



Forschungsbericht für das Umweltbundesamt
FuE-Vorhaben: FKZ 102 03 438

Experimentelle Untersuchung zur Ölräumung und Absperrung mit mechanischen Mitteln bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten

Abschlußbericht

Teil 1: Ergänzende Messungen 1999
Teil 2: Auswertung (Kapitel 7)
Teil 3: Fotodokumentation (Kapitel 8)
Teil 4: Zusammenfassender Bericht der Untersuchungen 1995 bis 1998

Hochschule Bremen
Fachbereich Schiffbau, Meerestechnik und
Angewandte Naturwissenschaften
Labor für Schiffshydronechanik und Meerestechnik

Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Sigismund Kastner
Wilfried Dubielczyk, Dipl.-Ing. Andree Salm

Im Auftrag des Umweltbundesamtes
Dezember 1999

UBA - Berichtskennblatt

1. Berichtsnummer	2.	3. Hydrodynamik
4. Titel des Berichts: Experimentelle Untersuchung zur Ölräumung und Absperrung mit mechanischen Mitteln bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Kastner, Sigismund; Dubielczyk, Wilfried; Salm, Andree		8. Abschlußdatum Dezember 1999
		9. Veröffentlichungsdatum Dezember 2000
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) GAUSS mbH Werderstr. 73 28199 Bremen Hochschule Bremen Neustadtswall 30 28199 Bremen		10. UFOPlan-Nr. 102 03 438
		11. Seitenzahlen 300
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1 14191 Berlin		12. Literaturangaben 44
		13. Tabellen 150
		14. Abbildungen 70
15. Zusätzliche Angaben: der komplette Bericht besteht aus vier Teilen		
<p>Kurzfassung In den Jahren 1995 bis 1998 wurden experimentelle Untersuchungen im Labor für Schiffshydronechanik an der Hochschule Bremen zur Entwicklung von Ölsperren auf Gewässeroberflächen durch das UBA gefördert. Dabei stand die Funktionsfähigkeit von Ölsperren (oil booms) auch bei größerer Strömungsgeschwindigkeit von über 0,7 kn im Vordergrund.</p> <p>Nach längerer Diskussion des Abschlussberichtes (Kastner, Juli 1998) wurde seitens des UBA vorgeschlagen, die Untersuchungen um Messreihen mit einer Konfiguration aus Anordnungen senkrechter von der Oberfläche in das Wasser eintauchenden Stäben zu ergänzen. Als Arbeitstitel für diese Stabkonfigurationen verschiedener Anordnungen und Abstände wurde der Begriff „Stabmatrix“ geprägt (Brenk, Februar 1999).</p> <p>Ziel der Untersuchungen an der Stabmatrix ist es, die Geschwindigkeit der Zweikomponentenströmung an der Wasseroberfläche beim Durchströmen der Stabmatrix über eine längere Laufstrecke kontinuierlich so zu vermindern, dass ein Unterströmen der Sperre vermieden wird. Grundsätzlicher Gedanke ist es, die Sperr- und Haltefähigkeit für Öllachen an der Wasseroberfläche über die Durchströmung durch einen Sperrkörper zu verbessern, im Gegensatz zu einem rein massiven undurchlässigen Sperrkörper. Mit diesem Ansatz einer „durchströmbaren Sperre“ sind größere Einflussmöglichkeiten gegeben und damit bessere Lösungen zu erwarten.</p> <p>Der wesentliche Vorteil einer Stabmatrixanordnung im Gegensatz zur Durchströmung von Matten oder mehr unregelmäßig verteilten Bremskörpern in einer durchströmten „Volumensperre“ kann in der klaren Übersichtlichkeit der Versuchparameter und der besseren Detailerfassung des Strömungsgeschehens um eine Anordnung vertikaler Rundstäbe mit theoretischen Hilfsmitteln gesehen werden. Insofern kommt den Messungen mit der „Stabmatrix“ grundsätzliche Bedeutung zu.</p> <p>Zur Kenntlichmachung der Strömung wurde als Tracer Kaliumpermanganat verwendet. Für einige Durchströmungsversuche wurde zum Abschluss der Untersuchungen auch mit Weißöl gefahren.</p> <p>Gemessen wurden in einem Messbereich von null bis 1,1 m/s (2,1 kn) Anströmung der Stabmatrix folgende Größen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultierende Strömungskraft • Verlauf der Strömungsminderung in Längsrichtung (Strömungsrichtung) • Längsprofil des Wasserspiegels (Erhöhung und Absenkung). <p>Die Messungen wurden ergänzt um eine ausführliche Foto- und Video- Dokumentation.</p>		
17. Schlagwörter: Ölsperre, maritimer Umweltschutz, Zweiphasenströmung Wasser-Öl, Ölunfall, Sperre als Stabmatrix, durchströmbare Volumensperre, Sperrmatte		
18.	19.	20.

Ölsperre für schnellfließende Gewässer: Ergänzende Messungen April bis Dezember 1999

Gliederung

- 1 Zielsetzung
- 2 Ergebnisse
- 3 Versuchsparameter
- 4 Messaufbau und Konstruktion
- 5 Skizzen der Messkonfigurationen
- 6 Messdaten
- 7 Auswertung (getrennt gebunden)
- 8 Foto - Dokumentation (getrennt gebunden)
- 9 Video - Dokumentation
- 10 Schrifttum

1 Zielsetzung

In den Jahren 1995 bis 1998 wurden experimentelle Untersuchungen im Labor für Schiffshydronechanik an der Hochschule Bremen zur Entwicklung von Ölsperren auf Gewässeroberflächen durch das UBA gefördert. Dabei stand die Funktionsfähigkeit von Ölsperren (oil booms) auch bei größerer Strömungsgeschwindigkeit von über 0,7 kn im Vordergrund.

Nach längerer Diskussion des Abschlussberichtes (Kastner, Juli 1998) wurde seitens des UBA vorgeschlagen, die Untersuchungen um Messreihen mit einer Konfiguration aus Anordnungen senkrechter von der Oberfläche in das Wasser eintauchenden Stäben zu ergänzen. Als Arbeitstitel für diese Stabkonfigurationen verschiedener Anordnungen und Abstände wurde der Begriff „Stabmatrix“ geprägt (Brenk, Februar 1999).

Ziel der Untersuchungen an der Stabmatrix ist es, die Geschwindigkeit der Zweikomponentenströmung an der Wasseroberfläche beim Durchströmen der Stabmatrix über eine längere Laufstrecke kontinuierlich so zu vermindern, dass ein Unterströmen der Sperre vermieden wird. Grundsätzlicher Gedanke ist es, die Sperr- und Haltefähigkeit für Öllachen an der Wasseroberfläche über die Durchströmung durch einen Sperrkörper zu verbessern, im Gegensatz zu einem rein massiven undurchlässigen Sperrkörper. Mit diesem Ansatz einer „durchströmbaren Sperre“ sind größere Einflussmöglichkeiten gegeben und damit bessere Lösungen zu erwarten.

Der wesentliche Vorteil einer Stabmatrixanordnung im Gegensatz zur Durchströmung von Matten oder mehr unregelmäßig verteilten Bremskörpern in einer durchströmten „Volumensperre“ kann in der klaren Übersichtlichkeit der Versuchsparameter und der besseren Detailerfassung des Strömungsgeschehens um eine Anordnung vertikaler Rundstäbe mit theoretischen Hilfsmitteln gesehen werden. Insofern kommt den Messungen mit der „Stabmatrix“ grundsätzliche Bedeutung zu.

