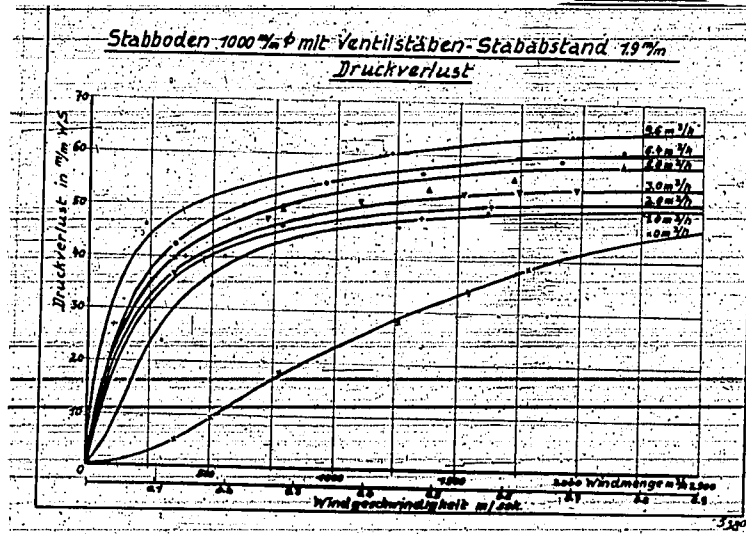


Abbildung 21
 Stabboden 1000 mm φ ohne Ventilstäbe, Stababstand 13 mm
 Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge
 für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

den Boden mit 1,9 mm Abstand, aber ohne Ventilstäbe eingetragen sind. Hier zeigt sich ganz deutlich der langsamere Anstieg des Druckverlustes im Gebiet kleiner Geschwindigkeiten. Dagegen liegen bei einer Windgeschwindigkeit von 0,9 m/sec. die Druckverluste des Bodens mit Stäben nur etwa 10 mm WS höher als bei einem Boden ohne Ventilstäbe.

b. 1,9 mm Stababstand mit und ohne Ventilstäbe.

Noch deutlicher wird durch den Vergleich von Abbildung 22 und 23 der Unterschied im Druckverlust zwischen dem Boden mit und



0/1173

Abbildung 22

Stabboden 1000 mm mit Ventilstäben, Stababstand 1,9 mm, Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge bei verschiedenen Flüssigkeitshöhen.

ohne Ventilstäbe, 500 mm Abstand verlaufen nämlich die Druckverlustkurven ohne Ventilstäbe bei kleinen Windgeschwindigkeiten noch wesentlich flacher als vorher beschrieben, während der steile Anstieg, bedingt durch die geringere Stabhöhe, bei dem Boden mit Ventilen noch vorrücken in Erscheinung tritt. Der Unterschied im Druckverlust ist bei einer Windgeschwindigkeit bei 0,9 m/sec. und einer Flüssigkeitshöheaufschlagung von 6,4 mm zwischen dem Boden

Stabboden 1000 mm mit Ventilstäben, Stababstand 1,9 mm, Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge bei verschiedenen Flüssigkeitshöhen.

