

Anwendung des Vakuumverfahrens zum Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle

T 1106

T 1106

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

T 1106 Anwendung des Vakuumverfahrens zum Einpressen von Zementmörtel
in Spankanäle

P R Ü F B E R I C H T

ANWENDUNG DES VAKUUMVERFAHRENS
ZUM EINPRESSEN VON ZEMENTMÖRTEL IN SPANNKANÄLE

MÜNCHEN

10.04.83

DYCKERHOFF & WIDMANN

HEILIT & WOERNER

PROF.DR.-ING.WILHELM MANNS, OTTO-GRAF-INSTITUT STUTTGART

ALLGEMEINES	1
1. <u>VERSUCHE ZUR ERMITTLUNG DES EINFLUSSES VON VERENGTE D DURCHFLUSSQUERSCHNITTEN IN SPANN- KANALVERENGUNGEN AUF DIE VERPRESSBARKEIT</u>	2
1.1 Versuchsziel	2
1.2 Versuchsaufbau	2
1.3 Versuchsdurchführung	3
1.4 Versuchsergebnisse	3
Bilder 1.1 bis 1.3	4
Tabellen 1.1 bis 1.3	6
2. <u>LUFTVOLUMENBESTIMMUNG MIT HILFE DES VOLUMESS-GERÄTES ZUR ERMITTLUNG DER LAGE VON ENGSTELLEN</u>	9
2.1 Versuchsziel	9
2.2 Versuchsaufbau	9
2.3 Versuchsdurchführung	9
2.4 Versuchsergebnisse	10
Bilder 2.1 bis 2.6	12
Tabellen 2.1 bis 2.4	18
3. <u>EINFLUSS VON RESTWASSER IM SPANNKANAL AUF DIE VERFÜLLUNG UNTER VAKUUM</u>	21
3.1 Versuchsziel	21
3.2 Versuchsaufbau	21
3.3 Versuchsdurchführung	22
3.4 Versuchsergebnisse	23

	Seite
Bilder 3.1 bis 3.10	24
Tabellen 3.1 und 3.2	30
4. <u>EINFLUSS VON RESTLUFT IM SPANNKANAL</u>	33
4.1 Versuchsziel	33
4.2 Versuchsaufbau	33
4.3 Versuchsdurchführung	34
4.4 Versuchsergebnisse	36
Bilder 4.1 bis 4.15	38
Tabellen 4.1.1 bis 4.3.2	48
5. <u>ZUSATZVERSUCHE</u>	67
5.1 Versuchsziel	67
5.2 Versuchsaufbau	67
5.3 Versuchsdurchführung	67
5.4 Versuchsergebnisse	67
Bilder 5.1 bis 5.11	71
Tabellen 5.1 bis 5.2	79

ForschungsvorhabenAnwendung des Vakuumverfahrens zum Einpressen von Zementmörtel in Spannkänäle.

Das vom Institut für Bautechnik finanzierte Forschungsvorhaben, an dem das Prof. Manns vom Otto-Graf-Institut der Universität Stuttgart, sowie die Firmen Dyckerhoff & Widmann und Heilit & Woerner beteiligt sind, hatte zum Ziel, Anwendungskriterien für das Vakuumverfahren beim Verpressen bzw. Sanieren von Spannkänälen zu erarbeiten.

Es wurden 4 Teilbereiche untersucht.

1. Einfluß eines verengten Durchflußquerschnittes im Spannkanal auf die Injizierbarkeit bei Anwendung der bekannten Verpreßtechnik und bei Anwendung des Vacuumverfahrens. (Vergleich)
2. Möglichkeiten zur Eingrenzung der Lage von Engstellen durch Messung des Luftvolumens im Spannkanal.
3. Ermittlung des Einflusses von Restwasser im Spannkanal auf die Verfüllung.
4. Ermittlung des Einflusses von Restluft im Spannkanal auf die Verfüllung.

1. Versuche zur Ermittlung des Einflusses von verengten Durchflußquerschnitten in Spannkanalverengungen auf die Verpreßbarkeit

Vergleich zwischen üblicher Verpreßtechnik und dem Vakuumverfahren

1.1 Versuchsziel

Durch in Form und Größe unterschiedliche Durchflußquerschnitte sollte festgestellt werden, ob bei Einsatz des Vakuumverfahrens günstigere Fließbedingungen für den Einpreßmörtel an Engstellen vorliegen als bei Anwendung des üblichen Verpreßvorganges. Es sollte also überprüft werden, ob Engstellen, die bei normalem Verpressen zu Verstopfern im Spannkanal führen, bei Einsatz des Vacuumverfahrens für den Einpreßmörtel durchgängig bleiben.

1.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist Bild 1.1 zu entnehmen. Das Gesamtvolumen des Systems einschließlich des Auffangbehälters vor dem Vakuumgerät beträgt ca. 35 dm^3 , davon liegen ca. 7 dm^3 zwischen Engstelle und Mischer.

Verwendete Geräte: Turbomischer mit Mohnpumpe Hersteller Fa. Heilit&Woerner
Vacufill-Gerät, Hersteller Fa. Steinhauer/-Halver

Die Engstelle wurde dadurch erzeugt, daß zwischen den Stahlrohren in ca. 12 m Abstand vom Mischer ein mit Mörtel verfüllter Doppelnippel, $\varnothing 1 \frac{1}{4}''$, mit beidseitigen Geka-Kupplungen eingebaut wurde (siehe Bild 1.2 und 1.3). Durch einen bzw. mehrere beim Verfüllen des Nippels in den Mörtel eingelegte Drähte, die nach dem Abbinden wieder gezogen werden, erhielt man einen Durchgang mit dem gewünschten Querschnitt (siehe Tabellen 1.1 - 1.3.). Die Länge der Engstelle wurde zwischen 2 und 6 cm variiert.

Unmittelbar vor der Engstelle befand sich ein Manometer, um den Verpreßdruck an dieser Stelle bestimmen zu können (siehe Bild 1.3).

1.3 Versuchsdurchführung

Die Versuche fanden im Februar 1981 in der Halle des Fertigteilwerkes Höhenkirchen der Fa. Heilit&Woerner statt.

Der Einpreßmörtel wurde unter Verwendung von Portlandzement PZ 35 F, Marienstein und 10 gr Tricosal pro kg Zement hergestellt. Die Mischdauer betrug ca. 2 Minuten. Der W/Z-Wert und die Tauchzeiten sind den Tabellen 1.1 bis 1.3 zu entnehmen.

Zunächst wurde die Durchgängigkeit verschieden großer Engstellen beim normalen Verpreßvorgang (Mischer bei A, Entlüftung bei B) ermittelt. Die Engstelle, bei der ein Verstopfer auftrat, wurde gesäubert und anschließend der Versuch unter Einsatz des Vakuumerätes (Mischer bei A, Vacufill-Gerät bei B, s. Bild 1.1) wiederholt. Dabei wurde erst der gesamte Hohlraum von B aus evakuiert. Nach Erreichen des Vakuums von ca. 50 mbar lief die Pumpe noch ca. 3 Minuten, bevor am Mischer der Absperrhahn langsam geöffnet wurde und Mörtel in das Leitungssystem einfließen konnte. Das Vacufill-Gerät blieb während des gesamten Verpreßvorganges in Betrieb.

Das Leitungssystem wurde vor jedem Versuch mit Wasser freigespült. Der Nachweis, daß die verglichenen Engstellen gleichartig waren, konnte über das erzielbare Vakuum geführt werden, wenn sie unmittelbar an das Vacufill-Gerät angeschlossen wurden (s. Tabellen 1.1 - 1.3).

1.4 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 1.1 bis 1.3 zusammengestellt. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem normalen Verpressen und dem Verpressen mit Vakuum hinsichtlich der Durchgängigkeit von Engstellen konnte bei diesen Versuchen nicht festgestellt werden.

Bei kleinen Durchflußquerschnitten wirkt die Engstelle als Filter. Dadurch wird der Mörtel entwässert und eine Verstopfung hervorgerufen.

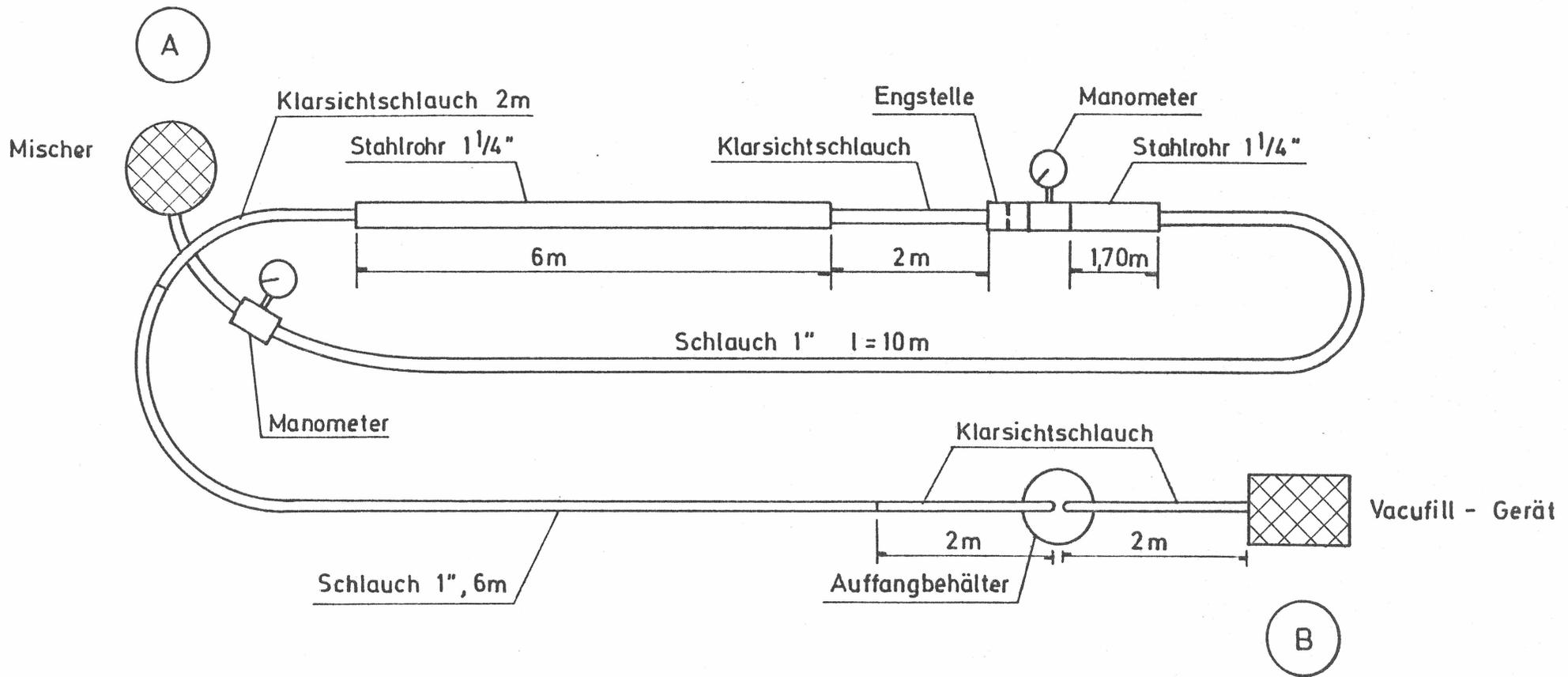


Bild 1.1 Versuchsanordnung - Verpressen mit einer Engstelle im Spannkanal



Bild 1.2 Engstellen

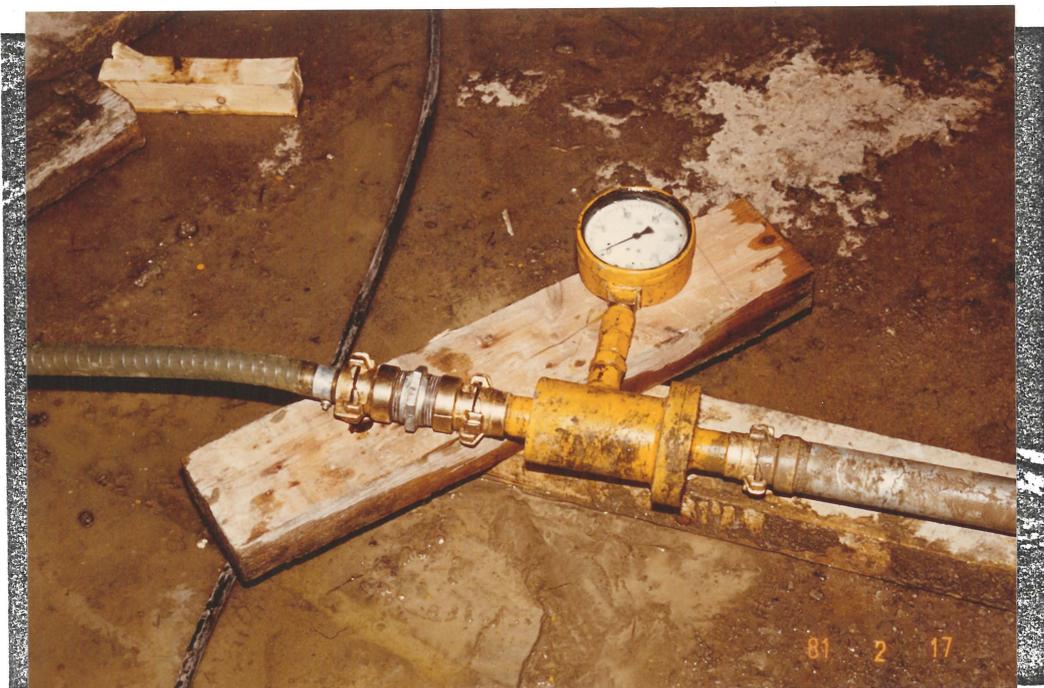


Bild 1.3 Eingebaute Engstelle

Tabelle 1.1: Einfluß verengter Durchflußquerschnitte
 1. Versuchsreihe am 16.02.81

Durchführung: Fa. Heilit & Woerner
 Fa. D&W

Einpreßmörtel: W/Z = 0,36 sec.
 Tauchzeit nach dem Mischen: 33 sec.

Lochdurchmesser	Länge der Engstelle	Vakuumprüfg. d. Engstelle	aufgebrachtes Vakuum	Verpreßdruck*	Ergebnis
mm	cm	mbar	mbar	bar	
1 Ø 3 mm	6	670	---	4	durchgängig
1 Ø 2 mm	6	250	---	3	Loch geschlossen kein Mörtelaustritt
1 Ø 2 mm	6	240	80	2	kein Mörtelaustritt, Druck bis 10 bar gesteigert, bleibt dicht; Engstelle läßt sich danach nicht mehr säubern;
4 Ø 2 mm	6	770	---	3	zunächst guter Durchgang, dann Druckanstieg, bei 5 bar verstopft;
4 Ø 2 mm	6	750	---	2	ca. 0,35 l EPM ausgetreten, dann verstopft
4 Ø 2 mm	6	760	50		ca. 0,5 l EPM durch Engstelle geschossen, dann schlagartig verstopft; Tauchzeit: 55 sec.

* gemessen unmittelbar vor der Engstelle

Tabelle 1.2: Einfluß verengter Durchflußquerschnitte
 2. Versuchsreihe am 17.02.81

Durchführung:

Fa. Heilit & Woerner
 Fa. D&W

Einpreßmörtel:

W/Z= 0,36

Tauchzeit nach Mischen: 31 sec
 nach 30 min.: 80 sec.

Zeit	Loch- durch- messer	Länge der Engstelle	Vakuumprüfung d. Engstelle	aufgebrach- tes Vakuum	Ver- preß- druck*	Ergebnis
	mm	cm	mbar	mbar	bar	
1350	4 Ø 2 mm	6	680	---	2	durchgängig
1353	2 Ø 2 mm	6	580	---	3	durchgängig
1358	1 Ø 2 mm	6	250	---	2,5	zunächst durch- gängig, dann Verschluß nach Erhöhung auf 3,5 bar wieder durch- gängig
1404	4 Ø 1 mm	6	230	---	2,5	durchgängig für ca. 1 l, dann verstopft
1412	4 Ø 1 mm	6	220	50		nicht durch- gängig
1513	4 Ø 1 mm	6	250	---	2,5	etwas Mörtel ausgetreten, dann verstopft, Tauchzeit 28 sec
1520	4 Ø 1 mm	6	240	70	3	ca. 0,25 l Spülwasser ausgetreten, dann verstopft

* gemessen unmittelbar vor der Engstelle

Tabelle 1.3: Einfluß verengter Durchflußquerschnitte
3. Versuchsreihe am 19.02.81

Durchführung: Fa. Heilit & Woerner

Einpreßmörtel: W/Z = 0,36 sec.
 Tauchzeit nach dem Mischen: 31 sec.
 nach 30 min.: 48 sec.

Lochdurchmesser	Länge d. Engstelle	Vacuumprüfg. d. Engstelle	aufgebrachtes Vacuum	Verpreßdruck*	Ergebnis
mm	cm	mbar	mbar	bar	
1 Ø 1,5 mm	4	180	---	5	verstopft, kein Mörtelaustritt
1 Ø 1,5 mm	4		50	5	ca. 0,1 l Mörtel ausgetreten, dann dicht
1 Ø 1,5 mm	2	140	---	2	0,1 l Durchgang, dann verstopft
1 Ø 1,5 mm	2		50	2	0,4 l Durchgang, dann verstopft
1 Ø 1,5 mm	5	170	---	4	kein Durchgang
1 Ø 1,5 mm	5		50		0,7 l Durchgang, dann verstopft
2 Ø 1,5 mm	4	240	---	3	0,2 l Durchgang, dann verstopft
2 Ø 1,5 mm	4		50	3	0,4 l Durchgang, dann verstopft
2 Ø 1,5 mm	2	180	---	3	0,1 l Durchgang, dann verstopft
2 Ø 1 mm	2		50	2	0,3 l Durchgang, dann verstopft

* gemessen unmittelbar vor der Engstelle

2. Luftvolumenbestimmung mit Hilfe des Volumeß-Gerätes zur Ermittlung der Lage von Engstellen

2.1 Versuchsziel

Es sollte versucht werden, durch Hohlraummessung mit Hilfe des Volumeß-Gerätes eine Aussage über die Lage einer für den Einpreßmörtel nur bedingt durchgängigen Engstelle im Spannkanaal zu erhalten.

2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist Bild 2.1 und 2.2 zu entnehmen. Durch zwischengeschaltete Behälter mit großem Volumen wurden lange Spannkanaäle simuliert.

Verwendete Geräte: Vacufill-Gerät, Hersteller Fa. Steinhauer/
Halver
Volumeß-Gerät, Hersteller Fa. Steinhauer/
Halver

Als Engstellen wurden Doppelnippel $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " mit eingelegten, ca. 5 mm starken Metallscheiben verwendet, die mit Löchern in den gewünschten Durchmessern versehen waren.