Zur Kenntlichmachung der Strömung wurde als Tracer Kaliumpermanganat verwendet. Für einige Durchströmungsversuche wurde zum Abschluss der Untersuchungen auch mit Weißöl gefahren.

Gemessen wurden in einem Messbereich von null bis 1,1 m/s (2,1 kn) Anströmung der Stabmatrix folgende Größen:

- Resultierende Strömungskraft
- Verlauf der Strömungsminderung in Längsrichtung (Strömungsrichtung)
- Längsprofil des Wasserspiegels (Erhöhung und Absenkung).

Die Messungen wurden ergänzt um eine ausführliche Foto- und Video- Dokumentation.

2 Ergebnisse

- Die Messungen an Konfigurationen der Stabmatrix haben gezeigt, dass eine Beeinflussung der Zweikomponentenströmung Wasser - Öl an der Wasseroberfläche im gewünschten Sinne durchaus zu beobachten ist.
- Bei engerer Teilung wird naturgemäss der Durchfluss stärker behindert, und eine Ablenkung der Strömung nach unten unter der Sperre vorbei ist noch zu beobachten, wenn auch in geringerem Maße als bei einer undurchlässigen Sperrwand.
- Die Länge des Blocks wurde variiert, in den Stufen L10 (165 mm), L15 (247,5 mm), L20 (330 mm) und L25 (412,5 mm). Während der durchgeführten Versuchsreihen zeigte es sich, dass die durchströmte Länge noch wesentlich erhöht werden muss, bei entsprechend weiterer Teilung (Abstände der Stäbe in Längs - und Querrichtung), um eine hinreichende Verzögerung der Strömung ohne lokalen Aufstau zu erzielen.
- Die Messbreite des Matrixblockes (quer zur Anströmung) betrug 700 mm, damit füllte der Messblock die Tankbreite von 1,40 m zur Hälfte aus. Die Strömungsbilder zeigten eindeutig die Zulässigkeit dieses Versuchsaufbaus, da über eine große Breite des Blockes eine vom Rand unbeeinflusste Durchströmung eindeutig zu erkennen war. Aus Gründen der Minimierung des Aufwandes und der Reduktion des Gesamtgewichtes des Matrixblockes im Messaufbau (er ist an drei Gelenkstäben aufgehängt) erscheint daher künftig eine Messbreite von 500 mm ausreichend.
- Die Anordnung der Stäbe wurde grundsätzlich unterschieden in
 - V versetzte Stabreihen (beim Blick in Strömungsrichtung)
 - F fluchtende Stabreihen.
- Ergänzend wurden drei Matrixblöcke mit verschiedener Stabdichte in Strömungsrichtung hintereinander angeordnet, beginnend mit weitester Teilung, Dies kommt einer möglichen Weiterentwicklung des untersuchten Stabmatrixsystems am nächsten.
- Eine zum Abschluss der Messreihe noch untersuchte Anordnung einer vertikalen Wand hinter dieser Dichtenkombination der Stabmatrix zeigte jedoch, dass zwar die Strömung am Austritt des Matrixblockes reduziert war, das Weißöl jedoch wieder unter der abschließenden vertikalen Wand hindurchtreten konnte.
- Der entwickelte Meßaufbau im Strömungstank hat sich bewährt. Die Problemlösung bis zur Umsetzung in einen konstruktiven Ansatz ist allerdings noch nicht erreicht. Insofern stehen der Versuchsaufbau für Messungen an weiteren sinnvoll erscheinenden Konfigurationen zur Verfügung.

- Die praktische Entwicklungsrichtung wird es vermutlich sein, eine längere Messstrecke aus einer Kombination von Beeinflussungskomponenten der durchströmten Anordnung aufzubauen. Auch weitere andersartige Komponenten der Strömungsbeeinflussung sind denkbar, wie etwa horizontale Trennflügel oder andere Ansätze allein oder in Kombination. Der jeweilige Einfluss oder die Wirkung einzelner oder mehrerer Komponenten im Verbund kann auf die Wasser - Öl - Strömung mit dem vorhandenen Messaufbau gut untersucht werden.
- Man wird sich möglicherweise davon lösen müssen, eine sog. Totalsperre mit abschließender vertikaler Wand anzustreben. So ist es denkbar, eine Volumensperre mit 80 % Haltefähigkeit bei erhöhter Anströmung und unter Seegangseinfluss als gut und ausreichend anzusehen.
- Man kann auch völlig andere Haltekonzepte als erstrebenswert ansehen, so lange sie das gewünschte Ziel erreichen, nämlich Öl einzudämmen. So könnte man an ein Aufsaugen des Öls auf dem Weg durch die Volumensperre denken. Dieses Prinzip bedeutet jedoch in der Folge, dass in gewissen zeitlichen Abständen die Sperreinheit ausgepresst oder ausgesaugt werden muss, um eine länger dauernde Funktion auch bei Sättigung zu erreichen. Es liegt nahe, einen solchen Sperrenkomplex nicht unbedingt aus starrem Material herzustellen, sondern flexibel, mit einer gewissen Haltestruktur.
- Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass das Problem der Öleindämmung auf Wasseroberflächen unter großer Strömungsbelastung durchaus weder theoretisch noch experimentell befriedigend gelöst ist.
- Zusammenfassend kann jedoch festgestellt werden, dass durch die Strömungsversuche mit Parametervariationen der Stabmatrix ein umfangreiches Messmaterial vorliegt, das für weiterführende theoretische Ansätze und auch Entwicklung erfolversprechender Sperrenkonfigurationen als Referenz dienen kann.
- Insbesondere hat sich gezeigt, dass der gewählte experimentelle Ansatz und der zugehörige Versuchsaufbau aussagefähig ist und eine experimentelle Überprüfung zur Verifizierung theoretischer und/oder heuristischer Ansätze und Überlegungen für dieses komplizierte Strömungsgeschehen von zwei Phasen an der Grenzfläche Wasser - Luft unabdingbar ist.

3 Versuchsparemeter

Die Versuchsparemeter wurden gemäß den Vorschlägen des UBA (Brenk, Februar 1999) in Zusammenarbeit mit Dipl. - Ing. Öbius, VWS/TU Berlin, abgestimmt und festgelegt.

Dabei wurden die vertikalen Stäbe in jeweils Längs - und Querrichtung bezogen auf die Strömung in den Abständen variiert. Die sich ergebende Versuchssystematik ist in folgenden beiden Tabellen enthalten, und zwar im Prinzip gleich für

V die versetzte Anordnung

F die fluchtende Anordnung.

Die Eintauchtiefe der Stabmatrix betrug einheitlich 100 mm.

Der Stabdurchmesser wurde zu 5,5 mm gewählt, resultierend aus der Dicke der verwendeten Stahlnägel, die in der erforderlichen Länge am Markt zu erhalten waren.

Die lichten Abstände der Stäbe in Längs - und Querrichtung wurden als Vielfaches des Durchmessers d gewählt, um eine übersichtliche dimensionslose Darstellung zu erreichen.

Die dimensionslosen lichten Abstände ergaben sich dann in den Größen längs sl/d und quer sq/d von 2, von 5 und von 8.