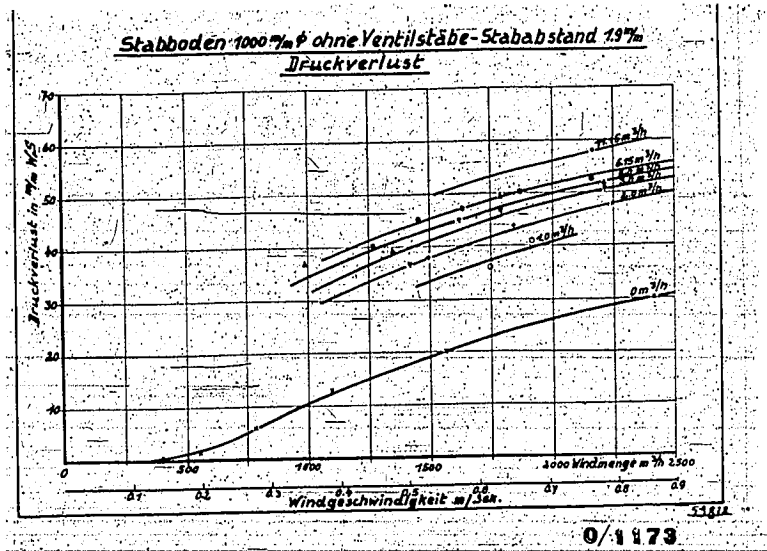
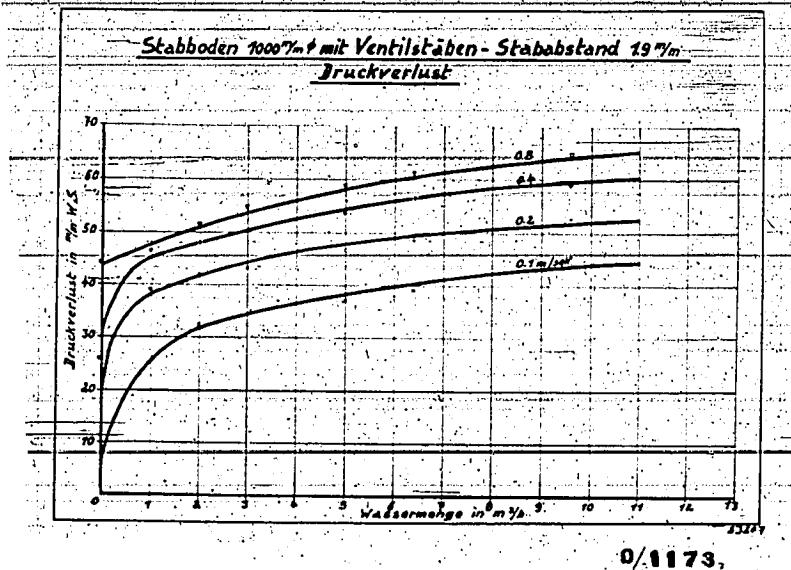


Abbildung 23

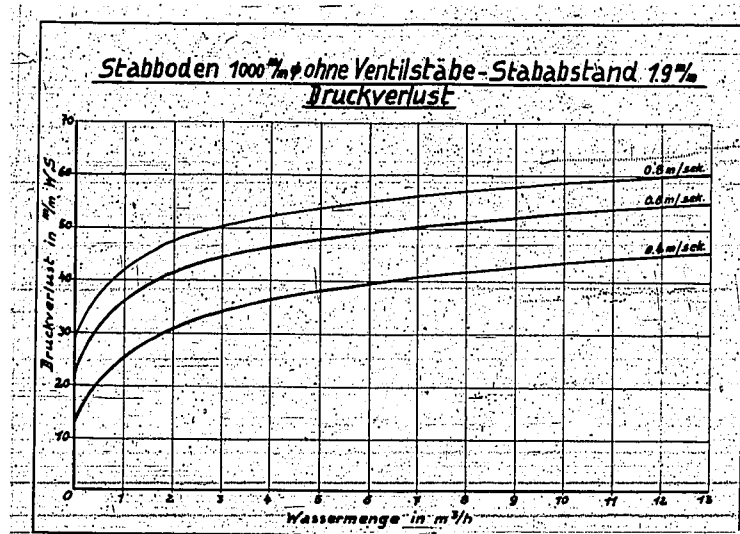
Stabboden 1000 mm Ø ohne Ventilstäbe, Stababstand 19 mm
Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit
für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

Unterschied im Druckverlust mit und ohne Ventilstäbe hat sich also bei 1,9 mm Bodenabstand noch wesentlich verringert, sodass die übrigen großen Vorteile des Bodens mit Ventilstäben den geringfügigen nur etwa 6% höheren Druckverlust in Kauf nehmen lassen.

Diese Tatsache erkennt man auch aus den Abbildung 24 u. 25



Stabboden 1000 mm Ø mit Ventilstäben, Stababstand 19 mm
Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Wassermenge
für verschiedene Windgeschwindigkeiten



0/1173

Abbildung 25

Stabboden 1000 mm ohne Ventilstäbe, Stababstand 1,9 mm
Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Flüssigkeitsbelastung für verschiedene Windgeschwindigkeiten.

wo der Druckverlust des Bodens als Funktion der Wassermenge für verschiedene Windgeschwindigkeiten als Parameter eingetragen ist.