2.3 Versuchsdurchführung

Es wurden mit in Form und Querschnitt variablen Engstellen jeweils zwei Versuche durchgeführt:

- Spannkanaal mit einer bzw. zwei Engstellen, auf der Entlüftungsseite geschlossen. (Geschlossenes System)
- Spannkanaal mit einer bzw. zwei Engstellen, auf der Entlüftungsseite offen. (offenes System)

Die Lage der Engstellen im Spannkanaal wurde gemäß Bild 2.1 variiert.

Zunächst wurde vor dem Einbau der Engstelle das Volumen des Gesamtsystems mit Hilfe des Volumeß-Gerätes ermittelt. Es ergab sich aus der Summe zweier aufeinanderfolgender Messungen. Eine Korrektur der Meßwerte, entsprechend dem jeweils herrschenden Luftdruck war nicht erforderlich, da bei den Versuchen lediglich die erhaltenen Werte miteinander verglichen werden sollten.

Um nach dem Einbau der Engstelle den Einfluß der Pumpenleistung und damit der Absauggeschwindigkeit zu berücksichtigen, wurde das Kugelventil am Vacufill-Gerät bei korrespondierenden Versuchen in der jeweils gleichen Stellung gehalten.

Bei großen Querschnitten an der Engstelle war die Pumpleistung eines Vacufill-Gerätes zu schwach, um das offene Rohrsystem auf den halben Luftdruck zu evakuieren, bei dem die automatische Volumenmessung einsetzt. Es mußten deshalb zwei Vakuumpumpen vorgeschaltet werden.

2.4 Versuchsergebnisse

Die erhaltenen Versuchswerte sind in den Tabellen 2.1 - 2.4 zusammengestellt und in den Diagrammen Bild 2.3 bis 2.6 graphisch aufgetragen.

Aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigenden, in der Regel in der Praxis größtmäßig unbekannt Parameter, ist es problematisch, Aussagen über die genaue Lage von Engstellen im Spannkanaal zu treffen. Aus den Versuchsergebnissen läßt sich jedoch eine grobe Abschätzung vornehmen.

Im einzelnen konnte folgendes festgestellt werden:

- Die Querschnittsform der Engstelle übt keinen signifikanten Einfluß auf die Meßwerte aus (siehe Diagramm Bild 2.5). Dies läßt sich auch aus einem zusätzlichen Versuch ableiten, bei denen die Engstelle unmittelbar an das Vacufill-Gerät angeschlossen und das erzielbare Vakuum gemessen wurde (Tab. 2.4)

- Die Werte am geschlossenen System liegen immer über den Werten am offenen System. Sie nähern sich um so mehr dem tatsächlichen Hohlraumvolumen an, je niedriger die Pumpenleistung im Vergleich zum Luftvolumen vor der Engstelle und je größer der Durchflußquerschnitt ist.
- Beim offenen System und bei im Vergleich zur Pumpenleistung großen Volumen vor der Engstelle erhielt man im Versuch (siehe Diagramm Bild 2.5) um ca. 15 % niedrigere Werte als das tatsächliche Volumen vor der Engstelle. Die Meßwerte ergaben sich unabhängig vom Querschnitt, von der Querschnittsform und von der Pumpenleistung.

Sie nähern sich um so mehr dem Istwert an, je kleiner das Luftvolumen zur Pumpenleistung ist (siehe Diagramm Bild 2.3).

- Beim offenen System ergaben sich die gleichen Meßwerte unabhängig davon, ob die Engstelle unmittelbar an der Entlüftungsöffnung oder innerhalb des Rohrsystems lag. (Siehe Diagramm Bild 2.5)
- Bei zwei Engstellen im Spannkanal (gleiche Querschnitte) liegen die Meßwerte beim offenen System etwa in der Größenordnung des Volumens vor der ersten Engstelle. Dieser Wert ergibt sich um so genauer je kleiner der Durchflußquerschnitt ist, bzw. je mehr die Pumpenleistung ansteigt (siehe Diagramm Bild 2.4).

Eine Maßnahme zur Verbesserung der Meßwerte wird darin gesehen, die Automatik des Vacumeß-Gerätes abschaltbar auszubilden, um den Hohlraum länger evakuieren zu können und ein Abreißen des Luftstromes an der Engstelle bei kleinen Durchflußquerschnitten zu vermeiden.

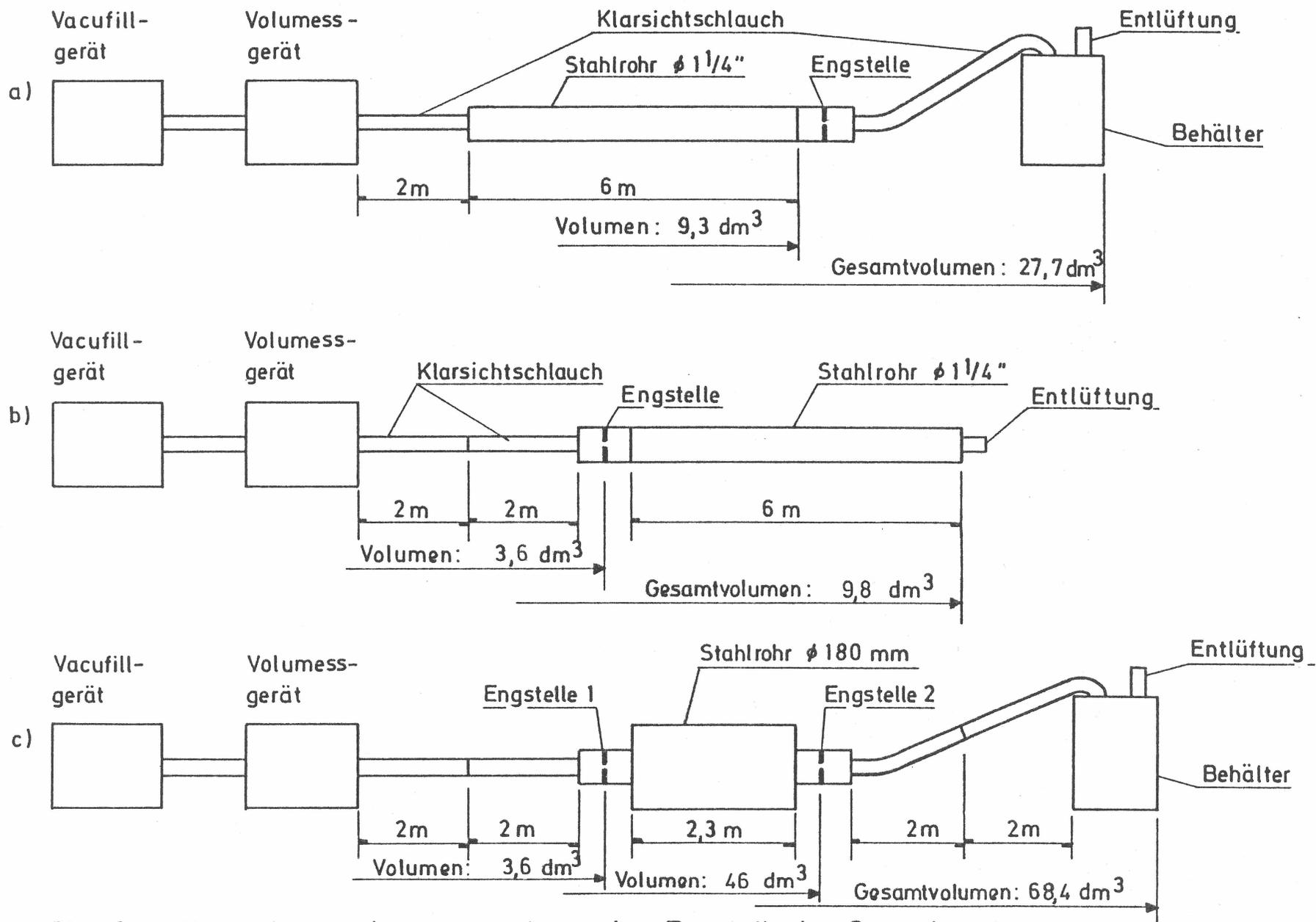


Bild 2.1 Versuchsanordnungen - Lage der Engstelle im Spannkanal

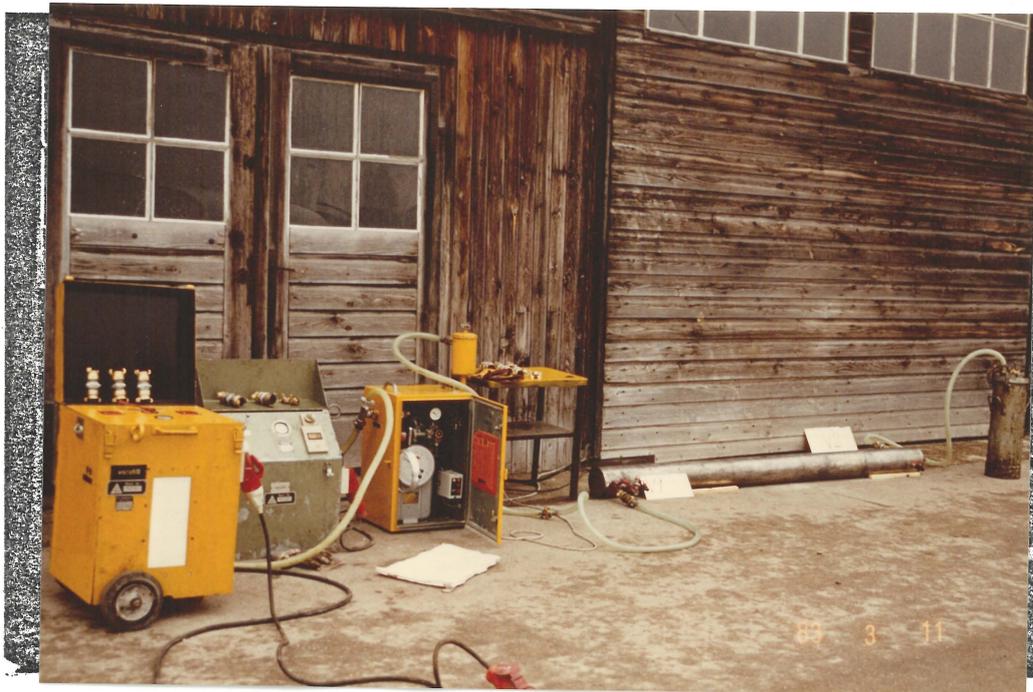


Bild 2.2 Versuchsaufbau (mit 2 Vacufill-Geräten).

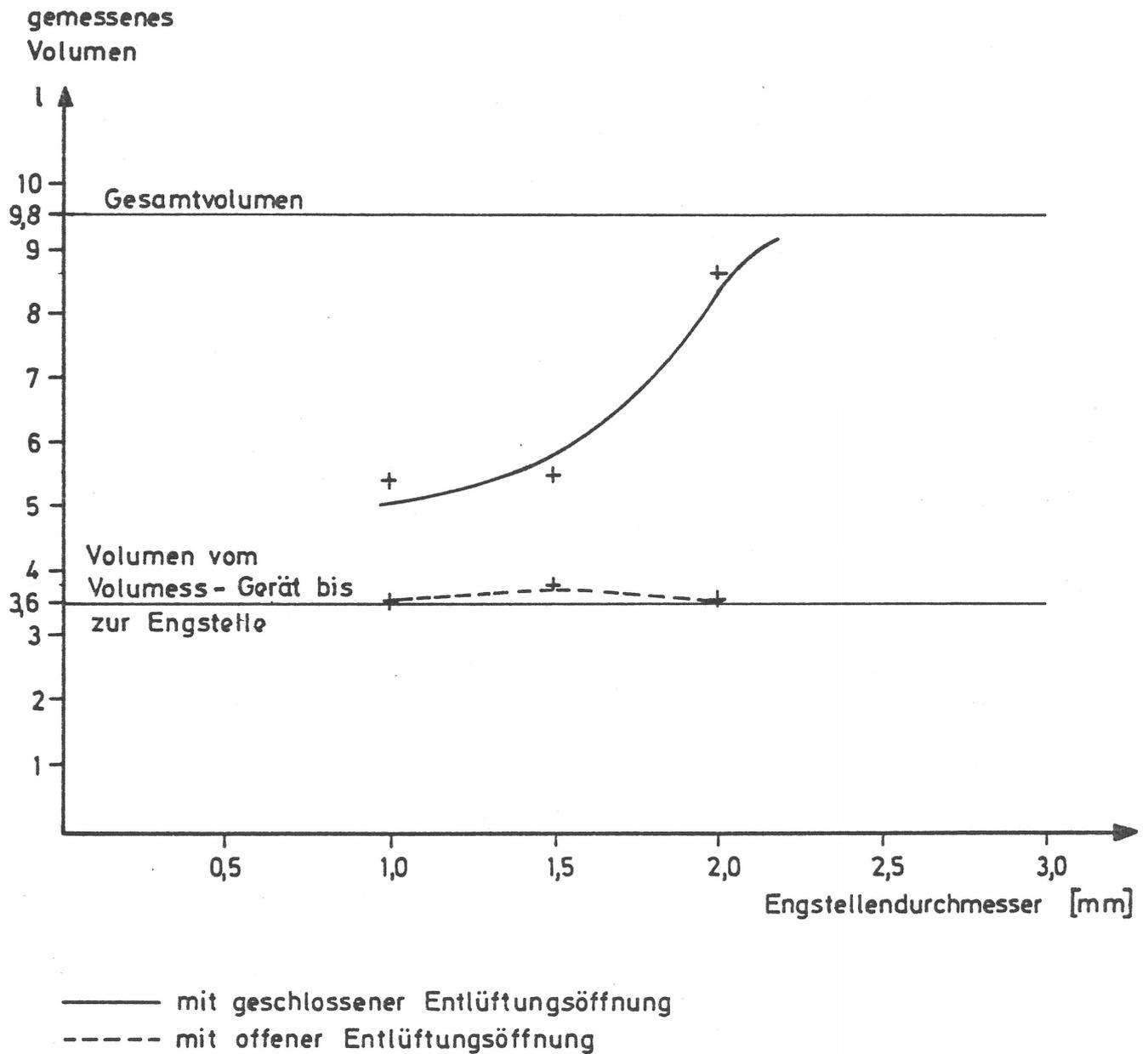


Bild 2.3 Volumenmessung bei unterschiedlichen Engstellendurchmessern
Engstelle am Beginn des Spannkanals nach Bild 2.1 b
(Einzelwerte siehe Tabelle 2.1)

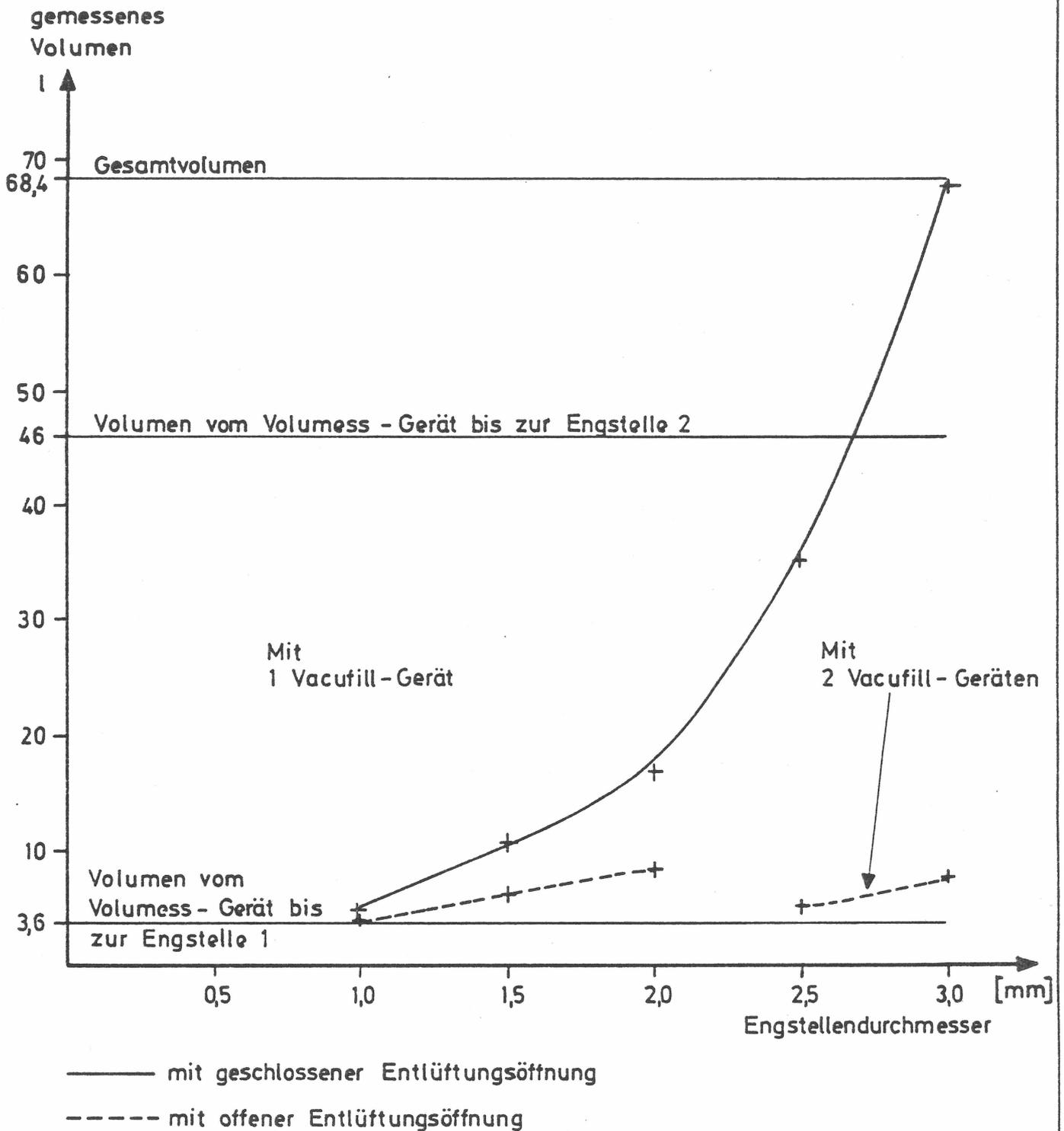


Bild 2.4 Volumenmessung bei unterschiedlichen Engstellendurchmessern
 2 Engstellen im Spannkanal nach Bild 2.1 c
 (Einzelwerte siehe Tabelle 2.2)