Die resultierende unterschiedliche Belegungsdichte der horizontal gesehenen Matrixfläche wurde als Anzahl der Stäbe pro m^2 zur schnellen Orientierung in die Tabelle aufgenommen. Die mittlere Anzahl der Stäbe pro Quadratmeter betrug für die Messvarianten 700, 1000, 1300, 2000, 4000.

Die Länge der Stabmatrix wurde in 4 Stufen variiert, und zwar durch Zusammensetzen von zwei Grundeinheiten für die Steckplatte, je für versetzte (V) und für fluchtende (F) Stabanordnung. Die Grundeinheiten wurden nach der maximalen möglichen Reihenzahl gleich der Lochzahl in Längsrichtung benannt, und zwar:

L5 5 Lochreihen mit Länge der Halteplatte $l_{Nr} = 82,5$ mm

L10 10 Lochreihen mit Länge der Halteplatte $l_{Nr} = 165$ mm

dabei gilt als sog. Blocklänge l_{Nr} die Länge der Halteplatte (Lochplatte). Sie ermittelt sich aus dem maximalen Abstand Mitte Stab zu Mitte Stab in Längsrichtung, vermehrt um den 3-fachen Stabdurchmesser:

$$l_{Nr} = L1 + L2 + L3 \quad \text{als Plattenmaß}$$

mit $L_i = L(\text{Mitte bis Mitte}) + 3d$

Die 4 untersuchten Blocklängen der Stabmatrix ergeben sich dann wie folgt:

L10	L10	165 mm
L15	L5 + L10	247,5 mm
L20	L10 + L10	330 mm
L25	L5 + L10 + L10	412,5 mm

Tatsächlich war es nicht erforderlich, alle in der Tabelle angegebenen Parametervariationen durchzumessen, da sich sehr schnell ein klarer Einblick in das Durchströmungsverhalten ergab. So wurde mit dem dichtest belegten Block V1111 bei versetzter Anordnung begonnen.

Alle 4 möglichen Längenvariationen wurden nur einmal gefahren, und zwar für die Stabanordnung V1144. Das Kürzel V1144 bedeutet engste Teilung 11mm längs (=2d) und weiteste Teilung quer mit 44 mm (=8d). Im weiteren wurden nur noch L15 (mittlere Länge) und L25 (größte gefahrene Länge) als kennzeichnend in der Länge des Matrixblocks variiert.

Zur Erfassung des Geschwindigkeitsprofils in Längsrichtung in der Sperrenmitte wurde der Block an zwei Stellen aufgeschnitten und auseinandergezogen, um die Strömungssonde rein räumlich unterbringen zu können. Vergleiche von Messung der Strömung direkt hinter dem Block und auch die Beobachtung zeigten, dass der jeweils schmale Spalt in Längsrichtung von 90 mm den Strömungsverlauf im Längsprofil nicht signifikant veränderte. In der Auswertung wurde daher zusätzlich das Profil der Geschwindigkeit über der Lauflänge wieder auf den Block ohne Zwischenraum zusammengefügt dargestellt.

Versetzte Anordnung

Bezugsmaß Durchmesser Stab $d=5,5\text{mm}$
 Breite des Matrixmodells $b=700\text{mm}$

Nr. V	Anordnung	s_1 mm	s_1/d	s_b mm	s_b/d	N_B	N_L	$N_B \cdot N_L$	$l_1+l_2+l_3$ mm	$\frac{N_B \cdot N_L}{b(l_1+l_2+l_3)}$ mittlere Anzahl Stäbe pro m ²	Messdatum
1	V1144L10	11	2	44	8	14	10	140	165	1300	15. 11. 99
2	V1144L15						15	210	247,5		15. 11. 99
3	V1144L20						20	280	330		15. 11. 99
4	V1144L25						25	350	412,5		11. 11. 99
5	V1127L10	11	2	27,5	5	21	10	210	165	2000	18. 11. 99
6	V1127L15						15	315	247,5		
7	V1127L20						20	420	330		
8	V1127L25						25	525	412,5		
9	V1111L10	11	2	11	2	42	10	420	165	4000	9. 11. 99 + 10. 11. 99
10	V1111L15						15	630	247,5		
11	V1111L20						20	840	330		
12	V1111L25						25	1050	412,5		
13	V2744L10	27,5	5	44	8	14	5	70	165	700	Mit V- und F-Platte nicht steckbar
14	V2744L15						8	112	247,5		
15	V2744L20						10	140	330		
16	V2744L25						13	182	412,5		
17	V2727L10	27,5	5	27,5	5	21	5	105	165	1000	19. 11. 99
18	V2727L15						8	168	247,5		
19	V2727L20						10	210	330		
20	V2727L25						13	273	412,5		
21	V2711L10	27,5	5	11	2	42	5	210	165	2100	
22	V2711L15						8	336	247,5		
23	V2711L20						10	420	330		
24	V2711L25						13	546	412,5		
25	V4444L10	44	8	44	8	14	3	56	165	700	22. 11. 99
26	V4444L15						5	70	247,5		
27	V4444L20						7	98	330		
28	V4444L25						9	126	412,5		
29	V13V17V9/2	Stabmatrix					14	385	412,5	1900	23+24+25. 11. 99
29W	V13V17V9/2	Stabmatrix mit Öl									02. 12. 99
29WS	V13V17V9/2	Stabmatrix mit Öl + Sperrwand									09. 12. 99
30WS	Sperrwand ohne Stabmatrix										10. 12. 99

Schlüssel für Bezeichnung der Anordnung:

V1144L15



Anzahl Querreihen N_L (hier: 15)
 s_b [mm] (hier: 44)
 s_1 [mm] (hier: 11)
 (F) fluchtend oder (V) versetzt

Fluchtende Anordnung

Bezugsmaß Durchmesser Stab $d=5,5\text{mm}$
 Breite des Matrixmodells $b=700\text{mm}$

Nr. F	Anordnung	s_1 [mm]	s_1/d	s_b [mm]	s_b/d	N_B	N_L	$N_B \cdot N_L$	$l_1 + l_2 + l_3$ [mm]	$\frac{N_B \cdot N_L}{b(l_1 + l_2 + l_3)}$ mittlere Anzahl Stäbe pro m^2	Messdatum	
1	F1144L10	11	2	44	8	14	10	140	165	1300		
2	F1144L15						15	210	247,5			
3	F1144L20						20	280	330			
4	F1144L25						25	350	412,5			
5	F1127L10	11	2	27,5	5	21	10	210	165	2000		
6	F1127L15						15	315	247,5			
7	F1127L20						20	420	330			
8	F1127L25						25	525	412,5			01. 12. 99
9	F1111L10	11	2	11	2	42	10	420	165	4000		
10	F1111L15						15	630	247,5			
11	F1111L20						20	840	330			
12	F1111L25						25	1050	412,5			
13	F2744L10	27,5	5	44	8	14	5	70	165	700		
14	F2744L15						8	112	247,5			
15	F2744L20						10	140	330			
16	F2744L25						13	182	412,5			
17	F2727L10	27,5	5	27,5	5	21	5	105	165	1000		
18	F2727L15						8	168	247,5			23. 11. 99
19	F2727L20						10	210	330			
20	F2727L25						13	273	412,5			23. 11. 99
21	F2711L10	27,5	5	11	2	42	5	210	165	2100		
22	F2711L15						8	336	247,5			
23	F2711L20						10	420	330			
24	F2711L25						13	546	412,5			
25	F4444L10	44	8	44	8	14	4	56	165	700		
26	F4444L15						5	70	247,5			23. 11. 99
27	F4444L20						7	98	330			
28	F4444L25						9	126	412,5			23. 11. 99