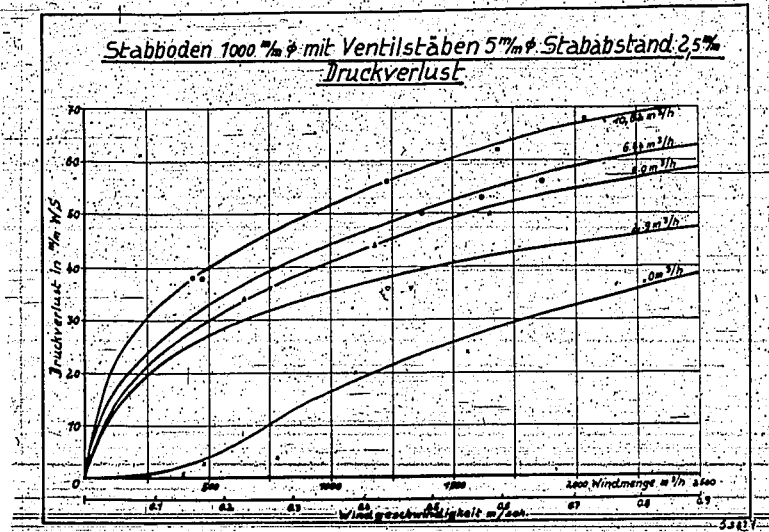
Man sieht, daß besonders im Bereich größerer Wassermengenwindigkeiten und großer Windungen die Druckverluste mit und ohne Ventilstäbe nur wenig voneinander abweichen und das nur im Bereich kleiner Flüssigkeitsbelastungen, also aber im allgemeinen bei technischer Ausführung nicht vorkommen, größere Differenzen vorliegen.

2,5 mm Stababstand mit Ventilstäben.

In Abbildung 26 sind die Druckverluste eines Bodens mit

2,5 mm Abstand und 5 mm Ventilstäben als Funktion der Windgeschwindigkeiten für verschiedene Flüssigkeitsbelastung als Parameter eingetragen. Der steilenstieg des Druckverlustes bei kleinen Windgeschwindigkeiten hat sich gegenüber dem Boden mit 1,9 und 1,9 mm

Abstand gemildert. Dies ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß die Ventilstäbe, wie bereits weiter oben angedeutet, als Hohlstäbe ausgebildet waren und trotz ihres großen Durchmessers geringeres Gewicht hatten, als die früher verwendeten Vollstäbe mit 4 mm ϕ . Im



0/1173

Abbildung 26

Stabböden 1000 mm ϕ mit Ventilstäben 5 mm ϕ , Stababstand 2,5 mm, Druckverlust des Bodens in Abhängigkeit von der Windmenge für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen.

Bereich hoher Windgeschwindigkeiten zum Beispiel 0,8 m/sec. unter Berücksichtigung des Druckverlusts kaum von denen des Bodens mit 1,9 mm Abstand. Die Vergrößerung der Schlitzbreite über 2 mm bedeutet also, in bezug auf den Druckverlust keinen Fortschritt, sondern wie auch aus diesem Grund nicht gerechtfertigt ist.

d. Druckverlustziffer.

Ferner wurden noch die Druckverlustziffern des nicht mit Flüssigkeit beaufschlagten Bodens, bezogen auf die Geschwindigkeit im ungetrennten Querschnitt, berechnet und in Abbildung 27 über der Windgeschwindigkeit, bezogen auf den freien Kolonnenquerschnitt, aufgetragen. Man sieht auch hier, daß bei kleinen Windbelastungen durch das Abheben der Stäbe ein Vielfaches der kinetischen Energie des strömenden Gases verbraucht wird. Bei einer Geschwindigkeit von 0,2 m/sec. in der Kolonne beträgt für 1,9 mm Rohrabstand mit Ventilstäben die Druckverlustziffer 6,75 und sinkt bei 0,9 m/sec. auf 1,45. Bei 1,9 mm Stababstand und 0,9 m/sec. Geschwindigkeit