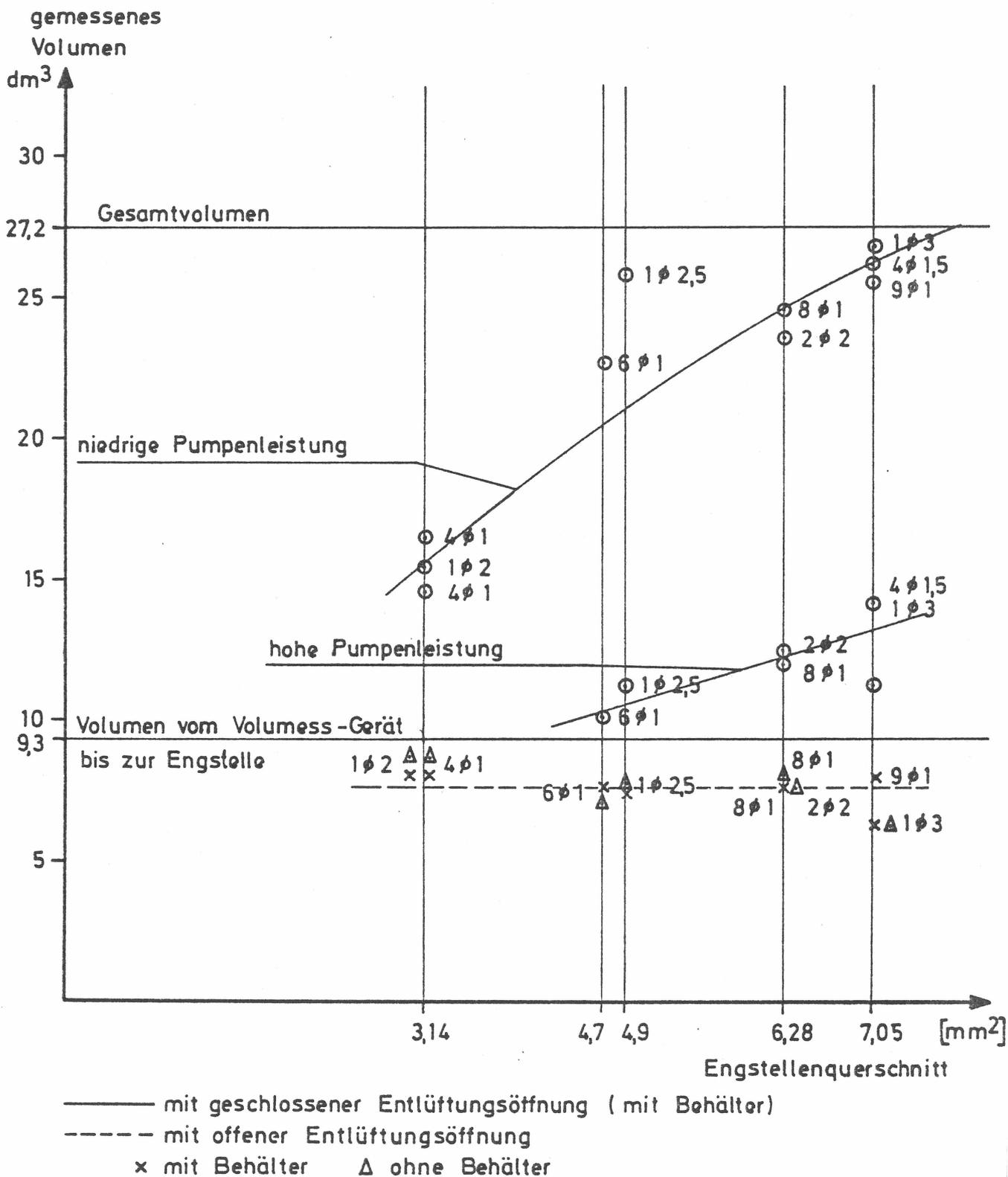


Bild 2.5 Volumenmessung bei unterschiedlichen Engstellendurchmessern, unterschiedlicher Querschnittsausgestaltung und verschiedener Pumpenleistung
Engstelle im Spannkanal nach Bild 2.1 a
(Einzelwerte siehe Tabelle 2.3)

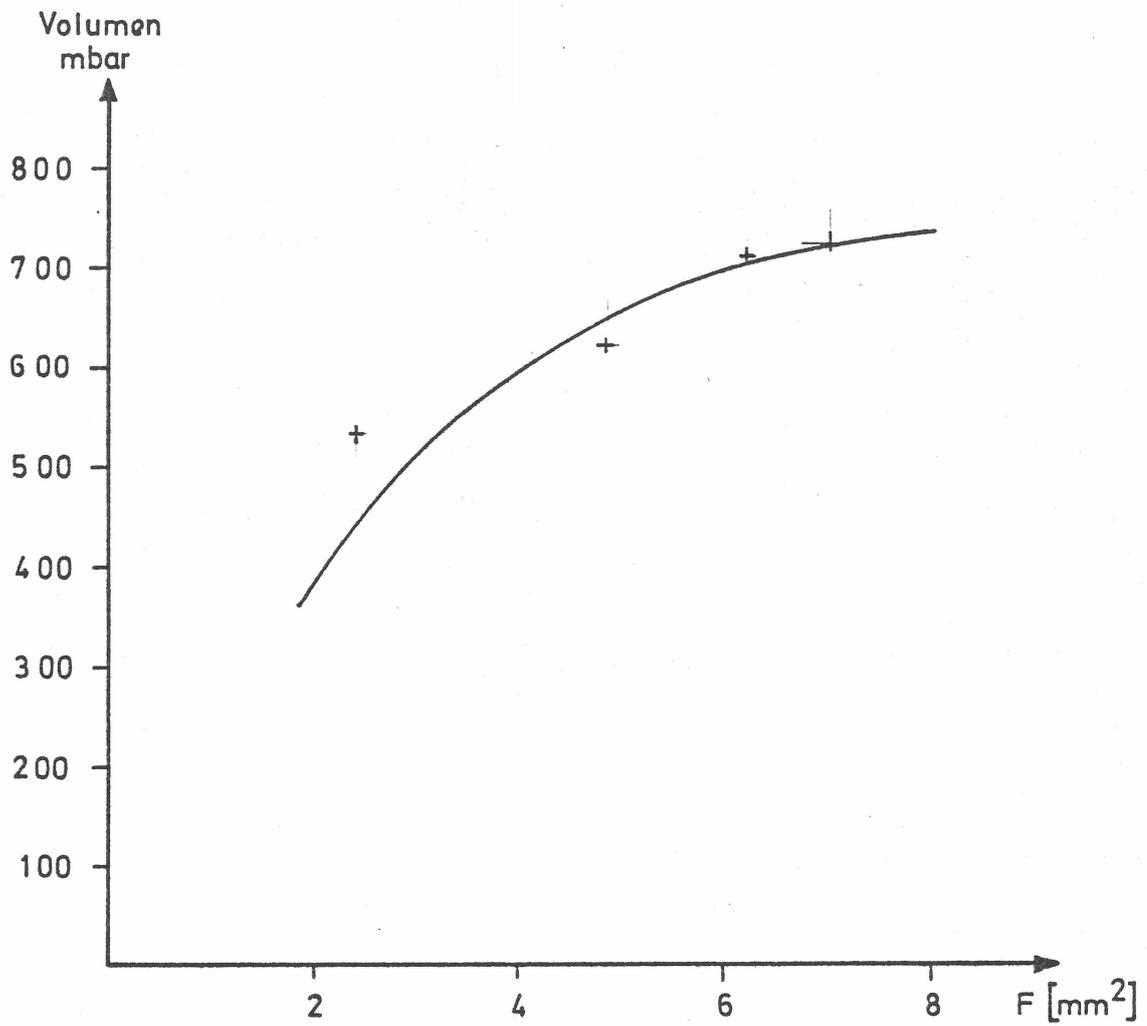


Bild 2.6 Abhängigkeit des erzielbaren Vakuums von der Querschnittsform (Metall - Engstelle)
(Einzelwerte siehe Tab. 2.4)

Tabelle 2.1: Hohlraummessung in dm³ mit einer Engstelle im Spannkanal

Versuchsaufbau nach Bild 2.1. b

Versuchsdurchführung: 11.03.81

Durchführung: Fa. Heilit & Woerner

Fa. D&W

Entlüftung	Engstelle (mm)		
	1 Ø 1	1 Ø 1,5	1 Ø 2
geschlossen	5,4	5,5	8,6
offen	3,6	3,8	3,6

Tabelle 2.2: Hohlraummessung in dm³ mit 2 Engstellen im Spannkanal

Versuchsaufbau nach Bild 2.1. c

Versuchsdurchführung: 11.03.81

Durchführung: Fa. Heilit & Woerner

Fa. D&W

Entlüftung	Engstelle (mm), (Ø Nr. 1 = Ø Nr. 2)				
	1 Ø 1	1 Ø 1,5	1 Ø 2	1 Ø 2,5	1 Ø 3
geschlossen	4,8	10,6	16,8	35,2	67,5
offen	3,8	6,2	8,3	5 ¹⁾	7,6 ¹⁾

1) mit 2 Vacufill-Geräten, da 1 Gerät zu schwach

Tabelle 2.3.: Hohlraummessung in dm^3 mit einer Engstelle im Spannkanal

Versuchsaufbau nach Bild 2.1.a

Durchführung: Fa. Heilit & Woerner

Versuchsdurchführung: 06.05.81

Fa. D&W

Behälter B	Pumpenleistung		Engstellen (mm)				
	Gerät 1	Gerät 2	4 Ø 1	6 Ø 1	8 Ø 1	9 Ø 1	4 Ø 1,5
ohne B, offen	1	-		1)	1)		
	1	1/2	8,0 ²⁾	7,3	7,7	8,0	7,7
	1	3/4	8,3 ²⁾	8,0	7,6		
	1	1	8,3 ²⁾	7,9	7,7	8,1	7,7
mit B, ge- schlossen	1	-		23,0	26,5	25,4	27,2
	1	1/4	16,4 ²⁾	22,5	20,9	24,0	27,0
	1	1/2	14,7 ²⁾	10,3	12,2	11,5	15,0
	1	1	14,5 ²⁾	10,0	12,0	11,5	14,8
mit B, ge- öffnet	1	1/4	2) 1)	8,0	7,6	1)	
	1	1/2	8,2 ²⁾	8,0	7,9	8,0	7,7
	1	1	7,9 ²⁾	7,2	7,6	7,8	7,4

Behälter B	Pumpenleistung		Engstellen (mm)			
	Gerät 1	Gerät 2	1 Ø 2	2 Ø 2	1 Ø 2,5	1 Ø 3
ohne B, offen	1	1/4	2) 1)			
	1	1/2	7,9 ²⁾		7,7	7,6
	1	3/4	8,0 ²⁾		7,6	7,6
	1	1	8,1 ²⁾	7,7	7,7	
mit B, ge- schlossen	1	-		26,5	25,8	27,2
	1	1/4	15,8 ²⁾	17,8	25,8	25,8
	1	1/2	15,2 ²⁾	12,9	11,4	14,2
	1	1	15,0 ²⁾	11,8	11,1	14,0
mit B, ge- öffnet	1	1/4	7,9 ²⁾	1)	7,8	1)
	1	1/2	8,0 ²⁾	7,7	7,8	7,7
	1	1	8,0 ²⁾	7,7	7,7	7,5

1) keine Messung möglich, da Pumpenleistung zu gering

2) nur mit Gerät 2

Tabelle 2.4

Bestimmung des erzielbaren Vakuums an der Engstelle in Abhängigkeit von der Querschnittsform

Metall-Engstelle, $d = 0,5$ cm, offenes System

Lochdurchmesser	F	Vakuum
mm	mm ²	mbar
1 Ø 2	2,46	530
1 Ø 2,5	4,9	620
2 Ø 2	6,28	710
1 Ø 3	7,06	720
4 Ø 1,5	7,06	720
9 Ø 1	7,06	720

3. Einfluß von Restwasser im Spannkanal auf die Verfüllung unter Vakuum

3.1 Versuchsziel

In früheren, bei der Firma Sager & Woerner durchgeführten Versuchen an Spannkanälen, die im Tiefpunkt mit Wasser gefüllt waren, konnte nicht nachgewiesen werden, daß das Vakuumverfahren für derartige Sanierungen geeignet ist (siehe "Stellungnahme Vakuumverfahren für die Sanierung fehlerhaft verpreßter Spannglieder" von Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Manns vom 12.11.79).

Da es sich damals um relativ kleine Versuchskörper und im Vergleich dazu große Restwassermengen handelte, sollten diese Versuche unter günstigeren Bedingungen wiederholt werden. Ziel war dabei, festzustellen, ob die Einmischung einer Restwassermenge, die ca. 1 m des Spannkanals ausfüllt, in den Einpreßmörtel erfolgt, wenn nach dem Tiefpunkt eine längere Verpreßstrecke vorhanden ist.

3.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist den Bildern 3.1 bis 3.4 zu entnehmen. In einem Versuchskörper waren 2 Spannkanäle mit glattem Dywidag-Spannstahl \emptyset 32 mm bzw. mit 6 Spanndrähten \emptyset 12,2 mm einbetoniert. Als Verrohrung wurden spiralgewickelte Hüllrohre (\emptyset : 38 mm bzw. 42 mm) verwendet, die am Hochpunkt in einer Kunststoffverbindungs- muffle mit eingeschraubtem Kunststoffschlauch und am gegenüberliegenden Ende in einem Stahlrohr \emptyset 2" endeten, auf das ein Schnellschlußschieber der Firma Krom, Typ RG 218 aufgeschraubt war. Vor den Schnellschlußschieber wurde zur Kontrolle des Verpreßdruckes ein Manometer eingebaut (Bild 3.5).

Der Tiefpunkt des Spannkanals war mit einer Entwässerungsöffnung versehen.

Um eine entsprechende Spannkanalvorlänge zu simulieren, wurde dem Schnellschluß-Schieber ein Stahlrohr, $\varnothing 1\ 1/2''$ ($\varnothing_a = 48,5\text{ mm}$, $\varnothing_i = 40,5\text{ mm}$) von 12 m Länge (Volumen $1,3\text{ dm}^3$ pro m) vorgeschaltet. Über eine Kupplung war dieses Rohr in üblicher Weise an den Ventilblock (Mehrwege-Ventil) angeschlossen, der einerseits unter Zwischenschaltung eines Auffangbehälters mit dem Vacufill-Gerät und andererseits über Vor- und Rücklauf mit dem Mischgerät verbunden wurde.

Verwendete Geräte: Vacufill-Gerät (Hersteller Fa. Steinhauer, Halver) mit Ventilblock und Auffangbehälter.
Mischgerät mit Pumpe MP 2000, Hersteller D&W.

3.3 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in der Versuchsanstalt von Dyckerhoff & Widmann in Utting/Ammersee zusammen mit der Firma Heilit&Woerner und in Anwesenheit von Herrn Prof. Dr.-Ing. Manns durchgeführt.

Für den Einpreßmörtel wurde der vorhandene Silozement PZ 45 F, Märker, Zementwerk Harburg (Schwaben), mit 1 % Tricosal verwendet und mit dem Mischgerät ca. 2 min. gemischt. Es wurde eine Tauchzeit von 30 sec angestrebt.

Bei der ersten Versuchsreihe am 27.08.81 wurden die Spannkanäle zunächst mit Wasser gespült, das dann am Tiefpunkt wieder abgelassen und mit Druckluft ausgeblasen wurde.

Bei der zweiten Versuchsreihe am 15.09.81 wurde der Spannkanal zwischen Hochpunkt und Schnellschlußschieber ganz mit Wasser aufgefüllt, das dann ebenfalls am Tiefpunkt abgelassen und mit Druckluft ausgeblasen wurde. Die eingefüllte und austretende Wassermenge wurde abgemessen. Nach dem Verschließen des Tiefpunktes und dem Einfüllen der in Tabelle 3.1 angegebenen Wassermenge wurde der Hochpunkt ebenfalls abgedichtet und anschließend Vakuum aufgebracht.

Bei der ersten Versuchsreihe wurde in der beim Vakuumverfahren üblichen Weise Mörtel eingepreßt und der Schnellschlußschieber bei Erreichen eines Druckes von 5 bar geschlossen.

Anmerkung: Da beim Spannglied \varnothing 32 mm (Prüfkörper Nr. 581-2) der Schlauch am Hochpunkt platzte, mußte der Versuch wiederholt werden. Der Spannkanal wurde dazu vom Hochpunkt aus freigespült, bis am anderen Ende klares Wasser austrat.

Bei der zweiten Versuchsserie betrug der Verpreßdruck 10 bar. Um zu prüfen, ob eine bessere Einmischung des Wassers in die Mörtelzunge erzielbar ist, wurden fünf Druckwechsel von 10 bar auf 1 bar vorgenommen und dann bei 10 bar der Schieber geschlossen.

3.4 Versuchsergebnisse

Die Spannglieder wurden nach ca. 2 Wochen freigelegt (Bild 3.6). Dabei wurde beim Spannkanal 581-1 ($6 \varnothing$ 12,2 mm) Ausfließen von Wasser an einer Verletzung des Hüllrohres (als Folge des Aufstommens) beobachtet.

Um den Grad der Verfüllung des Spannkannels feststellen zu können, mußte das Hüllrohr abgewickelt werden. Dabei trat kein Wasser aus, die Spannkannäle waren jedoch am Hochpunkt leer und der Spannstaht mit einem feuchten Überzug bedeckt, der nach dem Abtrocknen weiß wurde (Bild 3.7). Dann begann eine schmierige Übergangszone, die auch nach einer Aushärtezeit von zusätzlichen 2 Wochen im Trockenraum ($20^{\circ}/65\%$ rel. Luftfeuchte) keine Festigkeit aufwies und beim Abwickeln des Hüllrohres teilweise krümelig (Bild 3.8) abfiel. Daran schloß sich ein Bereich an, in dem der Spannstaht nur zum Teil von Mörtel eingehüllt war, während sich auf der Oberseite ein breiter Kanal befand (Bild 3.9). Die Farbe des Einpreßmörtels war nach dem Austrocknen hellgrau bis weiß. Im weiteren Verlauf war der Spannkanal verfüllt, es zeigte sich eine starke weißliche Schlierenbildung (Feinstanteile des Zements). (Bild 3.10). Weitere Details sind den Tabellen 3.1, 3.2 und Bild 4.14 zu entnehmen.