Schlüssel für Bezeichnung der Anordnung:

F1144L15



Anzahl Querreihen N_L (hier: 15)

s_b [mm] (hier: 44)

s_1 [mm] (hier: 11)

(F) fluchtend oder (V) versetzt

4 Messaufbau und Konstruktion

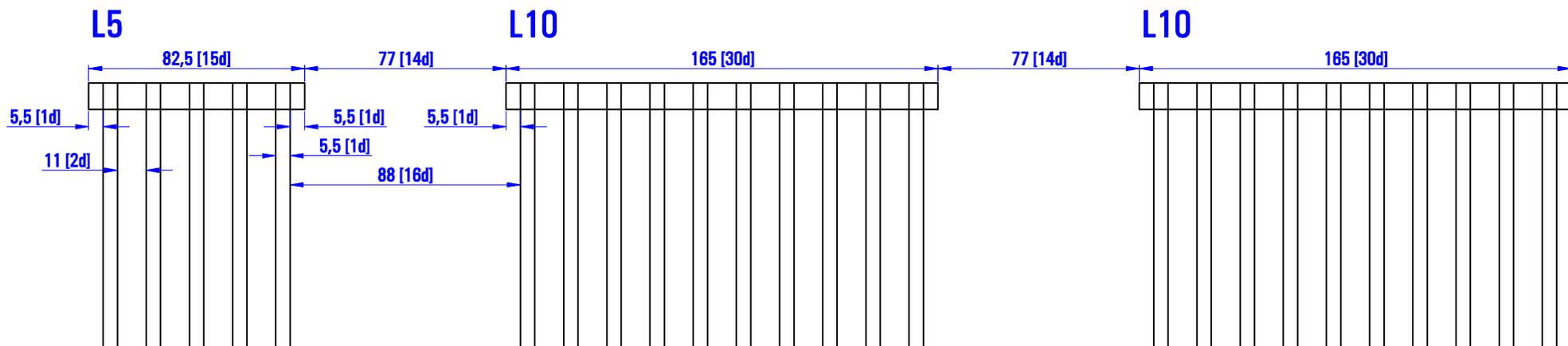
Eine am Labor vorhandenen Messeinrichtung zum Messung von Strömungskräften auf Modelle von Schiffsrudern wurde auf die hier erforderliche Anwendung umgebaut. Die Stabmatrix wurde horizontal an drei Gelenkstäben aufgehängt und tauchte 100 mm tief unter den Wasserspiegel im Ruhezustand ein.

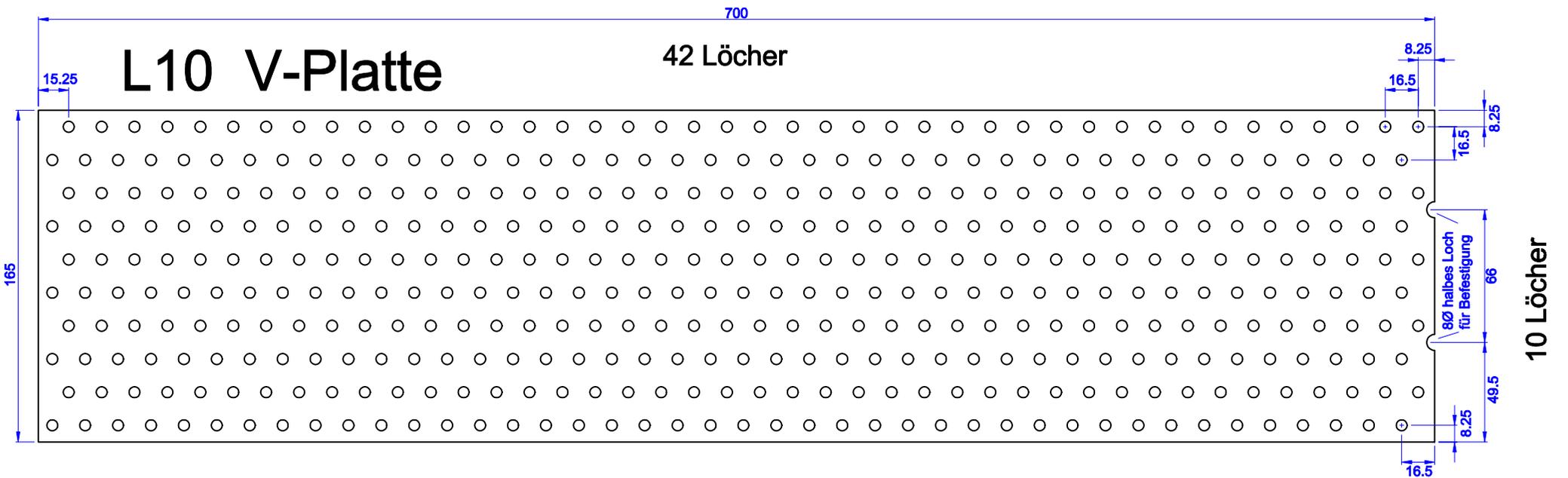
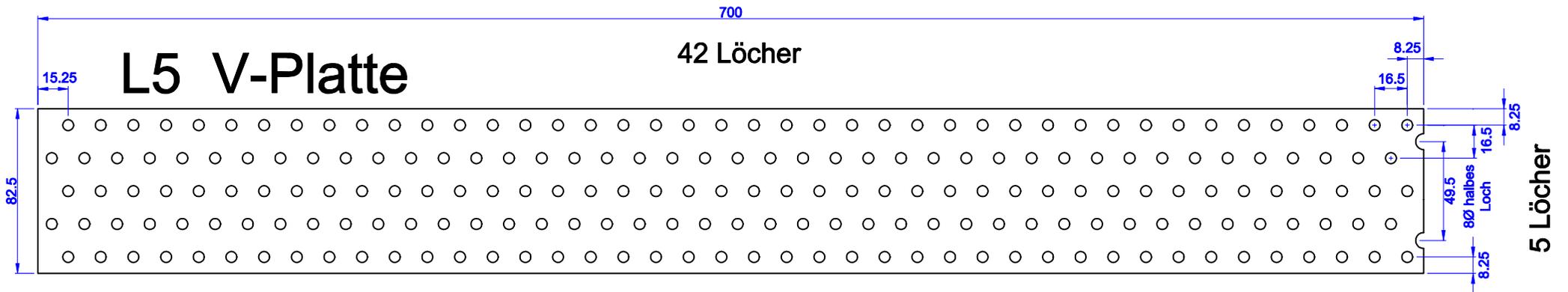
Für die Befestigung der vertikalen Stäbe in unterschiedlicher Anordnung je nach der Messtabelle (Kapitel 3) wurden 2 Grundplatten mit Lochteilung konstruiert und computergesteuert gefertigt, um ausreichende Genauigkeit zu erzielen, und zwar einmal mit versetzter und einmal mit fluchtender Anordnung. Durch jeweiliges Umstecken konnten mit beiden Plattentypen V und F alle Kombinationen der Planung abgedeckt werden (außer Versuch Nr.13,14,15,16).