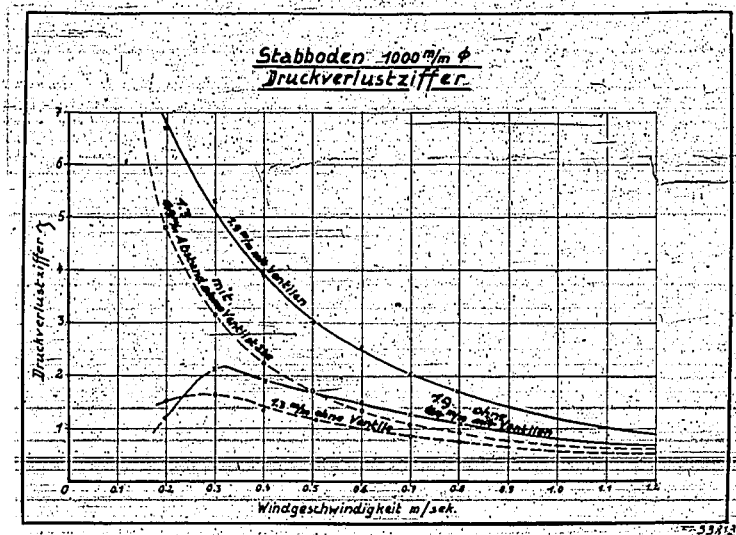


Abbildung 27

Stabboden 1000 mm ϕ , Druckverlustziffer ζ des Bodens be-
zogen auf die Geschwindigkeit im engsten Querschnitt mit
und ohne Ventilator in Abhängigkeit von der Windbelastung
ohne Flüssigkeitüberladung.

Nach der Druckverlustziffer ζ des Bodens ist der Wert $0,5$, ohne
Ventilator $0,2$, hier wird also ein Teil der kinetischen Energie
des freien Windes zurückgewonnen. Bei hohen Geschwindigkeiten
sinkt dennoch die Druckverlustziffer unter 1. Die Stäbe sind in
diesem Fall vollständig von ihrer Unterlage gehoben und schweben
über dem Rost. Der Gasstrom löst sich beim Ausströmen aus der Stab-
öffnung in die Umgebung an die Wandungen an. Durch eine günstige
Stabform der Staböffnung wäre vermutlich eine weitere Senkung
des Druckverlusts zu erzielen. Man müßte dann allerdings auf die
Bauweise des Bodens achten, um einen von ihm besonders ge-
eigneten Stab dafür verwenden.

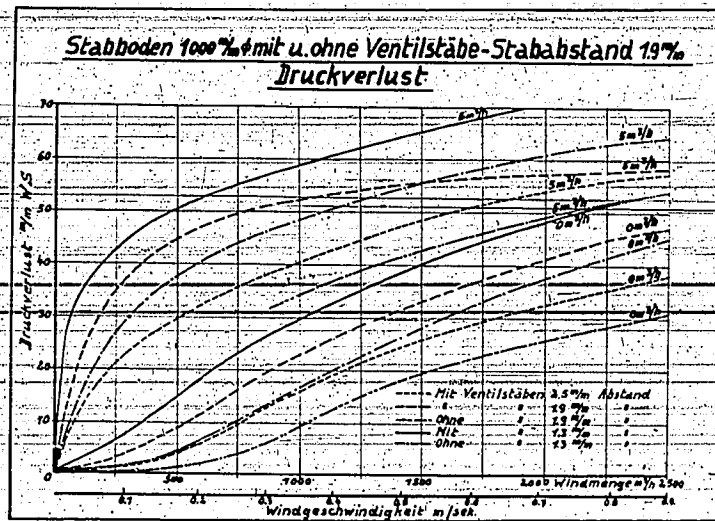
3. Ergebnis der Druckverlustversuche.

Betrachtet man die absolute Höhe des Druckverlusts, so fin-
det man, daß er doch wesentlich höher liegt, als bei Glockenboden-
konstruktionen. Bei der letzten früher untersuchten 3×3 m Stab-
boden wurde ein Druckverlust einer Windmenge von 20 000 m^3/h an-

einer Flüssigkeitbelastung von 33 $\frac{t}{h}$ ein Druckverlust von 50 mm WS gefunden. Der Stabboden von 1,9 mm Schlitzbreite mit Ventilstäben hat bei der proportional umgerechneten entsprechenden Belastung einen Druckverlust von 55 mm, also nur 10% höher.

Die Vergrößerung der Schlitzbreite von 1,3 auf 1,9 mm bringt eine Senkung des Druckverlustes um ca. 10%, während die Erhöhung des Stababstandes auf 2,5 mm im Bereich höherer Geschwindigkeiten keine wesentlich Verbesserung mehr bedeutet. Auch bezüglich des Druckverlustes ergibt also der Boden mit 1,9 mm Abstand die besten Bedingungen.