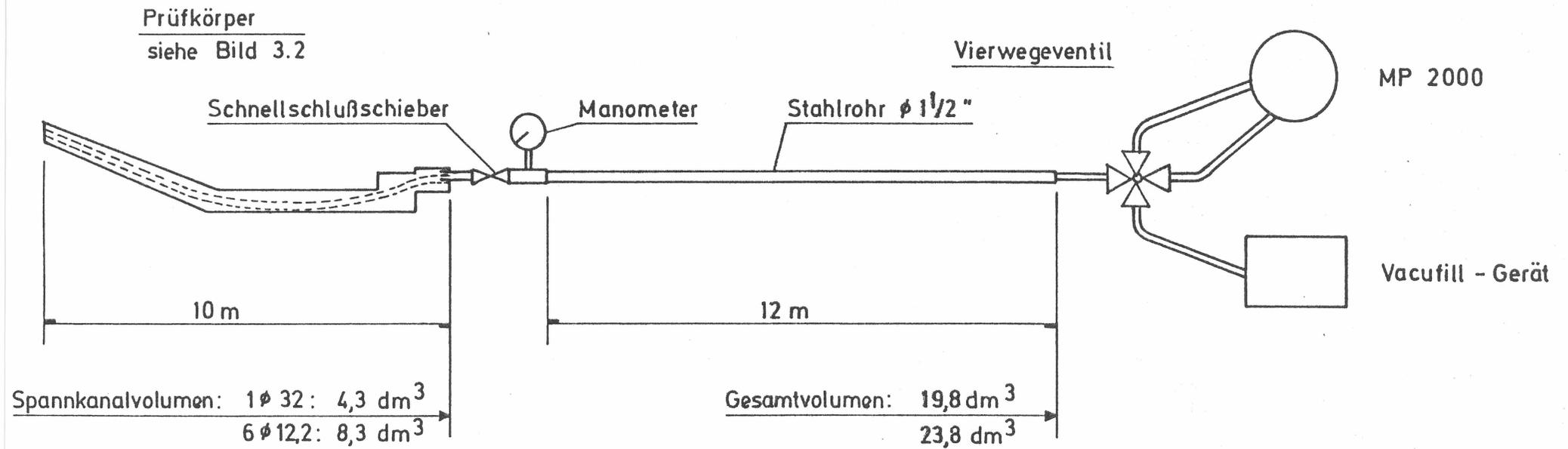


Bild 3.1 Versuchsanordnung - Restwasser im Spannkanal

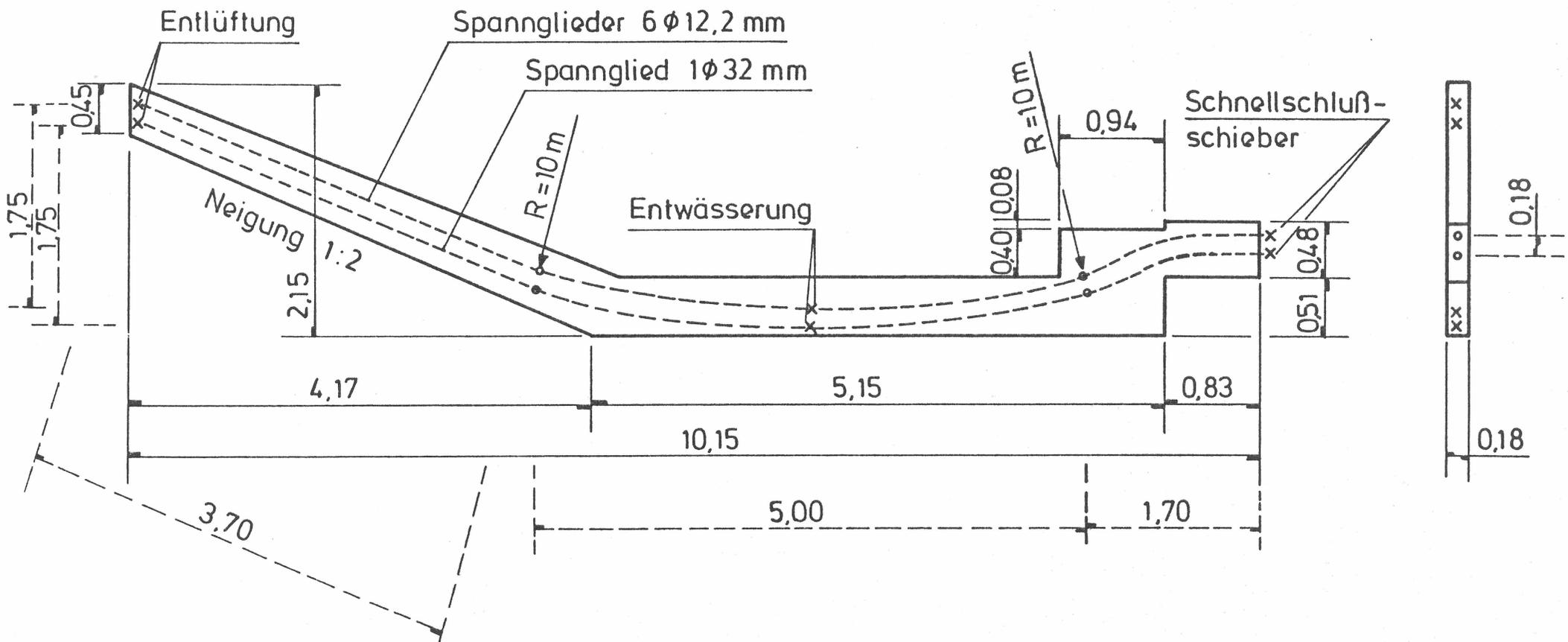


Bild 3.2 Versuchskörper - Abmessungen



Bild 3.3 und 3.4 Versuchsaufbau - Restwasser

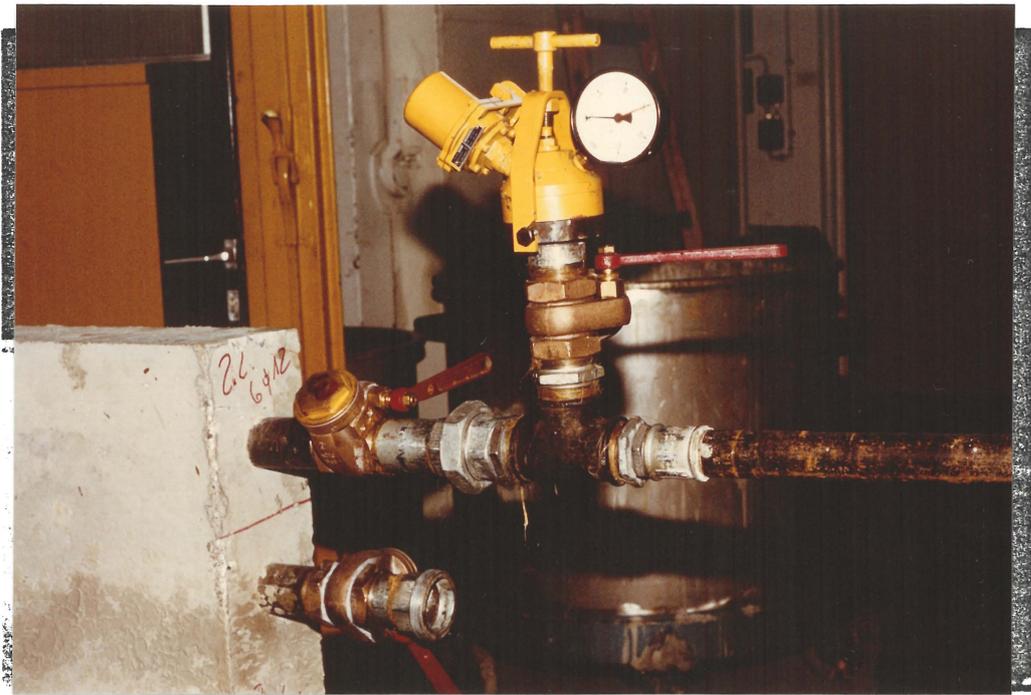


Bild 3.5 Schnellschlußschieber mit Manometeranordnung



Bild 3.6
Freigelegte Spann-
glieder



Bild 3.7 Spannglieder am Hochpunkt

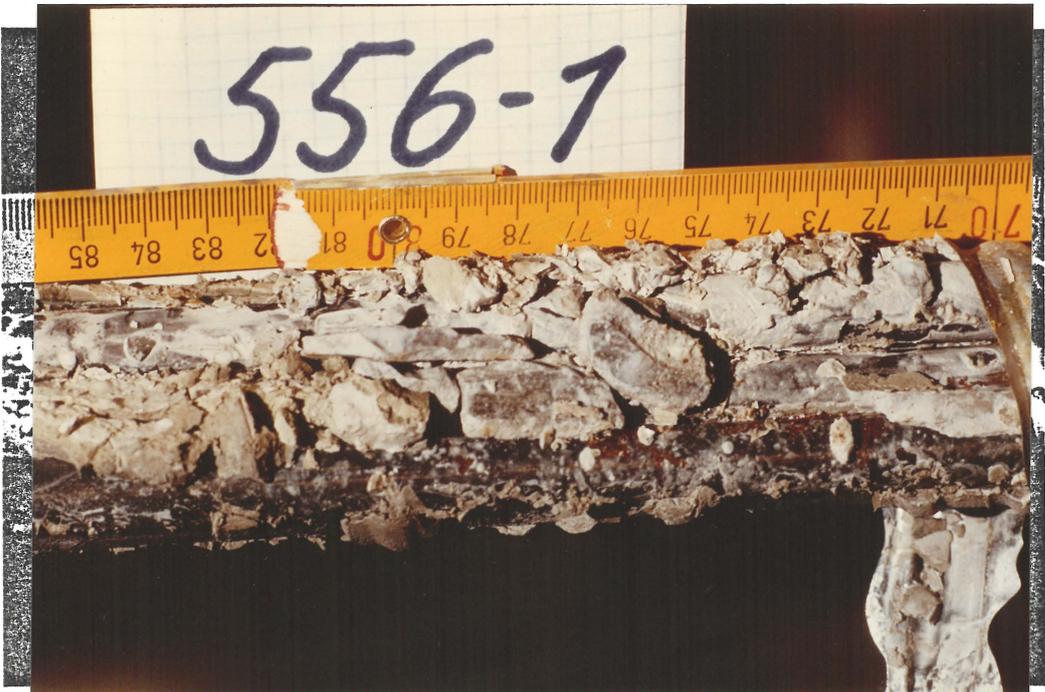


Bild 3.8 Übergangsbereich aus nicht ausreichend erhärtetem EPM

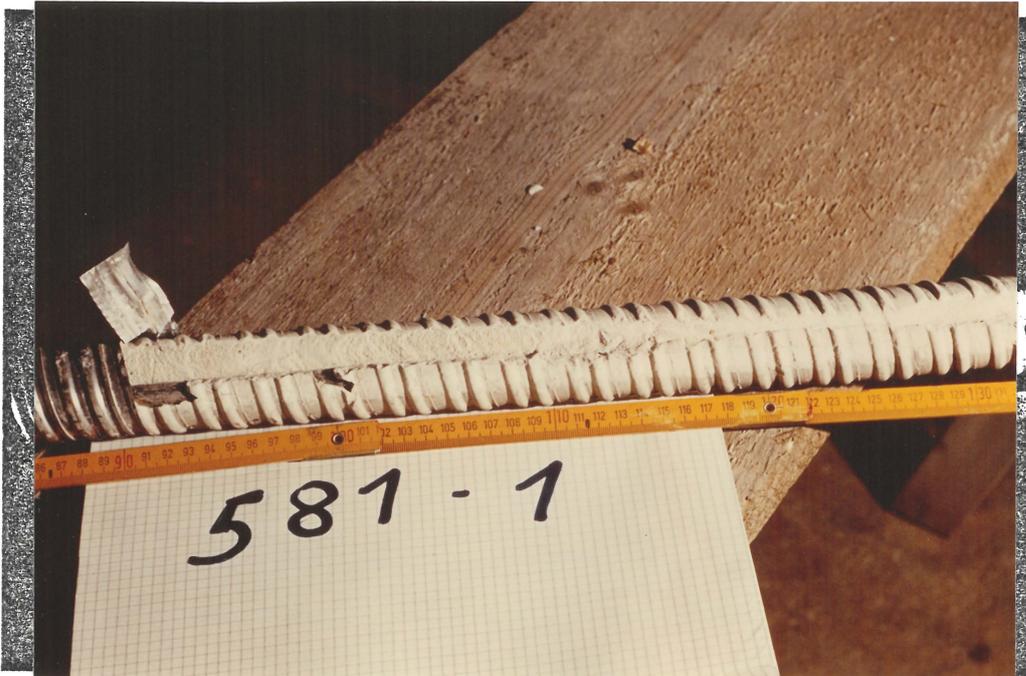


Bild 3.9 Kanal- und Schlierenbildung



Bild 3.10 Verfüllter Spannkanal (PK 581-2)

Tabelle 3.1: Prüfkörper mit Restwasser

Fortlaufende Nr.		1	2	3	4
Prüfkörper Nr.*)		581-1	581-2	556-1	556-2
Prüfdatum		27.8.81	27.8.81	14.9.81	14.9.81
1. Abmessungen					
Spannglied	mm	6 Ø12,2	1 Ø32	6 Ø12,2	1 Ø32
Hüllrohr Ø i	mm	42	38	42	38
l	m	10,4	10,4	10,4	10,4
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5	40,5
l	m	12,0	12,0	12,0	12,0
Mörtelvol.					
Spannglied	dm ³ /m	0,8	0,41	0,8	0,41
	dm ³	8,3	4,3	8,3	4,3
Stahlrohr	dm ³	15,5	15,5	15,5	15,5
Gesamt	dm ³	23,8	19,8	23,8	19,8
2. Einpreßmörtel					
Zement	Silozement Märker, Harburg PZ 45 F				
Einpreßhilfe	Tricosal 181, 1 % vom Zementgewicht				
W/Z-Wert		0,40	0,40	0,39	0,38
Mischdauer	min	2	2	2	2
Mörteltemperatur	C	23,5	23,5	23,0	23,0
Tauchzeit:					
nach dem Mischen	sec	42	39,5	39,5	39,5
nach 30 min	sec	57,5		68,5	54,0
Raumänderung	%	+0,1		+0,1	+0,3
Druckfestigkeit:					
7 Tage	N/mm ²	39,0		41,0	39,3
28 Tage	N/mm ²	46,6		47,0	44,8
3. Versuchsdurchführung					
Restwasser infolge Spülen	dm ³	nicht bestimmt		0,37	0,48
eingefüllt	dm ³	0,75	0,30	0,80	0,41
Vakuum	mbar	50	75	50	40
Verpreßdruck	bar	5	5	10	10
Anzahl d. Lastwechsel		-	-	5 x von 1 auf 10 bar	

*) in der Reihenfolge des Verpressens

Tabelle 3.2: Prüfkörper mit Restwasser - Ergebnisse

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
1	581-1	3.9	50	0 - 50 50 - 115 115 - 150 ab 150	Beim Öffnen des Prüfkörpers Wasseraustritt an einer Hüllrohrverletzung im Hochpunktbereich Spanndrähte naß, nach Abtrocknen mit weißem Belag versehen breite V-förmige Rille, ca. 30 x 11 mm am Beginn, dann keilförmig auslaufend, weiß, weich, naß, auch nach 2 Wochen im Trockenschrank ohne Festigkeit weiße, ca. 8 mm breite Spur im Scheitel, anfangs Sicken nicht verfüllt ab 150 voll verfüllt, weiße, durchgehende Schlieren im Scheitel
2	581-2	3.10	70	0 - 70 70 - 110 ab 110	am Boden des Entlüftungsschlauches etwas Mörtel, Spannstahl naß, nach Abtrocknen, weiß Mörtel weich, schaumig, auch nach 2 Wochen im Trockenraum ohne Festigkeit voll verfüllt, weiße Schlieren im Scheitel

*) vom Hochpunkt aus gemessen

Tabelle 3.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
3	556-1	3.7 3.8 4.14	40	0 - 40 40 - 100 100 - 150 ab 150	Spanndrähte naß, nach Abtrocknen weiß Mörtel zerkrümelt, naß schmierig, ohne Festig- keit, nach Abtrocknen weiß breite, weiße Zunge im Scheitel, keilförmig auslaufend, Mörtel auch zwischen den Drähten voll verfüllt, durch- gehend weiße Schlieren im Scheitel
4	556-2	3.7 4.14	90	0 - 90 90 - 130 130 - 170 ab 170	naß, schmierig, nach Abtrocknen weiß Zungenbildung, nach zwei Wochen noch naß, schau- mig, porig, leicht krü- melig, nach Abtrocknen weiß schaumige Rille, weiß, 4 x 0,5 mm, Einpreßmör- tel gräulich-weiß, Schlieren weiße Rille im Scheitel, 0,5 x 1 mm, leicht mä- andernd, Mörtel erst helles, dann dunkles Grau

*) vom Hochpunkt aus gemessen

4. Einfluß von Restluft im Spannkanal

4.1 Versuchsziel

An einseitig geschlossenen, ca. 2,90 m langen Spanngliedern in Betonkörpern sollte untersucht werden, wie sich Restluft im Spannkanal auf den Grad der Verfüllung mit Einpreßmörtel auswirkt. Dabei sollte der Einfluß folgender Parameter festgestellt werden:

- Art des Spanngliedes (1 Ø 32 mm und 6 Ø 12,2 mm)
- Lage des Spannkanals (horizontal oder geneigt)
- Größe des erzeugten Vakuums
- Höhe des Verpreßdruckes
- Art des Einpreßmörtels (Tauchzeit, Zementtyp, Einpreßhilfe, Sondermörtel)

4.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist aus Bild 4.1 und Bild 4.2 zu entnehmen. In den Versuchskörpern befand sich je ein Spannkanal mit glattem Dywidag-Spannstahl Ø 32 mm bzw. mit 6 Spanndrähten Ø 12,2 mm. Als Verrohrung dienten spiralgewickelte Hüllrohre (Øi 38 mm bzw. Øi 42 mm), die an einem Ende mit einem eingeklebten Gummipropfen verschlossen und am anderen Ende in einem Stahlrohr Ø 2" endeten, auf das ein Schnellschlußschieber der Firma Krom, Typ Rg 218 aufgeschraubt war. Vor den Schnellschlußschieber wurde zur Kontrolle des Verpreßdruckes ein Manometer eingebaut, an das sich zur Simulierung einer entsprechenden Spannkanalvorlänge ein Stahlrohr (1 1/2", l = 18 m, Volumen 1,3 dm³ pro Meter) anschloß. Das Rohr war in üblicher Weise an einen Ventilblock (4-Wege-Ventil) angekoppelt, der einerseits unter Zwischenschaltung eines Auffangbehälters mit dem Vacufill-Gerät und andererseits über Vor- und Rücklauf mit dem Mischgerät verbunden wurde.

Verwendete Geräte:

- Vacufill-Gerät (Hersteller Firma Steinhauer, Halver) mit Ventilblock und Auffangbehälter
- Mischgerät mit Pumpe MP 2000 (Hersteller D&W)

4.3 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in der Versuchsanstalt von Dyckerhoff & Widmann in Utting/Ammersee zusammen mit der Firma Heilit&Woerner und in Anwesenheit von Herrn Prof. Dr.-Ing. Manns durchgeführt.

Es wurden 3 Versuchsreihen mit insgesamt 25 Prüfkörpern durchgeführt.

In der 1. Versuchsreihe wurden die Körper in horizontaler, in der 2. in geneigter Lage (ca. 1 : 3) geprüft, wobei die Parameter

- Spannstahltyp
- Vakuum
- Verpreßdruck

variiert wurden, während die Tauchzeit des Einpreßmörtels mit ca. 30 sec gleich blieb.