Maßzeichnung zur Fertigung der V - und der F - Platte wie folgt.

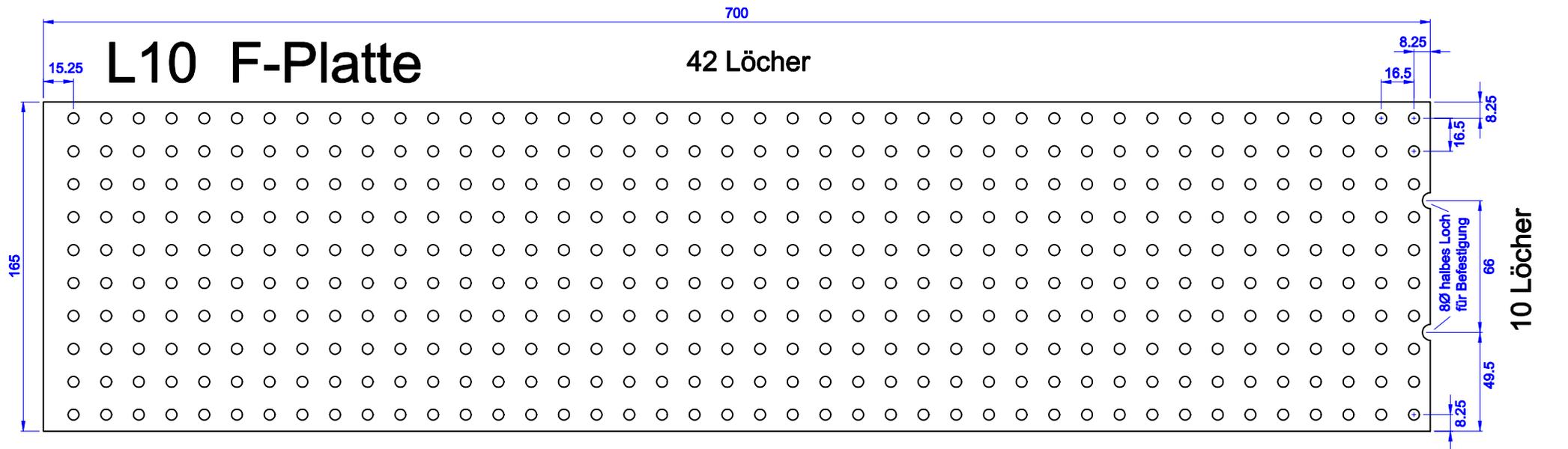
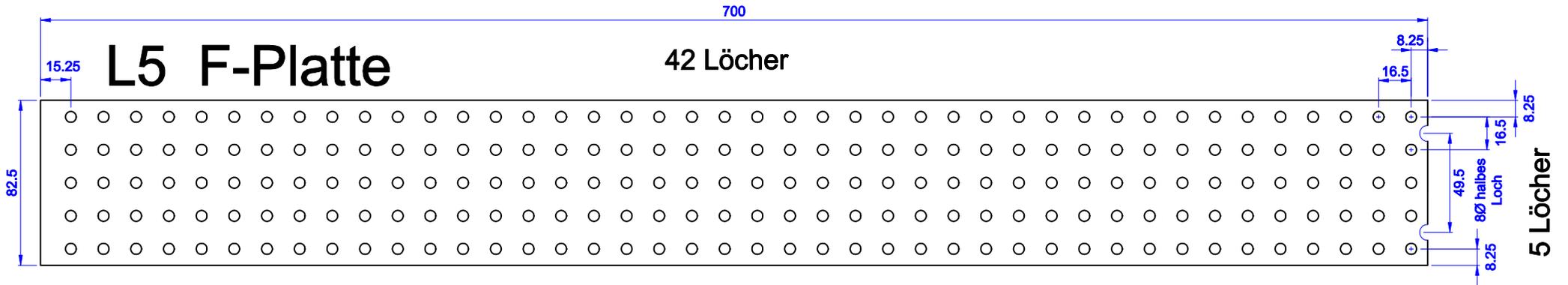
Schema Längsschnitt Stabmatrix

Beispiel: $L25 = L5 + L10 + L10$
mit Zwischenraum 1 und 2 für Strömungssonde





Bohrung und Senkung siehe Nagel



5 Skizzen der Messkonfigurationen

Zur klaren Einsicht bei der Herstellung der jeweilig untersuchten Steckvariante der Stabmatrix wurde für jeden gefahrenen Versuch vor Beginn eine Stabanordnung gezeichnet, siehe die folgenden Zeichnungen. Dies hat sich als sehr praktisch zum Einhalten einer Versuchsübersicht erwiesen.

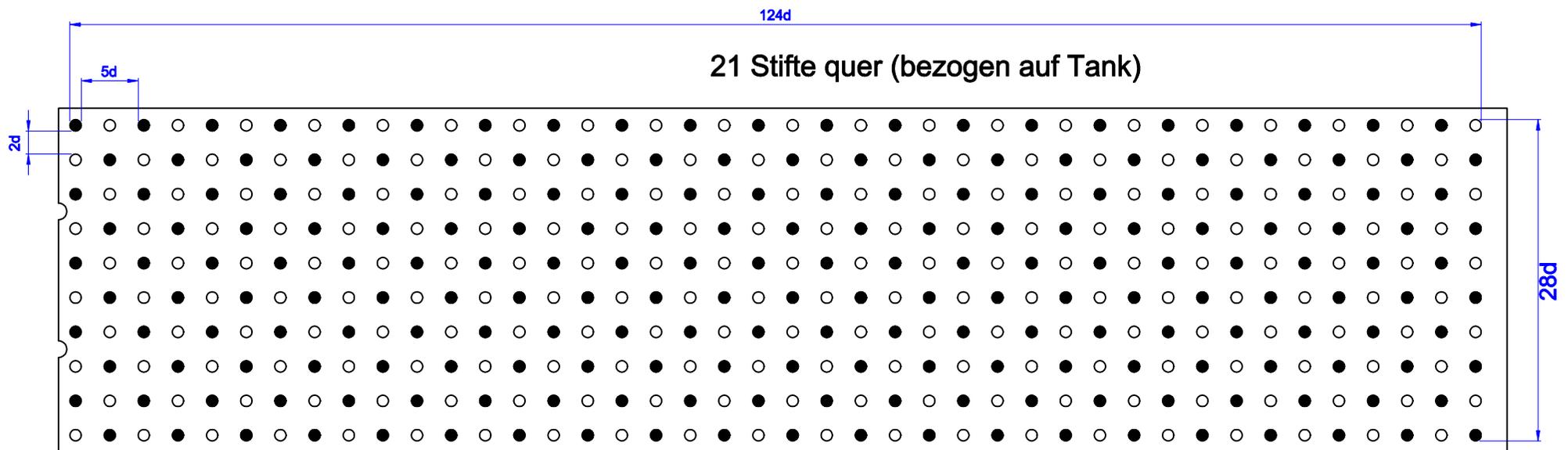
Es sind hier nur zwei Beispiele der Maßzeichnung der Lochanordnung für zu steckende Stäbe gebracht, für die versetzte (V) und die fluchtende (F) Anordnung. Im übrigen ist je eine Skizze des Steckschemas der Versuchsauswertung in Kapitel 7 vorangestellt.