In Abbildung 28 sind zum Vergleich nochmals Druckverlustkurven in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für die Flüssig-



1173

Abbildung 28
Stabboden 1000 mm mit u. ohne Ventilstäbe - Stababstand 1,9 mm, Druckverlust des Bodens als Funktion der Windmenge, mit und ohne Ventilstäbe für verschiedene Flüssigkeitsbelastungen

keitsbelastung von 0 und 5 $\frac{t}{h}$ und die einzelnen Schlitzbreiten/eingebracht worden. Die oben angeordneten Ergebnisse sind daraus klar zu ersehen.

4. Photographische Aufnahmen des in Betrieb befindlichen Stabbodens.

In den folgenden Abbildungen sind einige Betriebszustände

des Stabbodens mit Ventilstäben für 1,5 mm Stababstand festgehalten:

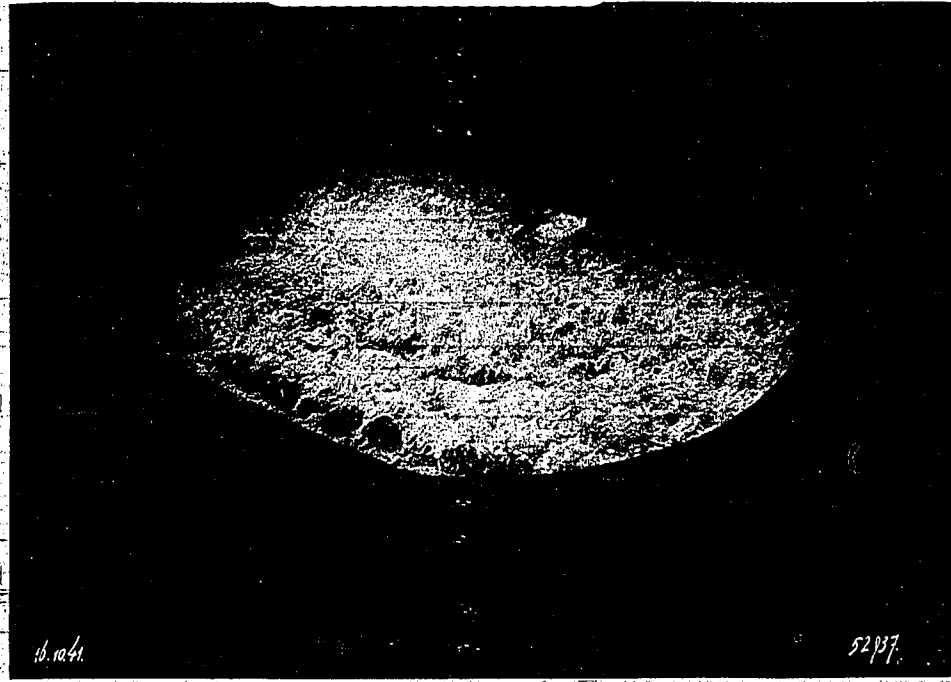


Abbildung 29
 Stabboden 1000 mm ϕ
 Windbelastung 350 $\frac{N}{m^2}$
 Wasserbelastung 0,5 $\frac{m^3}{m^2}$



Abbildung 30
 Stabboden 1000 mm ϕ
 Windbelastung 350 $\frac{N}{m^2}$
 Wasserbelastung 2,0 $\frac{m^3}{m^2}$



Abbildung 31
Stabboden 1000 mm Ø
Windbelastung 350 m/h
Wasserbelastung 5,7 m/h.

Die photographischen 3-Aufnahmen 29-31 sind in dem Bereich gemacht, der auf Abbildung 15 als nicht einwandfrei bezeichnet wurde, und zwar ziemlich nahe an der Grenzkurve, wo ein Arbeiten überhaupt aufhört.





Abbildung 35
Stabbecken 1000 mm Ø
Windbelastung 1015 m/h
Wasserbelastung 2,9 m/h.



Stabbecken 1000 mm Ø
Windbelastung 1015 m/h
Wasserbelastung 2,9 m/h.

Die Abbildungen 32-34 sind in den Bereich des guten Arbeitens des Bodens aufgenommen, und zwar in der Nähe der Grenzkurve, die das Gebiet guten von demjenigen nicht einwandfreien Arbeitens voneinander trennt. Man sieht auch hier, daß der Boden um so besser arbeitet, je mehr er mit Flüssigkeit beaufschlagt ist.