Da sich bei diesen Prüfungen zeigte, daß der verwendete Spannstahltyp und die Lage des Prüfkörpers keinen signifikanten Einfluß auf die Ergebnisse ausübte, wurden zur Reduzierung des Versuchsaufwandes alle späteren Versuche mit glattem Spannstahl \emptyset 32 mm in geneigter Lage durchgeführt.

In der 3. Versuchsreihe wurde dann der Einfluß

- des Zementes,
- der Mörtelviskosität,
- der Quellwirkung des Zusatzmittels
sowie
- der Fertigmörtel MacFlow

bei einem Vakuum von 100 mbar und ca. 10 bar Verpreßdruck untersucht.

Die Größe der einzelnen Parameter kann den Tabellen 4.1.1 - 4.3.1 entnommen werden.

Bei den Prüfkörpern Nr. 689 und 690 wurde außerdem mit Hilfe eines Manometers am Hochpunkt der Druckverlauf im Spannkanal in Abhängigkeit von der Zeit nach dem Verschließen des Schiebers gemessen.

Als Vergleichsversuche dienten die Prüfkörper Nr. 575 und 672, die ohne Vakuum unter Druck verschlossen wurden.

Für den Einpreßmörtel wurden folgende Ausgangsstoffe verwendet:

- In der Versuchsanstalt vorhandener Silozement PZ 45 F, Märker, Zementwerk Harburg (Schwaben)
- Sackzement PZ 35 F - Portland-Zementwerke Heidelberg AG, Werk Kiefersfelden
- Fertigeinpreßmörtel MacFlow, Hersteller MacMediterranea Treviso, Italien

Die Kenndaten der Einpreßmörtel sind Tabelle 4.1.1 - 4.3.1 zu entnehmen.

Das Rohrsystem wurde zunächst mit dem Vacufill-Gerät auf den angestrebten Wert evakuiert, dann in der üblichen Weise über den Ventilblock mit Mörtel verfüllt und nach Erreichen des gewünschten Verpreßdruckes mit Hilfe des Schnellschlußschiebers am Spannkanal verschlossen.

Nach dem Abbau des Stahlrohres und dem Ankoppeln an den nächsten Prüfkörper wurde das Rohr vom verbliebenen Einpreßmörtel mit Hilfe von Druckluft gesäubert, mit Wasser ausgespült bis dieses klar austrat und abschließend das verbleibende Restwasser erneut mit Druckluft ausgeblasen.

4.4 Versuchsergebnisse

Die Spannglieder wurden nach dem Aushärten des Einpreßmörtels nach ca. 1 - 2 Wochen freigelegt (Bild 4.3) und durch Abwickeln des Hüllrohres geöffnet. Die einzelnen Ergebnisse können den Tabellen 4.1-2 - 4.3.2 sowie den Bildern 4.13 - 4.15 entnommen werden.

Am Spanngliedende waren alle unter Vakuum verfüllten Spannkanäle nicht verfüllt. Die Länge des nicht verfüllten Bereiches in der Hüllrohrachse gemessen, schwankte zwischen ca. 3 cm und max. 20 cm. Sie lag i. M. bei ca. 7 cm. Das entspricht einem Luftvolumen von ca. 50 cm³. (Der Abstand zwischen Stab- und Spannkanalende betrug ca. 3 cm)

Weiterhin wurde festgestellt, daß sich bei nahezu allen Spannkanälen, die unter Vakuum mit herkömmlichen Einpreßmörtel verfüllt wurden, ein mehr oder weniger stark ausgeprägter "Kanal" (Bild 4.4) gebildet hatte, der sich entweder über die ganze Spanngliedlänge oder nur über einen Teilbereich erstreckte, wo er dann i. d. R. klüftig endete (Bild 4.5). Dies war unabhängig vom Spannstahltyp, von der Lage des Prüfkörpers und vom verwendeten Zement. Lediglich bei dem mit MacFlow verpreßten Spannkanal (Prüfkörper Nr. 691) konnte keine Kanalbildung festgestellt werden (Bild 4.6).

Die Kanalufer waren in der Regel scharfkantig, senkrecht und von grauer Farbe. Aus stehengebliebenen "Brücken" (Bild 4.7) in den Sicken der Hüllrohre und aus Einpreßmörtelresten am Hüllrohr (Bild 4.8 und 4.9) mußte geschlossen werden, daß der Spannkanalquerschnitt zunächst ganz mit Zementmörtel verfüllt war und die Kanalbildung erst nach Beendigung des Verpreßvorganges auftrat.

Eine Kanalbildung konnte auch bei dem Vergleichskörper Nr. 575 festgestellt werden, der ohne Vakuum im Durchflußverfahren verfüllt und unter Druck verschlossen wurde. Der Kanal verlief über die gesamte Spanngliedlänge. Er begann in einem Riß, war dann im weiteren Verlauf jedoch geringer ausgeprägt als bei den anderen Prüfkörpern (Bild 4.10 und 4.11).

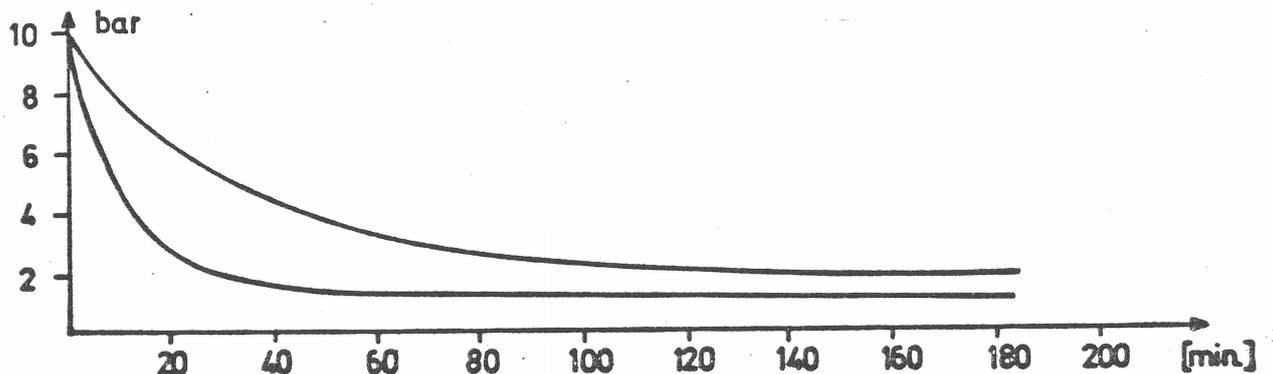
Zur Klärung der Kanalbildung wurden Zusatzversuche (siehe Abschnitt 5) durchgeführt.

Durch Augenschein und unter dem Rasterelektronenmikroskop konnte festgestellt werden, daß der ausgehärtete Einpreßmörtel der Prüfkörper keinerlei Luftporen enthielt (Bild 4.12).

Bei den Prüfkörpern 689 und 690 wurde an dem im Hochpunkt angebrachten Manometer folgender Druckverlauf im Spannkanal festgestellt:

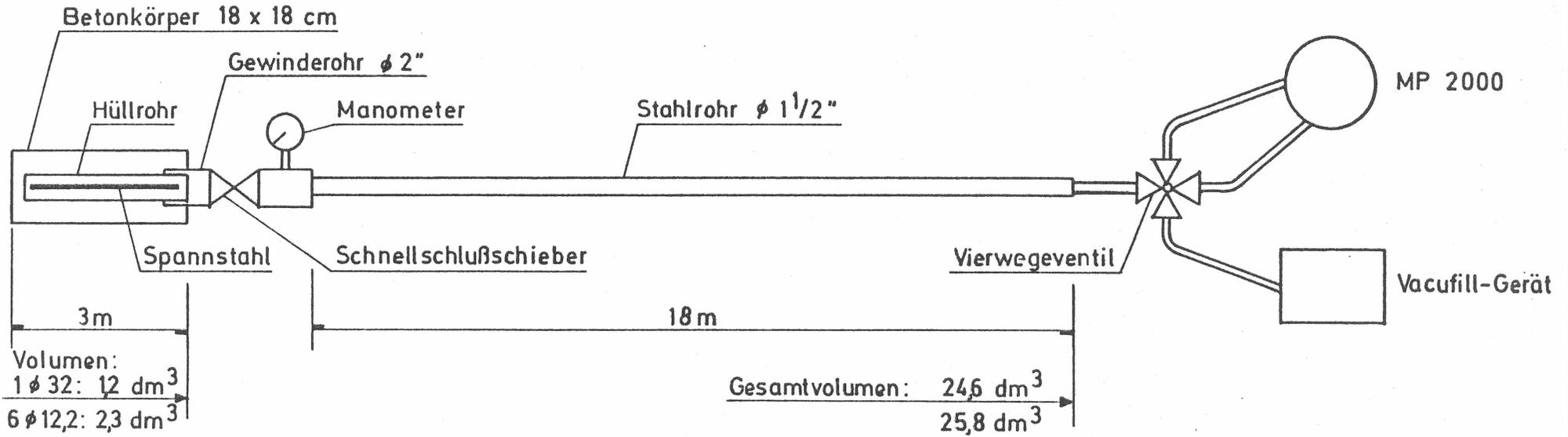
Zeit	Prüfkörper Nr.	
	689	690
min	bar	bar
sofort	10	10
5*)	8,5	7
10	7,5	5
15	7	3
20	6	2,5
30	5	
50		2
140	3	
150	2,5	
185	2	
nach 21 Std.	0,7	0

*) nach Abschrauben des Stahlrohres



Druckverlauf am Hochpunkt in Abhängigkeit von der Zeit

a) horizontaler Prüfkörper



b) geneigter Prüfkörper

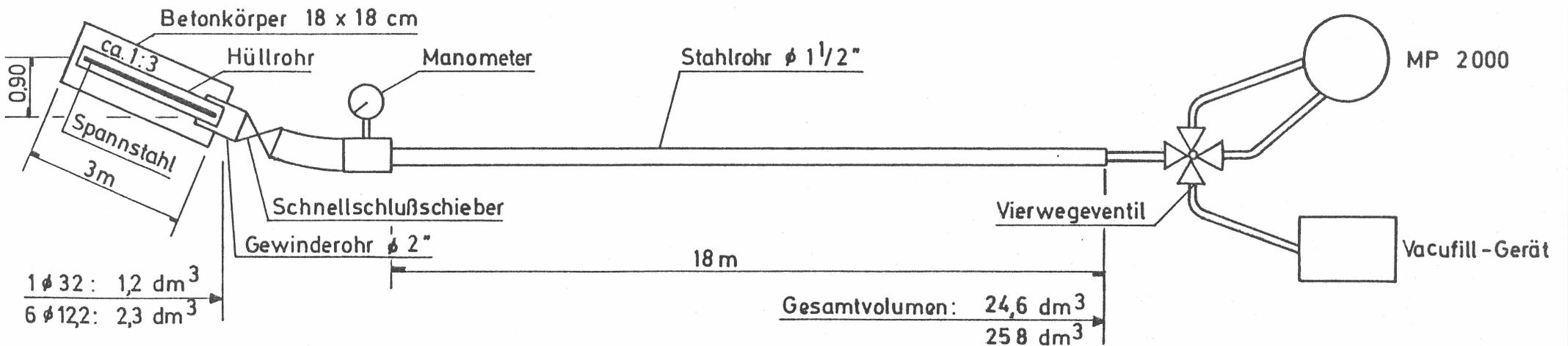


Bild 4.1 Versuchsanordnungen - Restluft im Spannkanal

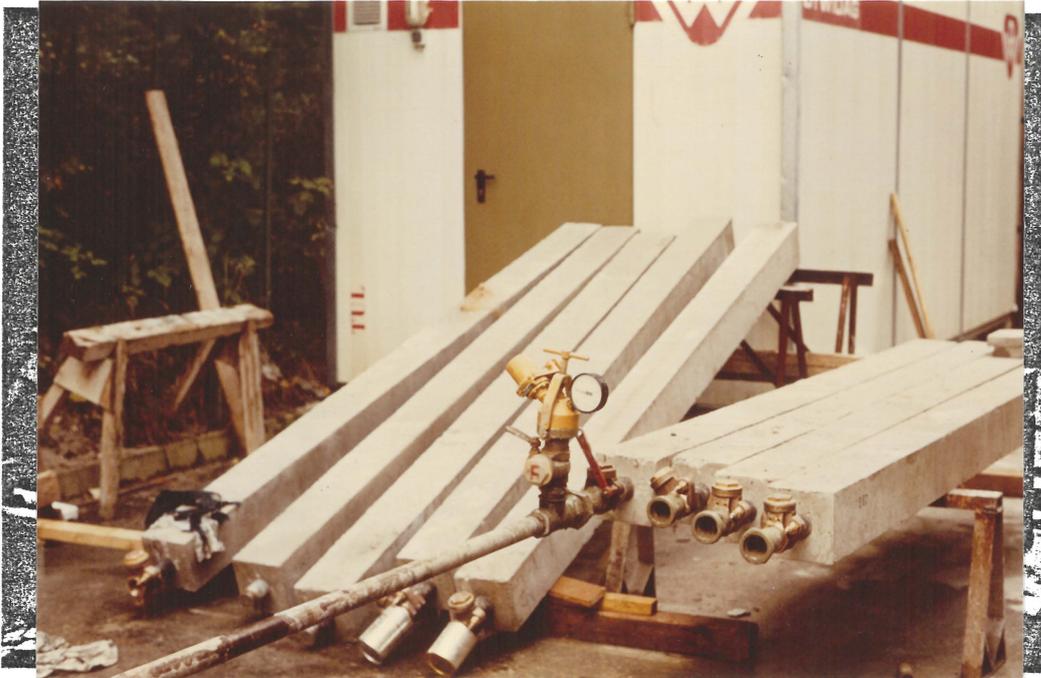


Bild 4.2 Anordnung der Versuchskörper



Bild 4.3
Freigelegtes Spannglied

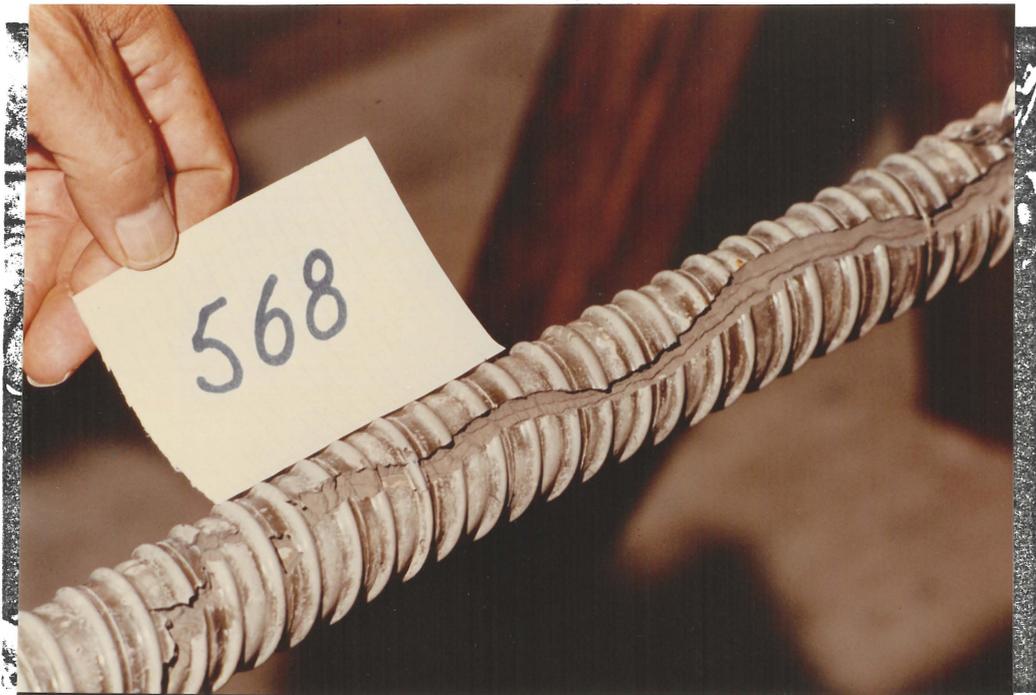


Bild 4.4 Kanal, durchlaufend

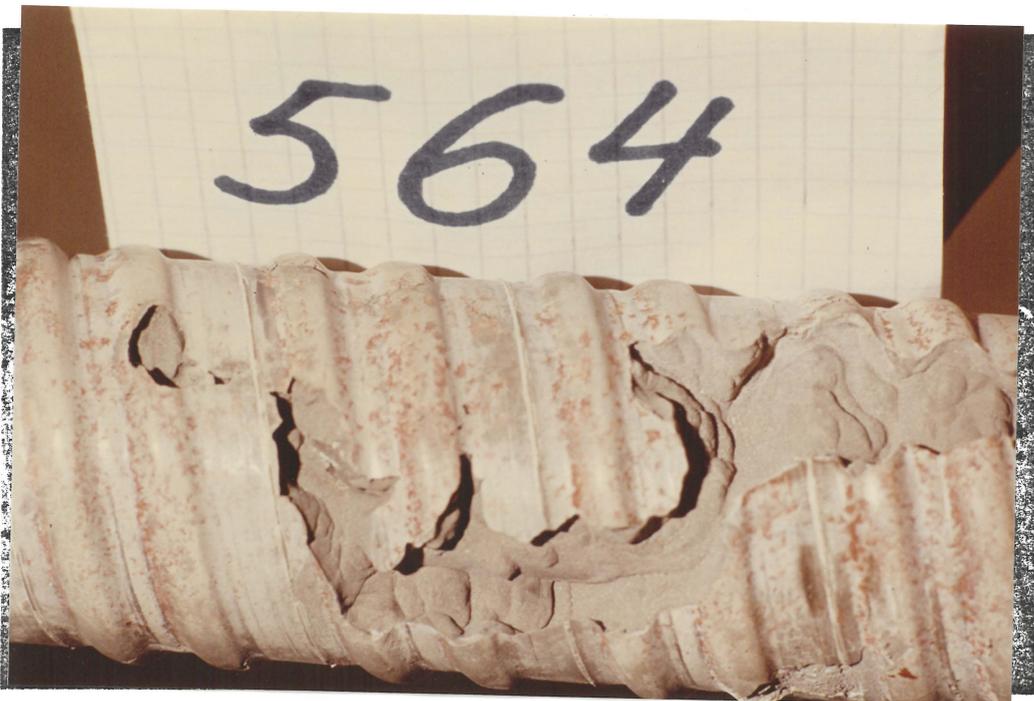


Bild 4.5 Kanal, klüftig endend



Bild 4.6 Mit MacFlow verpreßter Spannkanal



Bild 4.7
Einpreßmörtelbrücken
in den Hüllrohrsicken



Bild 4.8 und 4.9 Kanal oben vor, unten nach dem Entfernen der Zementhaut



Bild 4.10 und 4.11 Ohne Vakuum verpreßter Spannkanal

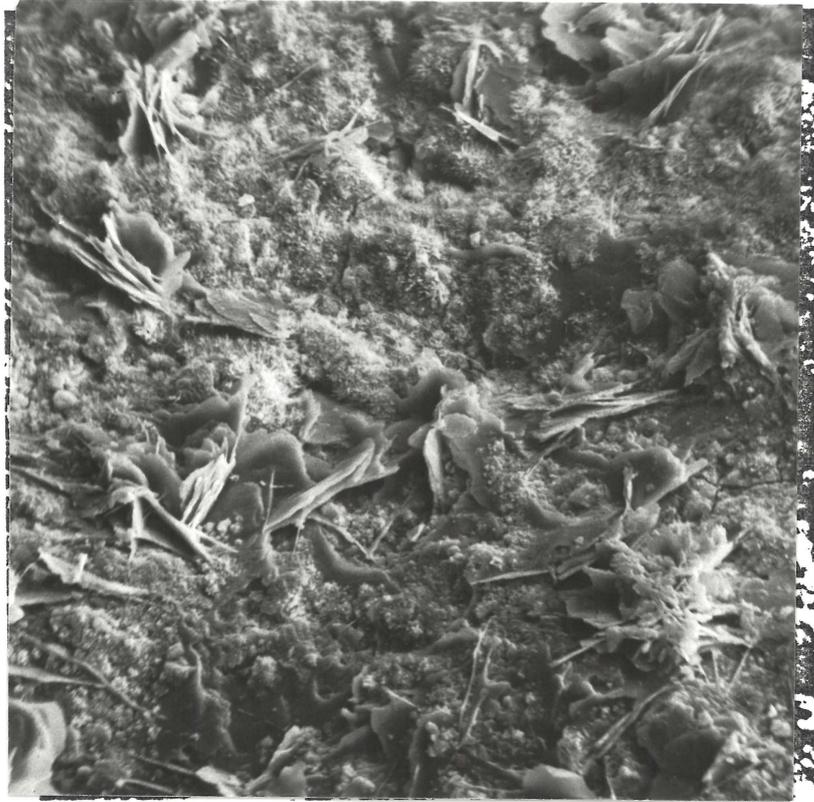


Bild 4.12 REM-Aufnahme von Einpreßmörtel des Prüfkörpers 689
(Vergrößerung 200:1)