Nicht ausgefüllter Kreis: Lochbohrung in der Grundplatte

Kreis ausgefüllt: gesteckter Stab

V5/V6/V7/V8 F-Platte

Hier nur gezeigt: L10 (V5)



6 Messdaten

Für die Versuchsdurchführung selbst wurde ein Messprotokoll geführt, und zwar für

- Messung von Strömung und Strömungskraft
- Messung des Längsprofils des Wasserspiegels

Alle Messdaten zu Strömungskraft und Strömungsgeschwindigkeit wurden über 60 sec als Zeitreihe gespeichert, und zwar wurde für jeden Versuch ein Unterverzeichnis angelegt. Versuchswiederholungen waren erforderlich, da nur eine Messsonde für die Geschwindigkeit zur Verfügung stand. Der jeweilig berechnete Mittelwert wurde sofort nach dem Versuch in das Protokollblatt eingetragen.

Der jeweils gewählte Dateiname erfasst in Kurzform die Position der Strömungssonde, Beispiel:

0U130

- 0 vor der Stabmatrix
- 1, 2 im jeweiligen ersten, zweiten, dritten Zwischenraum
- 3 hinter der Stabmatrix, wenn sie Zwischenräume enthält
- 4 hinter der Stabmatrix, wenn sie im Block gefahren wird (ohne Zwischenräume).

Diese Kennung wurde auch für die excel - Auswertung beibehalten, so dass sofort eine Aussage über die Position der Strömungssonde gegeben ist.

Nach dieser ersten Kennziffer für die Position enthält der Dateiname die eingestellte Regelspannung als Kennzeichen für die ungestörte Anströmung, im obigen Beispiel U = 130 Volt.

Beispiele der 4 Protokollblätter sind hier angefügt.

Für die Versuche mit Öl wurde ein U - Profil als Einfüllrinne in verwendet, die dicht über der Wasseroberfläche gleichmäßig ausgekippt wurde.

Als Öl wurde ein sog. Weißöl verwendet, mit einer Viskosität von 235 cSt bei 20 Grad C, siehe das Datenblatt anbei. Es musste zur Kenntlichmachung mit Farbpigmenten angerührt werden.

PARAWHITE W-00

-Paraffinum liquidum-

Weißöl mit hohem Reinheitsgrad, geruchlos, geschmacksneutral, wasserhell, nicht fluoreszierend.

Einsatz in der Lebensmittelindustrie, Pharma und Medizin, Kosmetikindustrie.

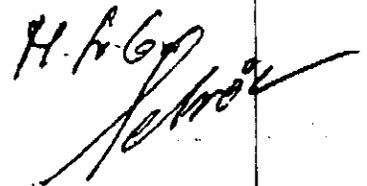
Durchschnittswerte:

Farbe/ASTM	0,5	ASTM
Farbe/Seyboldt	+30	DIN 51411
Dichte/15 °C	0,881	DIN 51757
Viskosität b/20 °C/cSt	235	DIN 51562
140 °C/cSt	65	DIN 51562
150 °C/cSt	40	DIN 51562
Flammpunkt COC/°C/min.	204	DIN 51378
Pourpoint °C/max.	-12	DIN 51597
Brechzahl	1.478	DIN 51423
Anilinpunkt	115	DIN 51787
Struktur CA	0	DIN 51378
CN	40	
CP	80	
Siedeanfang/760 Torr	380 °C	DIN 51358
Siedeende/760 Torr	480 °C	DIN 51356
Schwefelgehalt	unter 0,001	DIN 51450,3
Neutralisationszahl (NZ)	0	

Reinheitsgrad gemäß DAB 10, FDA 172.87, Pharmacop. Europ. 2 nd. Ed.
USP XXII, NFXVI, BP 1988 Add. 92.

SG 11.00

1/93



7 Auswertung

Die Auswertung wurde mit dem MS Programm excel durchgeführt und übersichtlich in Tabellen und Diagrammen dargestellt.

Für jede Versuchsreihe ergeben sich Auswertetabellen und zugehörige Grafik, die jeweils auf einem Blatt zusammengestellt sind. Es sind dies folgende Blätter:

Blätter 1 bis 4 Auswertung Strömungskraft

Blatt 1 Strömungskraft über der Anströmgeschwindigkeit
zusätzlich eingetragen die jeweiligen übrigen Messpunkte zum
Geschwindigkeitsverlauf, der Strömungskraft zugeordnet

Blatt 2 Strömungskraft (FD oder D) über dem Verhältnis lichter Breitenabstand (sb)
zwischen den Stäben zum Stabdurchmesser (d)

Hier wurde sb/d mit drei Werten variiert, und zwar 2, 5 und 8.
Das Blatt 3 fasst also bis zu drei Versuchsreihen zusammen und erscheint daher nicht unter jeder
Versuchsnummer.

Blatt 3 dimensionsloser Gesamtwiderstand der Strömung cD als Kraft (FD oder D) pro
Staudruck aus Anströmung (u_0), bezogen auf die Projektion der Stabmatrix in
Strömungsrichtung (bt), aufgetragen über der Anströmung (u_0).

Blatt 4 Wie Blatt 2, aber nun Widerstandsbeiwert cD über der Reynoldszahl R_n .
Als kennzeichnende Bezugslänge wurde hier der lichte Abstand (sl) zwischen den Stäben in
Längsrichtung eingesetzt.

Blätter 5 bis 8 Geschwindigkeitsverlauf in Längsrichtung beim Durchtritt durch die Stabmatrix mit der Anströmung als Parameter

Blatt 5 u_x über x/d wie gemessen, d. h. einschließlich der Zwischenräume

Blatt 6 u_x über x wie gemessen, d. h. einschließlich der Zwischenräume

Blatt 7 u_x über x/d aufgetragen für Matrixblock, d.h. ohne Zwischenräume
dargestellt

Blatt 8 u_x über x wie Blatt 7, aber über dem absoluten Längsweg x durch den
Matrixblock aufgetragen

Dabei wird also unterschieden zwischen

- Matrixblock die gesamte Stabmatrix wird zusammenhängend gemessen und dargestellt
- Geschwindigkeitsverlauf in Längsrichtung

entweder

Längskoordinate x bzw. x/d einschließlich der Zwischenräume für die Sonde
(aus Platzgründen für die Sonde notwendigerweise so gemessen)

oder

Längskoordinate x bzw. x/d für den Matrixblock, d.h. ohne Zwischenräume dargestellt,
obwohl mit Zwischenräumen gemessen wurde.

Damit geben Blatt 7 und 8 die beste Darstellung des Strömungsverlaufes.