5. Anfahrbereich des Bodens.

Wie weiter oben schon angedeutet ergab sich für verschiedene Stababstände auch ein verschieden großer Bereich, in welchem der Boden nicht arbeitet, weil die Flüssigkeit durch die Schlitzaustritte hindurchläuft, sodaß sich kein geregelter Flüssigkeitspiegel auf dem Boden halten läßt. Noch stärker wirkt sich dieser Einfluß des Durchregnens beim Anfahren der Böden aus. Stellt man auf den nicht mit Flüssigkeit beaufschlagten Boden eine gewisse Windmenge und steigert dann die Flüssigkeitsmenge langsam von 0 bis zu einem Wert bei dem die Flüssigkeit sich über dem Boden bis zum Ablaufwehr ausbreitet und der Boden zu arbeiten anfängt, so kann man ein Gebiet abgrenzen, in welchem ein Anspringen des Bodens überhaupt nicht stattfindet, gegenüber einem Gebiet, in welchem ohne weiteres das Arbeiten des Bodens erfolgt. Hier zeigt sich am allerdeutlichsten der Vorteil eines mit Ventilstäben ausgerüsteten Bodens gegenüber einem Boden ohne diese Einrichtung.

Wie man aus den Abbildungen 32, 33 und 34 am Abstand und jeweils mit und ohne Ventilstäbe sind die Flüssigkeitsmengen, die zum Anfahren des Bodens notwendig sind, als Funktion der Windgeschwindigkeit in Abbildung 35 eingetragen. Ein Boden mit 1,3 mm Abstand benötigt zum Beispiel bei einer Windgeschwindigkeit von 0,2 m/sec. eine Wassermenge von 100 l/h um in Funktion zu treten, während der gleiche Boden ohne Ventilstäbe erst bei etwa 0,5 m/sec. zum Arbeiten kommt. Noch krasser sind die Verhältnisse bei einem Boden mit 4,9 mm Abstand. Hier ergibt sich zum Beispiel bei der gleichen Windgeschwindigkeit mit Ventilstäben ebenfalls ein Anspringen bei einer Wassermenge von etwa 100 l/h, während ohne Ventilstäbe die Flüssigkeitsmenge zu dem gleichen Zweck auf etwa 30 l/h eingestellt werden müßte. Diese schlechte Anspringen eines Bodens ohne Ventile würde sich bei einer ausgeführten Kolonne natürlich in erster Linie auf den obersten Boden auswirken, während durch das Durchregnen auf den nächstfolgenden Böden eine immer größere Anbaufähigkeit der Flüssigkeit stattfinden wird.

6. Abnutzung der Ventilstäbe.

Von wesentlichem Einfluß auf die Verwendbarkeit des Bodens mit Ventilstäben ist natürlich seine Abnutzung. Es interessiert die Frage, ob die Stäbe vom Boden abgehoben und durch das Gas in der Schwebelage gehalten werden, oder ob sie im Betrieb dauernd auf dem Boden zurückschlagen und dann großer Abnutzung unterworfen sind. Um dies Verhalten zu untersuchen, wurden einige Ventilstäbe gewogen und ihre Gewichtsabnahme im Laufe mehrerer Betriebsstunden gemessen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist aus Zahlentafel 1 zu ersehen.

| Versuch Nr. | Gew.d. Stäbe | | Gewichts- abnahme | Versuchs- dauer | Gew. abnah- me/Jahr | Bemer- kungen |
|----------------|--------------|------------|----------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| | v.d. Vers. | n.d. Vers. | | | | |
| 1 | 88,02 g | 87,92 g | 0,10 g | 52 h | 19,2 % |) Ven- til- stä- be. |
| 1 | 88,70 g | 88,58 g | 0,12 g | 52 h | 22,8 % | |
| 1 | 90,68 g | 90,58 g | 0,10 g | 52 h | 18,6 % | |
| 1 | 90,39 g | 90,26 g | 0,13 g | 52 h | 24,2 % | |
| 2 | 87,92 g | 87,79 g | 0,13 g | 160 h | 3,1 % |) Ven- til- stä- be. |
| 2 | 88,58 g | 88,40 g | 0,18 g | 160 h | 11,1 % | |
| 2 | 90,58 g | 90,47 g | 0,11 g | 160 h | 6,7 % | |
| 2 | 90,26 g | 90,07 g | 0,19 g | 160 h | 11,5 % | |
| 3 | 66,75 g | 66,62 g | 0,13 g | 138,5 h | 12,5 % |) fest ange- bracht |
| 3 | 66,65 g | 66,52 g | 0,13 g | 138,5 h | 12,5 % | |
| | | | | | |) ab- ge- stirbt |