Bild 4.13 Prüfkörper

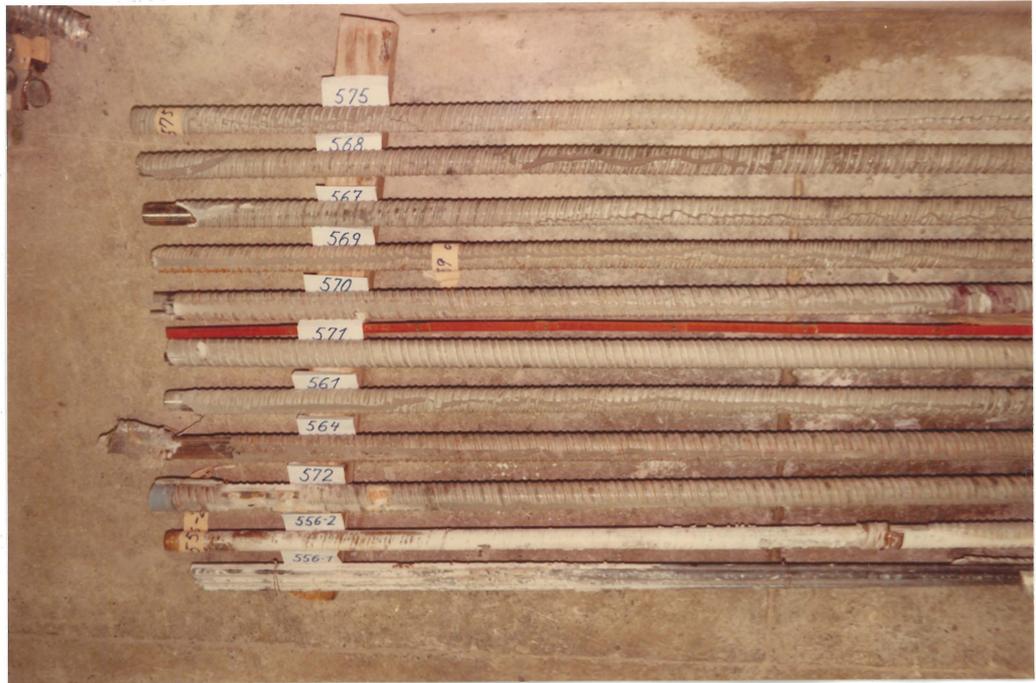


Bild 4.14 Prüfkörper



Bild 4.15 Prüfkörper

Tabelle 4.1.1: Restluft - Horizontale Prüfkörper

Fortlaufende Nr.		1	2	3	4
Prüfkörper Nr.*)		576	578	577	567
Prüfdatum		31.8.81	31.8.81	31.8.81	15.9.81
<u>1. Abmessungen</u>					
Spannglied	mm	1 Ø32	6 Ø 12,2	6 Ø12,2	1 Ø32
Hüllrohr Ø i	mm	38	42	42	38
l	m	2,90	2,90	2,90	2,90
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5	40,5
l	m	18,0	18,0	18,0	18,0
Mörtelvol.					
Spannglied	dm ³ /m	0,41	0,8	0,8	0,42
	dm ³	1,19	2,32	2,32	1,19
Stahlrohr	dm ³	23,40	23,40	23,40	23,40
Gesamt	dm ³	24,6	25,8	25,8	24,6
<u>2. Einpreßmörtel</u>					
Zement		Silozement Märker, Harburg PZ 45 F			
Einpreßhilfe		Tricosal 181, 1 % vom Zementgewicht			
W/Z-Wert		0,39	0,39	0,39	0,38
Mischdauer	min	2	2	2	2
Mörteltemperatur	°C	21			
Tauchzeit:					
nach dem Mischen	sec	27,5			30
nach 30 min	sec	47,5			
Raumänderung	%	+ 0,1			+0,3
Druckfestigkeit:					
7 Tage	N/mm ²	40,1			39,3
28 Tage	N/mm ²	49,6			44,8
<u>3. Versuchsdurchführung</u>					
Vakuum	mbar	40	40	100	100
Verpreßdruck	bar	4,5	4	10	10

*) in der Reihenfolge des Verpressens

Tabelle 4.1.1:

Fortlaufende Nr.		5	6	7
Prüfkörper Nr.*)		569	570	572
Prüfdatum		15.9.81	15.9.81	15.9.81
<u>1. Abmessungen</u>				
Spannglied	mm	1 Ø32	6 Ø12,2	6 Ø12,2
Hüllrohr Ø i	mm	38	42	42
1	m	2,90	2,90	2,90
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5
1	m	18,0	18,0	18,0
Mörtelvol.				
Spannglied	dm ³ /m	0,41	0,8	0,8
	dm ³	1,19	2,32	2,32
Stahlrohr	dm ³	23,40	23,40	23,40
Gesamt	dm ³	24,6	25,8	25,8
<u>2. Einpreßmörtel</u>				
Zement		Silozement Märker, Harburg PZ 45 F		
Einpreßhilfe		Tricosol 181, 1 % vom Zementgewicht		
W/Z-Wert		0,38	0,38	0,38
Mischdauer	min	2	2	2
Mörteltemperatur	°C		21	21
Tauchzeit:				
nach dem Mischen	sec	21	33,5	
nach 30 min	sec		38	
Raumänderung	%			-0,4 **
Druckfestigkeit:				
7 Tage	N/mm ²			38,6
28 Tage	N/mm ²			---
<u>3. Versuchsdurchführung</u>				
Vakuum	mbar	40	40	100
Verpreßdruck	bar	10	10	10

*) in der Reihenfolge des Verpressens

**) mit Mörtel nach 30 min

Tabelle 4.1.2: Restluft, horizontale Prüfkörper - Ergebnisse

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
1	576	4.13	3	D	0 - 30 30 - 80 80 - 115 105 - 130 115 - E	Zunge, ca. 30 mm breit, Stahl liegt teilweise frei Scheitelkanal, ca. 6 x 1,5 mm stark mäandernd, klüf- tig, Tiefe bis zu 5 mm schräge Risse im Schei- tel, ca. 30 mm lang, ca. 0,8 mm breit leichte Rille im Schei- tel, nur geringfügig tiefer als Hüllrohrsicke
2	578	4.13		D	0 - 90 90 - 160 160 - 215 215 - 225 225 - E	Zunge, in Achse Hüll- rohr beginnend, Draht- umrisse bis ca. 50 cm erkennbar, jedoch mit Mörtel umhüllt Kanal, ca. 6 x 1,5 mm breite Scheitelausspie- gelung (ca. 35 mm), schuppige Ränder Kanal, stark mäandernd, klüftig, ca. 2 mm breit, ca. 3 mm tief feine Rille, nur im Sik- kenbereich

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.1.2:

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
3	577	4.13	-	D	0 - 80 80 - E	breite, ausgespiegelte Zunge, mit hochstehenden, scharfen Kanten, ca. 30 - 20 mm breit obenlaufende Rille, ca. 6 mm breit, 2 mm tief, mit schuppigen, teilweise zerklüfteten Rändern
4	567	4.14	7	D	0 - 10 10 - 22 35 - E	Spannstahlende blank breite Rille, (b = 15, t = 3 mm), seitlich verlaufend (Stahl liegt bis 40 cm am Hüllrohrscheitel), auf 0 auslaufend auf gegenüberliegender Seite Beginn einer neuen Rille, b = 3 mm, t = 1 mm, ab ca. 60 cm im Scheitel, leicht breiter werdend (ca. 5 mm x 1,5 mm), scharfe Konturen, jedoch ausgerundeten Querschnitt

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.1.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
5	569	4.14	-	T	0 - 50 50 - 155 55 - 100 155 - 180 180 - E	Scheitelkanal, b = 11, t = 4 mm Scheitelkanal, b = 6, t = 2 mm, dunkelgrau, scharfkantig, in der Mitte teilweise gerissen, Kanal von Zementhaut überdeckt seitliche Schrägrisse, b = 2 mm, ca. 45 zur Stabachse geneigt seitliche Risse, erst horizontal, dann schräg verlaufend einwandfrei verfüllt, jedoch leicht schuppige Oberfläche, dort hell- grau
6	570	4.8 4.9 4.14	ca.7	T	0 - 7 7 - 40 40 - 135	Drähte mit weißem Belag, Zunge 14 x 3 mm, in Kanal auslaufend, seit- lich Lufteinschlüsse, bis zum Stahl durchgehend Scheitelrille, teilweise mit Zementhaut überdeckt, ca. 8 x 2 mm, bei 135 stark klüftig endend, t = 10 mm, bis auf den Stahl durchgehend

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.1.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
					70 - 100 145 - 190 190 - E	seitliche Risse, unter ca. 30 verlaufend Längsriß im Scheitel, davon ausgehend seit- lich unter ca. 80 ver- laufende Risse, ca. 2 cm lang, nach unten schwä- cher werdend nur noch feine Rille im Scheitel, hellgrau
7	572	4.14	-	T	0 - 150 150 - E	unmittelbar am Spann- kanalende im Scheitel beginnende Rille, 9 x 3 mm bei 100 cm: 7 x 2,5 mm bei 130 cm: 10 x 2,5 mm trichterförmig endend, 25 x 5 mm voll verfüllt, nur feine Risse und leichte weiße Schlieren im Scheitel

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.2.1: Restluft - geneigte Prüfkörper

Fortlaufende Nr.		8	9	10	11
Prüfkörper Nr.1)		550	559	562	563
Prüfdatum		27.8.81	31.8.81	31.8.81	31.8.81
<u>1. Abmessungen</u>					
Spannglied	mm	10 32	10 32	6 Ø 12,2	6 Ø 12,2
Hüllrohr Ø i	mm	38	38	42	42
1	m	2,90	2,90	2,90	2,90
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5	40,5
1	m	18,0	18,0	18,0	18,0
<u>Mörtelvol.</u>					
Spannglied	dm ³ /m	0,41	0,41	0,8	0,8
	dm ³	1,19	1,19	2,32	2,32
Stahlrohr	dm ³	23,40	23,40	23,40	23,40
Gesamt	dm ³	24,6	24,6	25,8	25,8
<u>2. Einpreßmörtel</u>		Silozement Märker, Harburg PZ 45 F			
Zement		Tricosol 181, 1 % vom Zementgewicht			
Einpreßhilfe					
W/Z-Wert		0,40	0,39	0,39	0,39
Mischdauer	min	2	2	2	2
Mörteltemperatur	°C				
<u>Tauchzeit:</u>					
nach dem Mischen	sec	29	36,5	33,5	-
nach 30 min	sec		55	56	-
Raumänderung	%	+0,1	+ 0,1		
<u>Druckfestigkeit:</u>					
7 Tage	N/mm ²	39,0	40,1		
28 Tage	N/mm ²	46,6	49,6		
<u>3. Versuchsdurchführung</u>					
Vakuum	mbar	100	100	40	100
Verpreßdruck	bar	10 ²⁾	10	5	10

1) in der Reihenfolge des Verpressens

2) nach dem 1. Verfüllen freigespült, dann wiederholt, Verpreßdruck 6 bar - 0 bar - 10 bar

Tabelle 4.2.1:

Fortlaufende Nr.		12	13	14	15	16
Prüfkörper Nr.1)		561	571	564	568	575
Prüfdatum		14.9.81	14.9.81	15.9.81	15.9.81	15.9.81
1. Abmessungen						
Spannglied	mm	1 Ø32	6 Ø12,2	6 Ø12,2	1 Ø32	1 Ø32
Hüllrohr Ø i	mm	38	42	42	38	38
l	m	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
l	m	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Mörtelvol.						
Spannglied	dm ³ /m	0,41	0,8	0,8	0,41	0,41
	dm ³	1,19	2,32	2,32	1,19	1,19
Stahlrohr	dm ³	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40
Gesamt	dm ³	24,6	25,8	25,8	24,6	24,6
2. Einpreßmörtel						
Zement	Silozement Märker, Harburg PZ 45 F					
Einpreßhilfe	Tricosol 181, 1 % vom Zementgewicht					
W/Z-Wert		0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Mischdauer	min	2	2	2	2	2
Mörteltemperatur	°C					
Tauchzeit:						
nach dem Mischen	sec	37	-	30	-	-
nach 30 min	sec	-	-	40	-	-
Raumänderung	%			+0,3		
Druckfestigkeit:						
7 Tage	N/mm ²			39,3		
28 Tage	N/mm ²			44,8		
3. Versuchsdurchführung						
Vakuum	mbar	40	40	100	100	-
Verpreßdruck	bar	10 ³⁾	10	10	10	10

1) in der Reihenfolge des Verpressens

3) max Druck: 13 bar

Tabelle 4.2.2: Restluft, geneigte Prüfkörper - Ergebnisse

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
8	560	4.13	7	-	0 - 25 25 - E	Ausgespiegelte Zunge, l 15 cm, Stahl auf ca. 5 cm frei, Mörtel am Spanngliedende nach dem Öffnen abgefallen im Scheitel über die gesamte Länge weiße Schlieren und feine Rinne in den Sicken
9	559	4.13	-	D	0 - 200 150 200 - E	Im Scheitel scharfkantige Rille, von 11 x 3 mm auf 7,5 x 4 mm sich ver- jüngend, 2 Risse an den Ufern, Rillengrund well- enförmig, gleichmäßige Struktur, grau seitlicher Längsriß, l = 10 cm, b = 2,5 mm Rille wandert vom Schei- tel um 90° an die Seite
10	562	4.13	-	T	0 - 40 40 - E	breite Rille, 16 x 3 mm, Mörtelbrücken in den Sicken, Rillengrund well- enförmig voll verfüllt, weiße Schlie- ren im Scheitel

*) Am Spannkanalhochpunkt in Spanngliedachse gemessen

D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge

T: nur auf einer Teillänge

E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.2.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
11	563	4.13	6	-	0 - 15 15 - 90 90 - E	Ausgespiegelte Mörtel- front, weiße Oberfläche Blasen im Scheitel, weiß vollverfüllt
12	561	4.14	4	T	0 - 60 60 - 140 145 - 170 170 - 180 180 - E	Scheitelkanal, scharf- kantig, 18 x 4 mm Scheitelkanal, schmaler und flacher werdend (i. M. 7 x 2,5 mm), klüftig endend seitliche, unter ca. 45 geneigte Schrägris- se, 60 mm lang, 2 mm breit im Scheitel feine Risse voll verfüllt, nur fei- ne Rinne in den Sicken
13	571	4.14	3	-	0 - E	ausgespiegelte, gleich- förmige, dichte Mörtel- front, grau, auf die gesamte Länge voll ver- füllt, Querschnitt zw- ischen den Drähten voll

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.2.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
14	564	4.5 4.14	11	T	0 - 50 50 - 200 200 - 220 210 - 225 225 - 235 235 - E	von Hüllrohrachse aus- gehende, breite Zunge, max. 15 mm tief, Drähte im vorderen Teil frei, keilförmig auslaufend Scheitelkanal, 12 x 4 mm, Mörtelbrücken in den Sicken, im Kanalgrund Falten, teilweise mittiger Längs- riß, scharf kantig, stark klüftig endend, bis zu 10 mm tief seitlicher Längsriß, ca. 7 mm tief und 2,5 mm breit feiner Scheitelriß im Scheitel schuppige Oberfläche, bei 230 Quer- rille, 30 x 3 mm voll verfüllt

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.2.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
15	568	4.4 4.7 4.14	6	T	0 - 55 55 - 90 90 - 115 115 - 160 115 - 140 160 - E	Kanal, dunkelgrau, im Scheitel beginnend, schraubenlinienförmig um den Spannstahl verlaufend, 14 x 3 mm, auf 10 cm offen, dann unter geschlossener Oberfläche verlaufend Scheitelkanal, 10 x 3 mm, scharfkantig, im Rillengrund 1, teilweise zwei Längsrisse mäandernd, stark klüftig feine Scheitelrille seitliche Risse, ca. 45° geneigt voll verfüllt
16	575	4.10 4.11	-	D	0 - 40 40 - 90 100 - E 160 - 180 200	Nullversuch (ohne Vakuum) Scheitelrille, in Sicken eindringend, 3,5 x 1,5 mm klüftiger Riß, anfangs im Scheitel, dann seitlich Scheitelrille, 1,5 x 0,5 mm, leichte weiße Schlieren seitlich 2 Schrägrisse, unter 45° und 30° geneigt am Scheitel 2 unterbrochene Risse, je ca. 5 cm lang, schuppige Mörteloberfläche

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge

Tabelle 4.3.1: Restluft - geneigte Prüfkörper
verschiedene Zemente und Einpreßhilfen,