Blätter 9 bis 12 Aufgemessener Wasserspiegel im Längsprofil

Blatt 9 Gemessen mit Zwischenräumen, aber Darstellung im Block

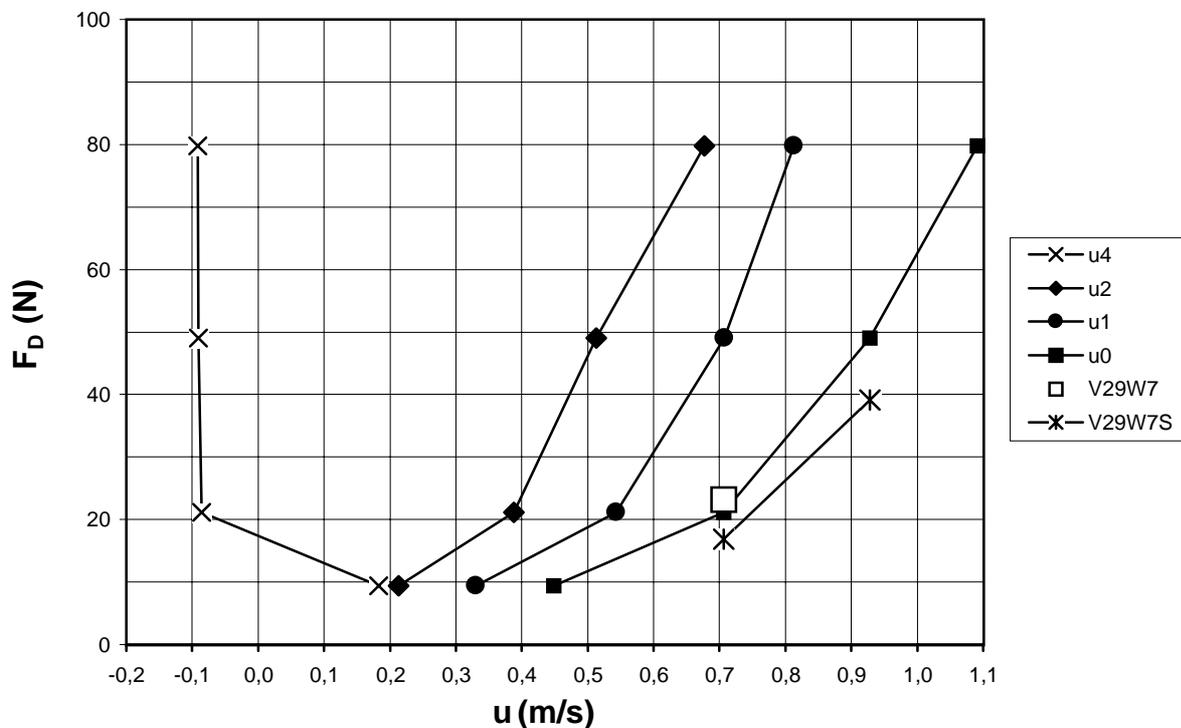
Blatt 10 Messung am Block der Stabmatrix

Blatt 11 Darstellung Längsprofil am Block, obwohl mit Zwischenräumen gemessen,
bezogen auf Glattwasser

Blatt 12 Wasserspiegel am Matrixblock bezogen auf Glattwasser.

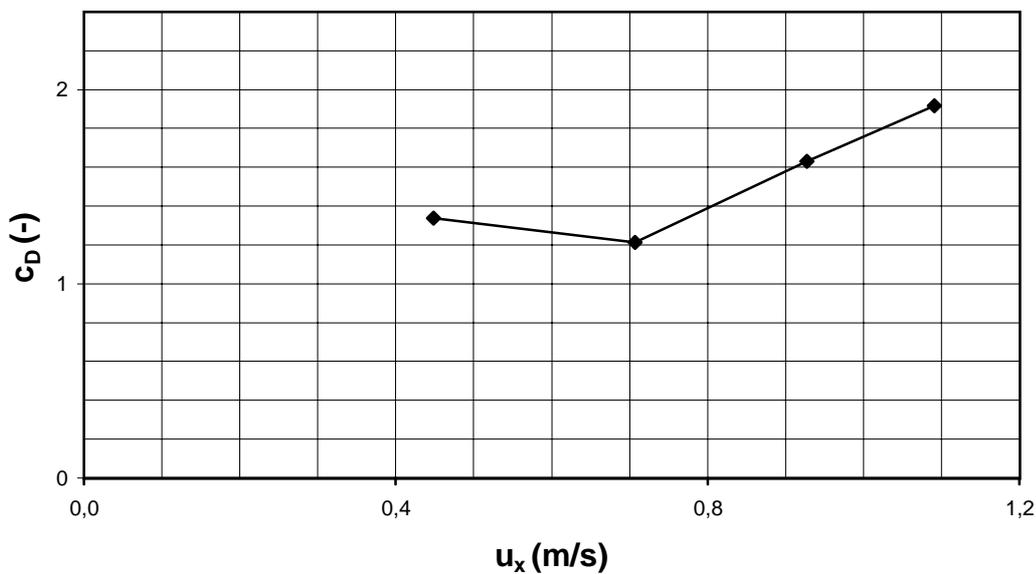
Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 1		
Datum :		24.11.1999			Wassertemperatur :		18.2°		
Wassertiefe :		700mm			Eintauchtiefe :		100mm		
Tiefe Str.Sonde :		50mm							
0			1		2		4		
ux	ux	D	ux	D	ux	D	ux	D	
m/s	kn	N	m/s	N	m/s	N	m/s	N	
0,4486	0,9		0,3299	9,196	0,2130	8,397	0,183	10,650	
0,7066	1,4		0,5435	26,570	0,3882	21,460	-0,0861	15,460	
0,9278	1,8		0,7070	51,240	0,5130	52,780	-0,0905	43,160	
1,0910	2,1		0,8130	86,690	0,6766	82,380	-0,0918	70,230	
ux aus V8									
				V29W7S		V29W7			
				9.12.1999		9.12.1999			
		D		D		D			
		Bezug		N		N			
		9,414							
		21,163		16,84		23,2			
		49,060		39,14					
		79,767							
				Zusätzlich mit		wie V29, aber mit			
				hinterer Sperrwand		0.7kg Weißöl			

Matrixblock V29/ V25V17V9/2



Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 3	
Datum :	24.11.1999							
0			1		2		4	
u _x	u _x	D	u _x	D	u _x	D	u _x	D
m/s	kn	N	m/s	N	m/s	N	m/s	N
0,4486	0,9		0,3299	9,196	0,2130	8,397	0,183	10,650
0,7066	1,4		0,5435	26,570	0,3882	21,460	-0,0861	15,460
0,9278	1,8		0,7070	51,240	0,5130	52,780	-0,0905	43,160
1,0910	2,1		0,8130	86,690	0,6766	82,380	-0,0918	70,230
			D					
			Bezug					
			N					
			9,414					
			21,163					
			49,060					
			79,767					
A = b t =	0,70	m	0,10	m =	0,07	m ²		
ρ _w =	998,50	kg/m ³						
u _{x0}	c _D	p ₀	$c_D = \frac{D}{\frac{\rho_w}{2} * u_{x_0}^2 * A}$					
m/s	-	kPa						
0,449	1,339	0,100						
0,707	1,213	0,249						
0,928	1,631	0,430						
1,091	1,918	0,594						