Zahlentafel 1
Gewichtsabnahme der Ventilstäbe

Die 1. Stäbe zeigten nach den ersten 52 Betriebsstunden eine mittlere Abnahme von 0,13 Gewichtsprozent. Das würde eine jährliche Abnahme der Stäbe um etwa 21,2 Gewichtsprozent bedeuten. Dieses Ergebnis war nicht ganz günstig. Die Stäbe sahen aber gar nicht so abgenutzt aus, wie man erwarten würde. Sie hatten kein metallisches Aussehen, wie es der Fall wäre, wenn das Arbeiten infolge des Zurückschlagens auf dem Boden erfolgen würde. Es war deswegen der Schluss naheliegend, daß der Gewichtsverlust durch Korrosion bedingt war. Die Stäbe wurden deswegen nochmals einem Versuch unterworfen und gleichzeitig 2 Schweisstäbe desselben Materials so in der sprudelnden Flüssigkeitsschicht befestigt, daß sie nur einem Korrosionsanriff, aber keiner mechanischen Abnutzung ausgesetzt

waren. Es ergab sich nun, daß sowohl die Ventilstäbe als auch die beiden Vergleichsstäbe im Laufe von 160 bzw. 138,5 Betriebsstunden mindestens den gleichen prozentualen Gewichtsverlust erlitten (Zahlentafel 1) und dabei die Gewichtsabnahme gegenüber dem ersten Versuch etwa auf die Hälfte zurückgegangen war. Da die kupferfarbige Oberfläche der Schweißstäbe bei dem ersten Versuch abkorrodierte, besteht die Wahrscheinlichkeit, daß dieselbe einer erhöhten Korrosion unterworfen ist. Bei den Vergleichsstäben war diese Schicht vor dem Einbau mit Schmirgelleinwand abgearbeitet worden. Die Versuche lassen erwarten, daß in einer Kolonne, die mit nichtkorrodierendem Medium gefahren wird oder die aus korrosionsbeständigem Material gebaut ist, eine Abnutzung der Ventilstäbe und der den Boden bildenden Rohre nicht eintritt.

D. Entwurf eines Bodens mit 1000 mm Ø.

Die bisherigen Versuche sagen noch nichts aus über das mit dem Stabboden erreichbare Verstärkungsverhältnis. Sie wurden gemacht, um die strömungstechnischen Eigenschaften des Bodens, die mit der Voraussetzung für eine gute Trennwirkung sind, zu erforschen. Da der Bau einer Versuchskolonne mit den neuen Böden unter den heutigen Verhältnissen sehr schwierig ist, haben wir zwei Böden zum Einbau in einen Versuchsauftrag gegeben. Die Apparatur, die aus Aluminium besteht, ist aus Abbildung 26 zu sehen und erhält bei 1000 mm Ø einen Boden aus Rohren von 25 mm Ø und 2 mm Rohrabstand. Die beiden Böden sind denjenigen des Versuchsbodens ziemlich genau nachgebildet. In der Abbildung 26 erhält der Boden nochmals eine Verstärkung durch einströmendes Luft. Bei großen Windgeschwindigkeiten zu verbessern.

auf der Abbildung 26 ist ferner eine Ablichtung des Bodens gegenüber der Außenwand zu sehen, die in Leuna zum Zweck der Abstrahlung entwickelt wurde. Während früher in dem Zwischenraum zwischen Boden und Kolonnenwand Asbest ausgestopft wurde, besteht die neue Dichtung aus einem federnden U-förmigen Metallring, dessen einer Schenkel sich gegen die Kolonnenwand und der andere gegen den Boden legt. Die Dichtung erhält sich bei Verwendung eines Blockes von 8,5 x 0,75 mm Stärke und einer Schenkellänge von 20 mm bei einer Breite des äußeren Ringrandes von 10 mm. Der Ring kann an einer Stelle offen sein und wird dann überlappt angeordnet. Der entstehende Spalt