Fortlaufende Nr.		17	18	19	20	21
Prüfkörper Nr.*)		667	670	671	672	687
Prüfdatum		16.10.81	16.10.81	16.10.81	16.10.81	27.10.81
1. Abmessungen						
Spannglied	mm	1 Ø 32	1 Ø 32	1 Ø 32	1 Ø 32	1 Ø 32
Hüllrohr Ø i	mm	38	38	38	38	38
1	m	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
1	m	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Mörtelvol.						
Spannglied	dm ³ /m	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	dm ³	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
Stahlrohr	dm ³	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40
Gesamt	dm ³	24,60	24,60	24,60	24,60	24,60
2. Einpreßmörtel						
Zement		PZ 35 F	Silozement, Märker			PZ 35 F
Einpreßhilfe		Kiefersf.	Harburg, PZ 45 F			Kiefersfelden
W/Z-Wert		Tricosal 181 ¹⁾ , 1 % vom Zementgewicht				
W/Z-Wert		0,40	0,38	0,38	0,38	0,41
Mischdauer	min	2	2	2	2	2
Mörteltemperatur	°C					
Tauchzeit:						
nach dem Mischen	sec	42,5	29	30,5	43	33,5
nach 30 min	sec	76	53			52
Raumänderung	%	-0,2	-1,2	±0,0		+0,1
Druckfestigkeit:						
7 Tage	N/mm ²	31,0	64,0	46,1		30,3
28 Tage	N/mm ²	40,8	77,9	51,0		40,0
3. Versuchsdurchführung						
Vakuum	mbar	100	100	100	-	100
Verpreßdruck	bar	10	10	3,5	12	10

*) in der Reihenfolge des Verpressens

1) bei PK 670 ohne Treibmittel

Tabelle 4.3.1

Fortlaufende Nr.		22	23	24	25
Prüfkörper Nr.*					
Verspannens		688	689	690	691
Prüfdatum		27.10.81	27.10.81	27.10.81	27.10.82
<u>1. Abmessungen</u>					
Spannglied	mm	1 Ø 32	1 Ø 32	1 Ø 32	1 Ø 32
Hüllrohr Ø i	mm	38	38	38	38
l	m	2,90	2,90	2,90	2,90
Stahlrohr Ø i	mm	40,5	40,5	40,5	40,5
l	m	18,0	18,0	18,0	18,0
Mörtelvol.					
Spannglied	dm ³ /m	0,41	0,41	0,41	0,41
	dm ³	1,19	1,19	1,19	1,19
Stahlrohr	dm ³	23,40	23,40	23,40	23,40
Gesamt	dm ³	24,60	24,60	24,60	24,60
<u>2. Einpreßmörtel</u>					
Zement		PZ 35	PZ 45 F		Macflow
		Kiefersf. Märker, Harburg			
Einpreßhilfe		Tricosal 1811), 1 %			-
W/Z-Wert		0,37	0,38	0,355	0,33
Mischdauer	min	2	2	2	2
Mörteltemperatur	°C				
Tauchzeit:					
nach dem Mischen	sec	58	30	70	36
nach 30 min	sec	57	44	122	40,5
Raumänderung	%	+1,5	-0,2	+0,7	±0,0
Druckfestigkeit:					
7 Tage	N/mm ²	32,0	45,3	44,9	46,0
28 Tage	N/mm ²	32,9	52,3	52,2	61,7
<u>3. Versuchsdurchführung</u>					
Vakuum	mbar	100	100	100	100
Verpreßdruck	bar	12	10	11	10

*) in der Reihenfolge des Verspannens

Tabelle 4.3.2: Restluft, horizontale Prüfkörper - Ergebnisse

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
17	667	4.15		D	0 - E	Durchgehende gleichmäßige Scheitelrille, ausgerundete und ausgespiegelte Form, weißlich, 9x1,5 mm
18	670	4.15	8	T	0 - 70 70 - 185 185 - 200 200 - E	Zunge, keilförmig zulau- fend, scharfkantig, glat- ter Grund, kein Riß, grau, 18 x 4 mm, Mörtelbrücken Scheitelkanal, 9 x 2,5 mm, grau, Mörtelbrücken tiefe, klüftige, verzweig- te Risse, bis ca. 1 mm breit voll gefüllt, auch in den Sicken, lediglich ganz am Ende <u>Sicken</u> nur teilweise voll, dort leicht schuppige Oberfläche
19	671	4.15	110	D	0 - E	Stahl im leeren Bereich blank, gleichmäßige Schei- telrinne, ausgerundet, im Grund grau, an den Rädern weiß, in gleicher Breite von ausgespiegelter Mörtelfront durchlaufend, Mörtelfront weiß, 6x1 mm

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.3.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
20	672	4.15	3	D	- 65 65 - 140 145 - 160 160 - 190 190 - 210 210 - 220 220 - E	Zunge, keilförmig, in Kanal übergehend bei 50 15 x 3,5 mm, grau, glatter Grund, scharfkantige Ränder, Mörtelbrücken Scheitelkanal, 9 x 2,5 mm mittiger Riß, grau, scharfkantig, klüftig, mit ungleichförmigem Grund endend ein 30° Riß seitlich, ca. 7 cm lang, b = 0,2 mm, sonst voll verfüllt scharfkantiger, tiefer Scheitelriß, bis 1,5 mm breit Riß mäandernd, teilweise klüftig stark klüftiger Bereich, bis zu 5 mm tief, übergehend in Scheitelkanal, am Anfang scharfkantig, am Ende ausgerundet, grau b = 4, t = 2 mm
21	687	4.15	4	D	0 - 30 30 - 100	Breite Zunge, 23 x 3,5 mm, scharfkantig, an beiden Ufern Längsrisse, grau, übergehend in Kanal Scheitelkanal 10 x 3 mm, im Grund mehrere Längsrisse, teilweise bis zum Stab durchgehend

- *) Am Spannkanalende in Spannmitgliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spannmitgliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.3.2

Nr.	Prüf- körper nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
					100 - 150	Scheitelkanal mit großen Windungen, klüftig endend, Mörtelbrücken
					150 - 185	Schmale Rille, b = 0,5 mm, t = 2 mm unregelmäßiger Verlauf, Mörtelbrücken
					185 - 190	augenscheinlich voll verfüllt
					195 - E	Blasen am Beginn einer Rille, ausgerundete Form, flach dunkelgrau
22	688	4.15	20		bei 30-40	Beim Öffnen fällt Mörtel ab. Scheitelkanal, U-förmig, scharfkantiger Rand, doch ausgerundeter Grund, 11 x 3 mm, weiße Schlieren im Grund, Mörtelbrücken
					bis 110	Mörtel abgefallen
					130 - 180	breiter Scheitelkanal, 22 x 4 mm, Stahl nur mit gleichmäßiger ca. 0,5 mm dicker Schicht überdeckt, Ränder scharfkantig
					180 - E	Bei 180 Sprung auf 32x4 mm, gleichbleibend bis E. Ränder oben scharfkantig im Grund ausgerundet und glatt.
						Kanal auf gesamter Länge mit Haut überdeckt.

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen

D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge

T: nur auf einer Teillänge

E: Spanngliedende

Tabelle 4.3.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
23	689	4.15	nicht bestimm- bar	D	bis 60 60 - 95 95 - 110 110 - 170 170 - E	Im Hochpunkt wurde der Druckverlauf mit einem aufgeschraubten Manometer gemessen. Mörtel abgefallen. Auf der gesamten Länge seitlich klüftige Risse, unter ca. 30° geneigt, bis 2,5 mm breit. schmäler, scharfkantiger, tiefer Scheitelkanal, 5 x 4 mm, mittiger Riß. seitlich verlaufender Kanal, 9 x 5 mm, klüftiger Grund, Mörtelbrücken Scheitelkanal, 9 x 6,5 mm, Stahl frei auf 9 mm Breite, nur mit dünner grauer Schicht bedeckt, stark klüftig, Schrägrisse von Kanalufer ausgehend teilweise seitlich verlaufend, schmaler, stark klüftig und stark unregelmäßig verlaufend b = 2,5 mm; bis auf Stahltiefe.

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 4.3.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
24	690	4.15	nicht bestimm- bar	D	45 - 55 55 - 70 70 - E	Im Hochpunkt wurde der Druckverlauf mit einem aufgeschraubten Manometer gemessen mit weißem Material verfüll- ter Kanal, läßt sich leicht herauskratzen, 6 x 2 mm bei 45, auslaufend in Schlieren voll verfüllt aus Schlieren beginnende Scheitelrille, bis 130 Ränder scharfkantig, dann in Sicken ausspiegelnd, weiße Farbe zum Tiefpunkt hin zunehmend
25	691	4,6 4,15	21	-	0 - E	voll verfüllt, im Scheitel feinster Riß (ca. 0,02 mm)

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

5. Zusatzversuche

5.1 Versuchsziel

In zusätzlichen Versuchen an glasklaren Plexiglasrohren sollte die Ursache und der zeitliche Ablauf der Kanalbildung festgestellt werden.

5.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach Absatz 4.2 (Bild 4.1.b und 5.1). Es wurden jedoch Plexiglasrohre (\varnothing_a 50 mm, Wandstärke 4,5 mm, $l = 2$ m) in geneigter Lage (1:3,5) verwendet. Der Hochpunkt war mit Kunstharz vergossen.

5.3 Versuchsdurchführung

Es wurden zwei Versuchsreihen an insgesamt 9 Rohren mit $1 \varnothing 32$ mm durchgeführt. In der ersten wurde die Einpreßmörtelzusammensetzung verwendet, bei der in den vorhergegangenen Versuchen die stärkste Kanalbildung auftrat. Zu Vergleichszwecken wurde im Durchlaufverfahren 1 Rohr ohne Vakuum und ohne Druck (PK 12) sowie 1 Rohr ohne Vakuum aber mit Druck (PK 13) geprüft.

In der zweiten Versuchsreihe wurden dann verschiedene Einpreßmörtelzusammensetzungen gewählt, um zu untersuchen, wie eine Kanalbildung vermieden werden kann.

Die Kennwerte der verwendeten Einpreßmörtel sind in Tabelle 5.1 zusammengestellt.

5.4 Versuchsergebnisse

Mit Hilfe der gewählten Versuchsanordnung konnte die Entstehung der Kanalbildung nachgewiesen werden. Der zeitliche Ablauf kann Bild 5.2-1 und 5.2-2 entnommen werden. Zunächst floß der Einpreßmörtel mit mäßiger Geschwindigkeit und nahezu senkrecht zur Spannsteelachse geneigter Frontfläche in den Spann-

kanal ein (Bild 5.3) und füllte ihn bis auf einen verbleibenden Hohlraum am Hochpunkt voll aus. Dann trat ein Ausspiegeln der Mörtelfront und ein geringfügiges Absacken ein. Wasserabsetzen am Hochpunkt konnte während der ganzen Versuchsdauer nicht festgestellt werden.

Beim Einpreßmörtel üblicher Zusammensetzung sackte ca. 1 Stunde nach Beendigung des Verpreßvorganges am Hochpunkt im Scheitel der Mörtel in Form einer breiten Zunge (bis ca. 2 cm Breite) ab, die sich immer weiter in Richtung Schieber vorarbeitete (Bild 5.5). Dabei konnte i. d. R. im Scheitel des Plexiglasrohres, teilweise auch an anderer Stelle, auf der gesamten Rohrlänge eine stetige Bewegung von Feinteilen zum Schieber hin beobachtet werden.

Nach weiteren 15 Min. kam die Zungenbildung zur Ruhe. Es bildete sich jedoch nach kurzer Zeit von ihrer Spitze ausgehend ein feiner Kanal in der Weise, daß das Wasser aus dem Feinteilbereich, der sich in der Regel im Scheitel, manchmal jedoch auch an anderer Stelle, gebildet hatte, nach unten abfloß und einen Hohlraum hinterließ (Bild 5.5). Teilweise konnte eine Rückbildung der Zungenbreite im oberen Bereich festgestellt werden, teilweise auch schräg oder längs verlaufende Setzrisse im gesamten Spannkanalbereich, die sich jedoch in ihrer Länge, Breite und Lage bis zur Aushärtung des Einpreßmörtels stark veränderten (Bild 5.7).

Während der gesamten Entstehung des Kanales wurde am Schieber ein Austropfen von Wasser beobachtet. Es verlangsamte sich im Laufe des Versuches (zu Beginn ca. ein Tropfen pro 3 sec, am Ende der Kanalbildung ein Tropfen pro ca. 6 sec). Die Gesamtmengen sind Tabelle 5.2 zu entnehmen.

Die Kanalbildung war nach ca. 1 Std. beendet, d. h. also 2 Std. nach Beendigung des Verpreßvorganges.

Aufgrund dieser Beobachtungen wird die Kanalbildung folgendermaßen erklärt:

Infolge der Restluft und des aufgebrauchten Verpreßdruckes verbleibt am Spannkanalende ein komprimiertes Luftpolster. Nach dem Verschließen des Schiebers tritt im Spannkanalquerschnitt eine Sedimentation in vertikaler Richtung ein. Dies konnte anhand von vertikalen Schlierenbildungen mit einer Abstufung der Mörtelfarbe von dunkelgrau zu hellerem Grau beobachtet werden (Bild 5.4). D. h. also, daß sich im Spannkanalquerschnitt an der unteren Seite die größeren Zementteilchen ($> ca. 10 \mu m$) ablagern, während die feineren Teilchen ($< ca. 10 \mu m$) mit dem "abstoßenden" Wasser zum Scheitel transportiert wurden.

Solange der Mörtel in seiner Gesamtheit noch fließfähig ist, tritt beim Vorhandensein geringster Undichtigkeiten des Spannkanales zunächst ein gleichmäßiges Absacken der gesamten Mörtelfront ein, was auch noch durch den vorhandenen Luftinnendruck begünstigt wird.

Dieser Vorgang wird weiterhin dadurch verstärkt, daß sich, wie bekannt, während der ersten 2 - 4 Std. ca. 4 % Wasser an das Zementkorn anlagert, wodurch eine Volumensänderung des Einpreßmörtels eintritt.

Nach entsprechendem anfänglichen Hydratisieren des Zementes geht der Einpreßmörtel vom fließfähigen in den pastösen Zustand über, was gleichzeitig mit einer Volumenminderung verbunden ist. Es dringt komprimierte Luft in den entstehenden Hohlraum ein, wodurch sich zunächst eine "Zunge" ausbildet. Je nach der Größe der noch vorhandenen Viskosität ist ihre Oberfläche ausgespiegelt oder bereits mit stark geneigten Rändern versehen. Nimmt die Erstarrung noch weiter zu, was in den Bereichen mit Feinteilchen, also i. d. R. im Scheitel, früher eintritt als in denen mit gröberem Material und deshalb im Querschnitt von oben nach unten fortschreitet, bilden sich rechteckige Kanalquerschnitte aus, wobei das im Scheitel angesammelte Wasser zur undichten Stelle (im Versuch am Schnellverschlußschieber) wandert und dort ausgedrückt wird.

Durch den tangential wirkenden Luftdruck in Verbindung mit der Volumenminderung des Mörtels - etwa zum Zeitpunkt des Erstarrungsbeginns - wird dieser in Kreisringrichtung zur Seite gedrückt, wodurch sich die Risse im Kanalgrund bilden können. Die Schrägrisse resultieren aus Setzungen in der Längsrichtung.

Die gleiche Kanalbildung konnte analog bei den geneigten und bei dem horizontal vefüllten Plexiglasrohr festgestellt werden, wo sie jedoch in kürzerer Zeit abgeschlossen war. (Siehe Bild 5.1 und 5.2-1). Sie war bei allen unter Vakuum verpreßten Spannkanälen bei mit Zusatzmitteln hergestellten Einpreßmörteln feststellbar, lediglich der Fertigmörtel MacFlow zeigte diese Erscheinung nicht. Bei ihm trat nur ein Zurückwandern der Mörtelfront um ca. 3 cm auf (Bild 5.8), was durch den vorhandenen Luftdruck erklärbar ist. Abtropfen von Wasser am Schieber konnte nur in ganz geringfügigem Maße beobachtet werden.

Bei dem ohne Vakuum verpreßten und unter Druck verschlossenen Nullversuch konnte keine ausgeprägte Kanalbildung festgestellt werden.

Beim Prüfkörper Nr. 12 zeigten sich örtlich Ansammlungen von Wasser (bild 5.9), das beim Abbindevorgang vom Mörtel wieder aufgenommen wurde.

Beim Prüfkörper Nr. 13 bildete sich eine feine bis nahezu zum Hochpunkt durchlaufende Rille aus. Ihre Entstehung war jedoch grundsätzlich verschieden von der der Kanäle. Hier wanderte Wasser hinter einer Luftblase von unten nach oben (Bild 5.10). Die dadurch sich bildende Rille war noch nach mehr als 2,5 Stunden mit Wasser gefüllt, das erst beim Abbindeprozeß vom Mörtel aufgenommen wurde.

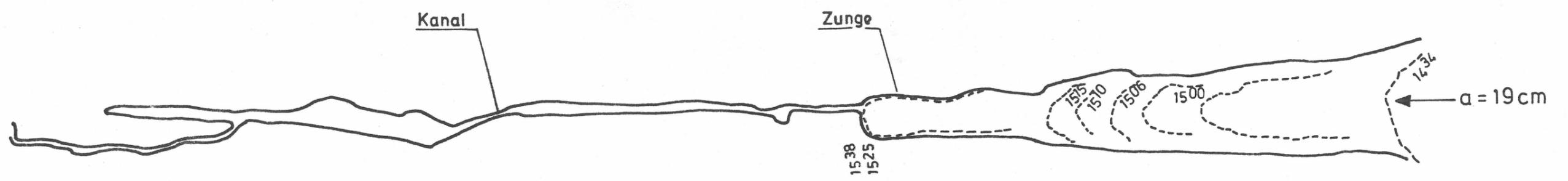


Bild 5.1 Versuchsaufbau

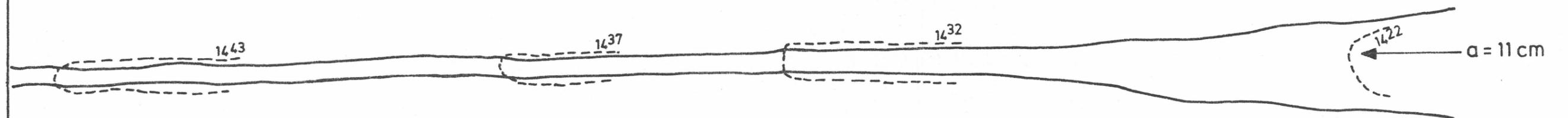
Geneigter und horizontaler Prüfkörper

Prüfkörper Nr. 2

Hochpunkt



Prüfkörper Nr. 11



Prüfkörper Nr. 15

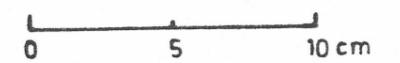
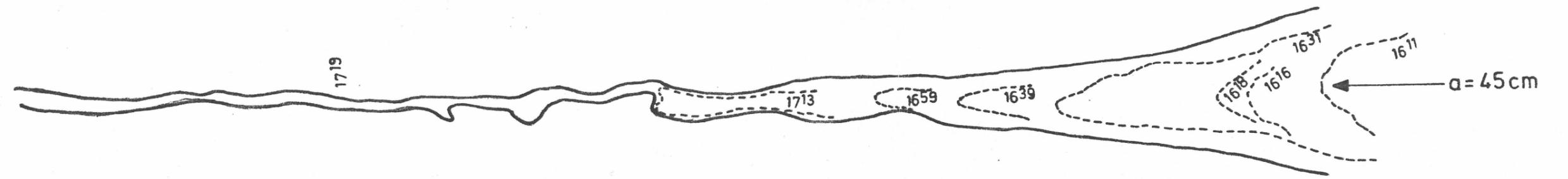
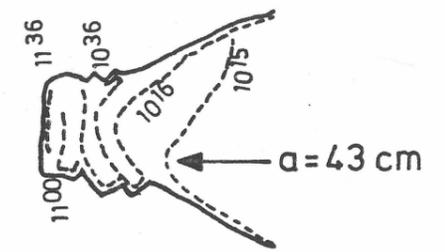


Bild 5.2-1 Vakuumversuche an Plexiglasrohren
Zeitliche Entstehung der „Kanäle“ (Abwicklung)

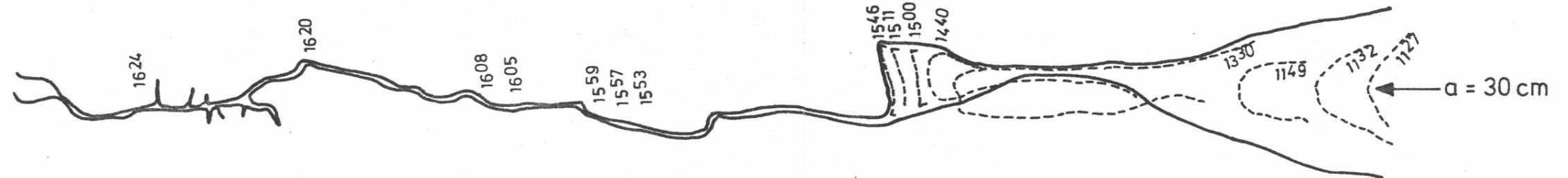
a = unverfüllte Spannkanallänge nach Beendigung
des Einpressens

Prüfkörper Nr. 16

Hochpunkt



Prüfkörper Nr. 17



Prüfkörper Nr. 18

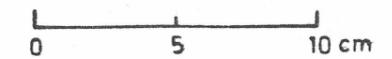
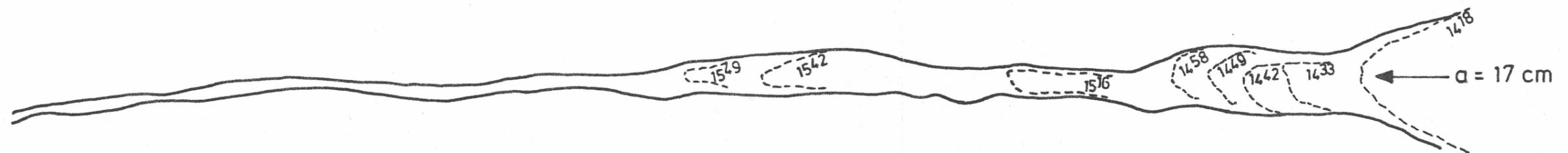


Bild 5.2-2 Vakuumversuche an Plexiglasrohren
Zeitliche Entstehung der „Kanäle“ (Abwicklung)

a = unverfüllte Spannkanallänge nach Beendigung
des Einpressens



Bild 5.3 Einströmen des Mörtels



Bild 5.4 Schlierenbildung



Bild 5.5 Zungenbildung



Bild 5.6 Kanalbildung



Bild 5.7 Setzrisse



Bild 5.8 Mit Macflow verpreßter Spannkanal am Hochpunkt



Bild 5.9 Örtliche Wasseransammlungen bei normal verpreßtem, ohne Druck verschlossenem Spannkanal

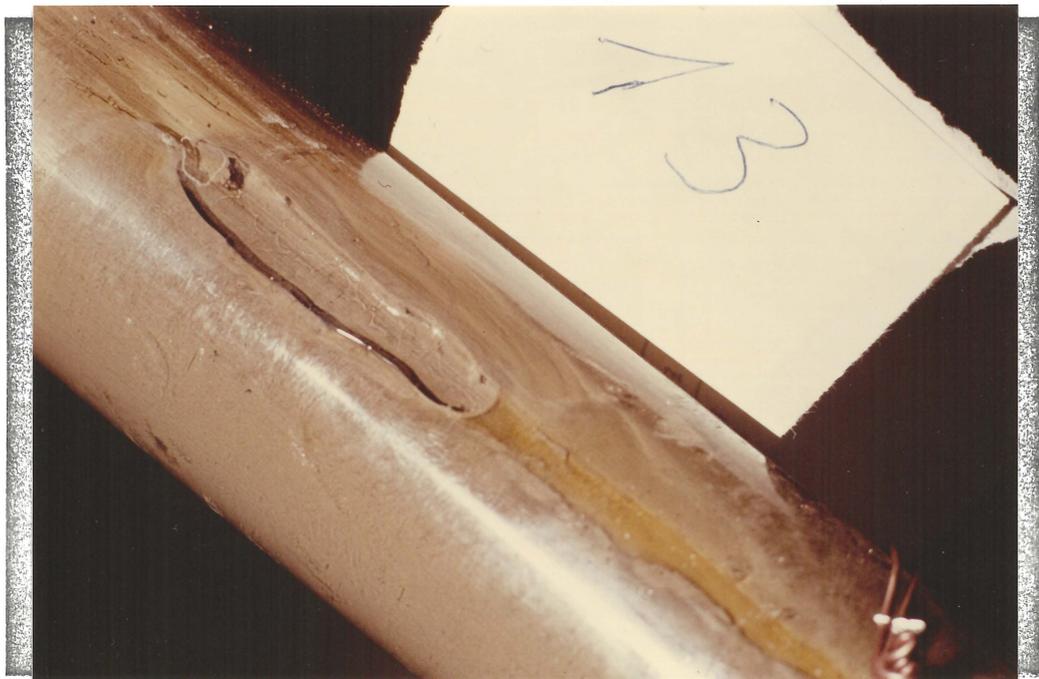


Bild 5.10 Nach oben wandernde Luftblase und Wasser bei normal verpreßtem, unter Druck verschlossenem Spannkanal



Bild 5.11 Prüfkörper

Tabelle 5.1: Restluft - Plexiglasrohr

Fortlaufende Nr. Prüfkörper Nr.*)		26	27	28	29	30
Prüfdatum		18.1.82	26.1.82	26.1.82	26.1.82	26.1.82
1. <u>Abmessungen</u>						
Spannglied	mm	1 Ø 32 schräg	1 Ø 32 horizont.	1 Ø 32 horizont.	1 Ø 32 schräg	1 Ø 32 schräg
Hüllrohr	Ø i mm	41	41	41	41	41
	l m	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Stahlrohr	Ø i mm	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
	l m	18,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Mörtelvol.						
Spannglied	dm ³ /m	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
	dm ³	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Stahlrohr	dm ³	23,40	15,5	15,5	15,5	15,5
Gesamt	dm ³	24,5	16,6	16,6	16,6	16,6
2. <u>Einpreßmörtel</u>						
Zement	Silozement Märker, Harburg PZ 45 F					
Einpreßhilfe	Tricosal 181, 1 %					
W/Z-Wert		0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Mischdauer	min	2	2	2	2	2
Mörteltemperatur	°C					
Tauchzeit:						
nach dem Mischen	sec	35	33,5			
nach 30 min	sec					
Hallentemperatur	°C	16	16	16	16	16
Raumänderung	%					
Druckfestigkeit:						
7 Tage	N/mm ²					
28 Tage	N/mm ²					
3. <u>Versuchsdurchführung</u>						
Vakuum	mbar	100	110	140	---	---
Verpreßdruck	bar	8,5	8,5	8	0	5

* In der Reihenfolge des Verpressens

Tabelle 5.1

Fortlaufende Nr.		31	32	33	34
Prüfkörper Nr.*)		15	16	17	18
Prüfdatum		26.1.82	27.1.82	27.1.82	27.1.82
<u>1. Abmessungen</u>					
Spannglied	mm	1 Ø 32 schräg	1 Ø 32 schräg	1 Ø 32 schräg	1 Ø 32 schräg
Hüllrohr Ø i	mm	41	41	41	41
1	m	2,0	2,0	2,0	2,0
Stahlrohr Ø i mm	mm	40,5	40,5	40,5	40,5
1	m	12,0	12,0	12,0	12,0
Mörtelvolumen	dm ³ /m	0,52	0,52	0,52	0,52
Spannglied	dm ³	1,03	1,03	1,03	1,03
Stahlrohr	dm ³	15,5	15,5	15,5	15,5
Gesamt	dm ³	16,6	16,6	16,6	16,6
<u>2. Einpreßmörtel</u>					
Zement		Harburg	Macflow	Harburg	Harburg
Einpreßhilfe		Tr 183,1%	-	D&W	Grünau, neu
W/Z-Wert		0,38	0,345	0,46	
Mischdauer	min	2			
Mörteltemperatur	°C				
Tauchzeit nach Mischen	sec	31	38		
nach 30 min	sec	57,5			
Hallentemperatur	°C	16	16	16	16
Raumänderung	%	+2,1	+0,2	-0,2	+1,6
Druckfestigkeit:					
7 Tage	N/mm ²				
28 Tage	N/mm ²		57,6	49,0	67,9
<u>3. Versuchsdurchführung</u>					
Vakuum		140	140	140	140
Verpreßdruck		8	8	8	8

* In der Reihenfolge des Verpressens

Tabelle 5.2 Restluft - Plexiglasrohr - Ergebnisse

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Spann- Bild- kanal, nr. leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
26	2	5.2-1 15 5.6 5.11	D	0 - E	<p>Breite Zungenbildung am Hochpunkt, kommt nach ca. 50 min. zur Ruhe. Nach ca. 7 min. nach Verpreßende erste mit Wasser gefüllte Setzrisse unter ca. 45° bei 130 cm. Nach ca. 60 min. (nach Verpreßende) von Zungenspitze ausgehend, Kanalbildung, endet bei ca. 90 cm in großer Blase. Nach weiteren 5 min. entsteht eine Verzweigung des Kanals. Sie verläuft dort, wo vorher der Mörtel heller und Feinteilbewegung sichtbar war. Nach insgesamt 1,5 Std. hat sich der Kanal bis zum Fußpunkt durchgearbeitet. Am Schieber tropfte in der ganzen Zeit gelbgrünes Wasser aus. Insgesamt 49 ccl. Die zu Beginn festgestellten Setzrisse waren verschwunden, es hatten sich während des gesamten Vorganges jedoch neue an anderen Stellen gebildet. Sie änderten sich in ihrer Größe und Lage.</p>

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 5.2

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
27	10	5.11		D	0 - E	Aufgrund von Restwasser im Stahlrohr war der Mörtel im vorderen Bereich stark verdünnt, Zunge beim Einpressen sehr schräg. Sofort nach Verschließen des Schiebers Kanalbildung von Mörtelfront ausgehend zum Schieber hin, nach ca. 15 min abgeschlossen. Schieber tropft.
28	11	5.2-1 5.5 5.11	11	D		Wiederholung von Nr. 27 Mörtelfront beim Einpressen nahezu senkrecht zur Stabachse; nach 10 min: Zungenspitze bei 44 cm, b = 16 mm, Front nicht ausgespiegelt; helle Färbung im Scheitel, Wanderung von Feinteilen zum Schieber hin; Zunge arbeitet sich weiter nach vorn, b = 1 cm. Am Schieber tropfen ca. 36 cm ³ Wasser aus.

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 5.2:

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
29	12	5.9 5.11	-	-	0 - E	Nullversuch, Rohr ein- seitig offen; nach dem Einpressen des Mörtels bis ca. 10 cm vor dem Hochpunkt mit Gummistöpsel ohne Druck verschlossen. Mörtelfront beim Fließen senkrecht zur Stabachse, dann Ausspiegelung Bildung von Wassersäcken auf der gesamten Länge, Wasser wurde beim Abbinden wieder aufgenommen. Sehr geringer Wasseraustritt am Schieber.
30	13	5.10	-	nahezu ganz durch- laufen- de Rille	0 - E	Nullversuch, Durchfließen des Mörtels, dann mit Kugelhahn bei 5 bar ver- schlossen. Wasser arbeitet sich von <u>unten nach oben</u> durch; etwa in der Mitte des Rohres Bildung einer 5 cm langen Luftblase, wandert nach oben, Was- ser fließt hinterher. Bildung einer Scheitel- rille, nicht scharfkan- tig, endet ca. 15 cm von oben in Luftblase, nach ca. 2,5 Std.: Rille mit grünem Wasser gefüllt.

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 5.2:

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
31	15	5.2-1 5.11	38	D	0 - E	<p>Zunge wandert nach unten, weiße Scheitelfärbung, im Scheitel Feinteilewanderung nach unten. Nach ca. 1 Std.: Zungenbewegung stoppt, von Spitze ausgehend Kanalbildung.</p> <p>Schieber tropft: zu Beginn ca. 1 Tropfen/3 sec, nach 45 min. ca. 1 Tropfen/6 sec.</p> <p>Wasser läuft am Kanalrand schneller als in der Mitte, Luftblasen werden nach unten transportiert.</p> <p>Am 27.1.81 festgestellt: Am Fußpunkt ca. 5 cm langer, unter 45° zur Stabachse geneigter Riß, b = 1 mm, Kanal an einem Rand aufgerissen. Insgesamt 59 cm² Wasser ausgetropft.</p>

- *) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 5.2:

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
32	16	5.2-2	39	-	0 - E	Nachsacken der Mörtel- front nach Ausspiegelung um insgesamt 3 cm, in Zickzackform in oberer Hüllrohrhälfte; Optisch bester Eindruck aller untersuchten Mör- tel, vereinzelt nur feine Längsrisse. Ganz geringfügiger Aus- tritt von Wasser am Fußpunkt.
33	17	5.2-2 5.11	25	D	0 - E	Mörtelzunge bis ca. 27 cm, verändert sich in ihrer Breite bis ca. 4 Std. nach Verpreßende, dann Entstehung eines klaf- fenden Risses von der Spitze ausgehend. Nach ca. 3 Std.: Fein- teiletransport im Schei- tel, 45° -Riß bei ca. 1 m. Schieber tropft noch nach 4,5 Std.

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Tabelle 5.2:

Nr.	Prüf- körper- nummer	zugeh. Bild- nr.	Spann- kanal, leer*) cm	Kanal- bil- dung	Spannkanal- bereich *) von...bis cm	Bemerkungen
34	18	5.2-2	12	D	0 - E	Mörtelfront fließt aus- gespiegelt, breite Mör- telzunge wandert nach unten, Feinteiletrans- port im Scheitel auf gesamter Rohrlänge. Kanalbildung von Mörtel- zunge aus nach ca. 1,75 Std. erst fein, dann in Ab- hängigkeit von der Zeit immer breiter werdend.

*) Am Spannkanalende in Spanngliedachse gemessen
D: durchlaufend über die gesamte Spanngliedlänge
T: nur auf einer Teillänge
E: Spannkanalende am Schieber

Zusammenfassung und Folgerungen aus den Versuchsergebnissen

1. Einfluß von Engstellen aus den Verpreßergebnissen

Bei Verengungen des Durchflußquerschnittes im Hüllrohr, die vorwärtsfließend vom Einpreßmörtel passiert werden müssen, konnten aus den simulierten Versuchen keine Vorteile des Vakuumverfahrens gegenüber dem herkömmlichen Verfahren festgestellt werden. Bei beiden Verfahren wirkt die Verengung ab einem bestimmten Querschnitt als Filter, der zu Verstopfungen führt. Verbesserungen sind hier nur durch Erhöhung der Fließfähigkeit und evtl. auch durch Vermeidung des Entmischens des Einpreßmörtels zu erwarten.

2. Luftmessung mit Hilfe des Volumeß-Gerätes zur Ermittlung der Lage von Engstellen

Die Versuche ergaben u. a. wegen der zahlreichen Parameter bis jetzt nur die Möglichkeit einer groben Abschätzung der Lage der Engstelle im Spannkanaal. Vom Hersteller des Vacufill-Gerätes, der Fa. Steinhauer, Halver, und der Vakuum-Verfahrenstechnik Fa. Pfeifer werden derzeit Verbesserungen der Meßtechnik des Gerätes erprobt, mit denen eine bessere Abgrenzung der Aussagefähigkeit der Messungen in Abhängigkeit vom Einzelfall erreicht werden soll.

3. Einfluß von Restwasser im Spannkanaal auf die Verfüllung unter Vakuum

Die Versuche brachten eine Bestätigung der bereits bekannten Erscheinung, daß Wasser in Spanngliedtiefpunkten in den Einpreßmörtel nicht oder nur sehr schlecht eingemischt werden kann, wobei dann eine Qualitätsminderung des Mörtels eintritt (schmierige Übergangszone ohne Festigkeit). Es ist also von vornherein anzustreben, daß kein Wasser in die Hüllrohre gelangt, oder nachträglich entfernt wird.

4. Einfluß von Restluft im Spannkanal

Am Spanngliedende waren alle unter Vakuum verfüllten Spannkanäle nicht ganz verfüllt, der nicht verfüllte Bereich an den Spanngliedenden hatte eine Länge von 3 bis 20 cm, im Mittel etwa 7 cm. Berücksichtigt man, daß die durch Vakuum aus den Probekörpern zu entfernende Luftmenge einer Spanngliedlänge von bis zu 45 m entsprach, so kann man bei kleineren unter Vakuum zu verfüllenden Spanngliedabschnitten davon ausgehen, daß der nicht verfüllte Bereich wesentlich kleiner wird oder gar nicht auftritt.

Weiterhin wurde festgestellt, daß bei nahezu allen Spannkanälen, die mit herkömmlichem Einpreßmörtel verfüllt werden, sich längs der Spanngliedachse ein mehr oder weniger stark ausgeprägter "Kanal" gebildet hatte. Lediglich bei einem speziell zusammengesetzten Einpreßmörtel, der aufgrund seines niedrigen Wasserzementwertes kein nennenswertes Bluten oder Sedimentieren aufwies, trat der Kanal nicht auf.

Hieraus kann geschlossen werden, daß für das Einpressen in lange Spanngliedabschnitte unter Vakuum an den Einpreßmörtel über DIN 4227 Teil 5 hinausgehende Anforderungen hinsichtlich Bluten (Wasserabsondern) und Sedimentation angemessen wären.