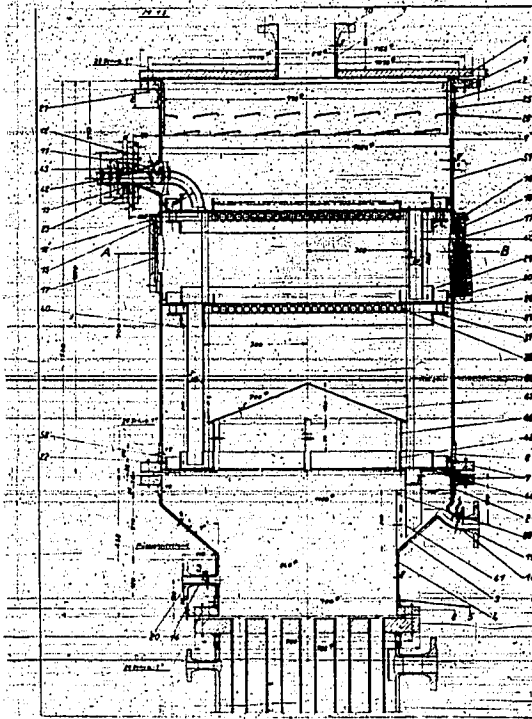


Abbildung 36
Stabboden 1000 mm für eine Waschapparatur.

gleichzeitig als Leerlauföffnung.

Das Einbringen eines derartigen Dichtungsringes erfordert etwa 1 Minute Zeit während das Abdichten mit Asbest bei sorgfältiger Arbeit etwa 2 Stunden in Anspruch nimmt.

E. Vorschlag für einen Boden mit großem Durchmesser.

Falls man einen großen Boden als Stabboden ausführen will, ist es, wie die Versuche zeigen, nicht zweckmäßig, Stäbe mit über 1 m Länge zu verwenden, da diese zu leicht in Schwingungen kommen und den Flüssigkeitsablauf stören.

Es ist dann richtiger, den Boden in eine Anzahl Bahnen mit kleiner Stablänge aufzuteilen und eine Anordnung, wie sie in Abbildung

Stabboden mit großem
Durchmesser.

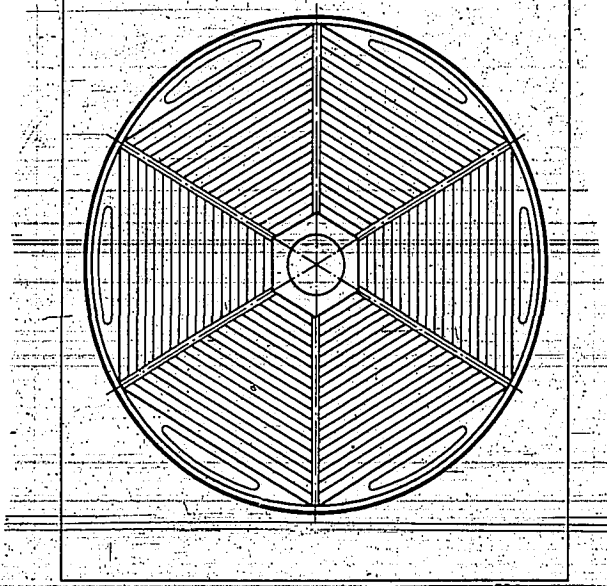


Abbildung 37

entwurf eines Stabbodens mit großem Durchmesser.

gezeichnet ist, auszuführen. Die Flüssigkeit wird bei diesem Boden innen aufgegeben, fließt nach außen und von dort auf den darunter liegenden Boden, wo sie von innen nach außen strömen muß.

Es wird über Versuche mit einem neuartigen Stabboden berichtet, der aus parallelen, in Abständen von etwa 2 mm voneinander von 25 mm d. p. besteht. Um den Belastungsverlust gegenüber einem normalen Siebboden zu erweitern, wurden in die entstehenden Schlitze Ventilstäbe von 8 mm Durchmesser gelegt. Der Belastungsbereich des Bodens und der Druckverlust wurden eingehend untersucht und die optimalen Bedingungen ermittelt. Der Boden nähert sich in bezug auf die Belastbarkeit mit Gas weitgehend dem Glockenboden, während er die hohe Flüssigkeitsbelastung mit einem Siebboden gemeinsam hat.