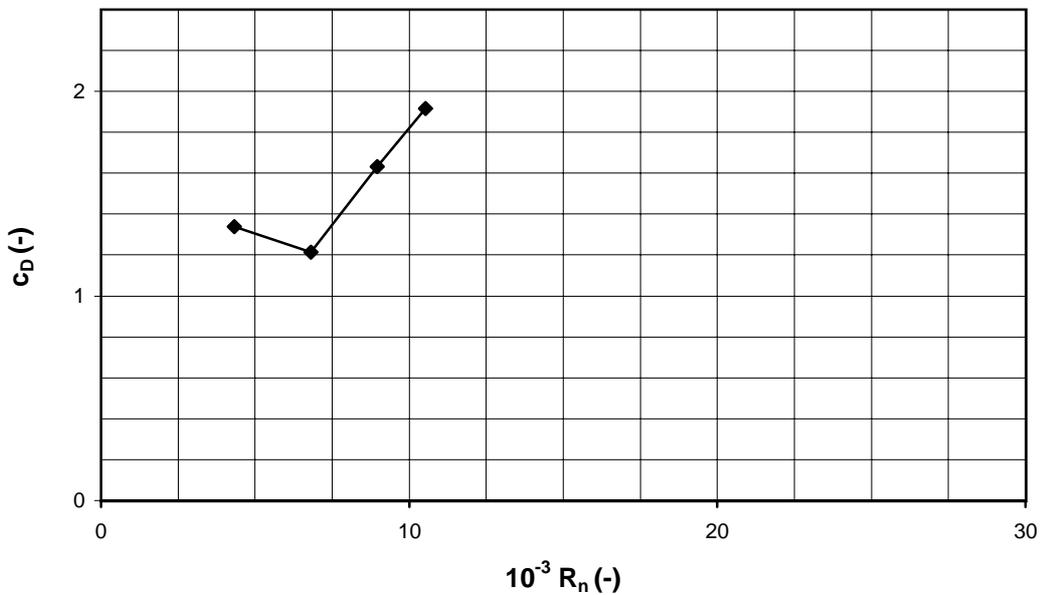
Matrixblock V29/V25V17V9/2



Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 4	
Datum :	24.11.1999							
0			1		2		4	
ux	ux	D	ux	D	ux	D	ux	D
m/s	kn	N	m/s	N	m/s	N	m/s	N
0,4486	0,9		0,3299	9,196	0,2130	8,397	0,183	10,650
0,7066	1,4		0,5435	26,570	0,3882	21,460	-0,0861	15,460
0,9278	1,8		0,7070	51,240	0,5130	52,780	-0,0905	43,160
1,0910	2,1		0,8130	86,690	0,6766	82,380	-0,0918	70,230
			D					
			Bezug					
			N					
			9,414					
			21,163					
			49,060					
			79,767					
A = b t =	0,70	m	0,10	m =	0,07	m ²		
ρ _w =	998,50	kg/m ³			ν _w =	1,14E-06	m ² /s	
ux ₀	c _D	p ₀	R _n		s _l =	11	mm	
m/s	-	kPa	-		T =	17,5	°C	
0,449	1,339	0,100	4329					
0,707	1,213	0,249	6818					
0,928	1,631	0,430	8952					
1,091	1,918	0,594	10527					

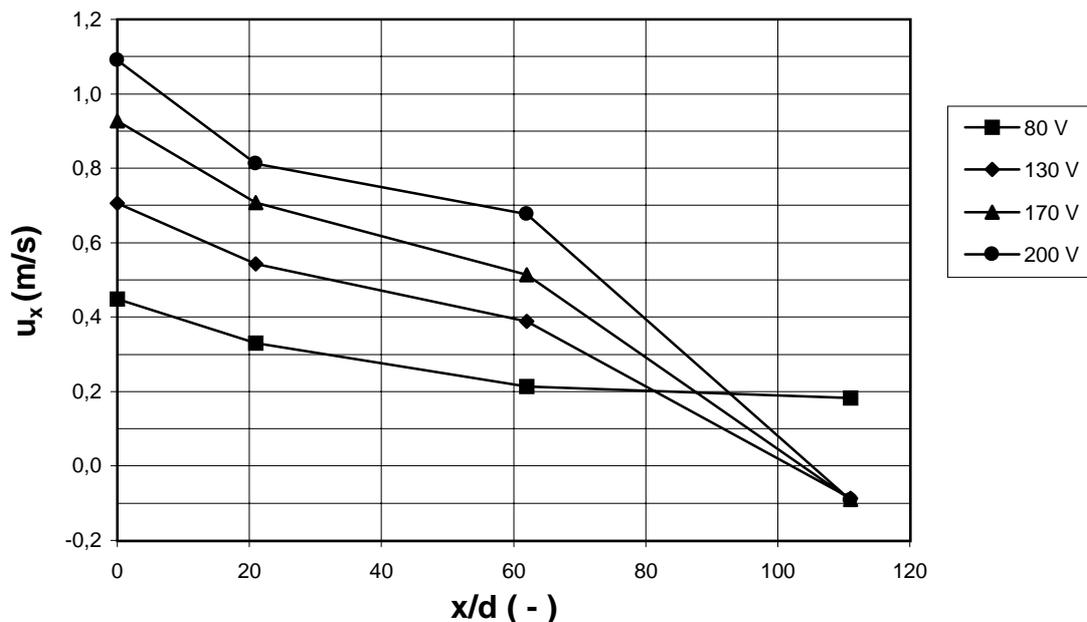
$$R_n = \frac{u_{x_0} * s_l}{\nu}$$

Matrixblock V29/V25V17V9/2



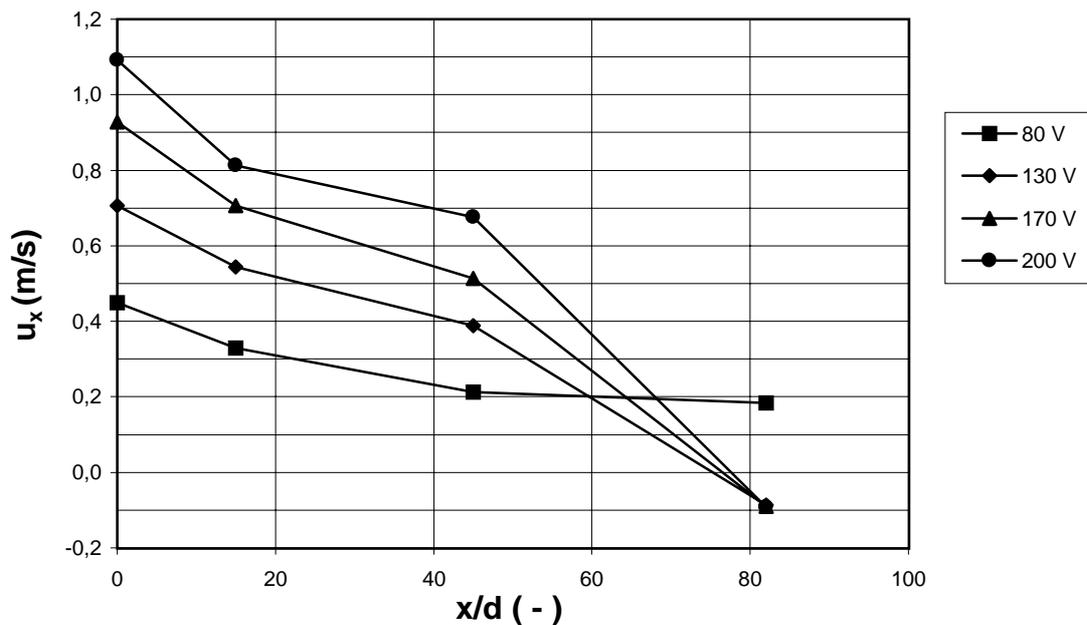
Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 5	
Auswertung: Reduktion der Geschwindigkeit über dem Weg durch die Matrix								
Datum :	24.11.1999							
0			1		2		4	
ux	ux	D	ux	D	ux	D	ux	D
m/s	kn	N	m/s	N	m/s	N	m/s	N
0,4486	0,9		0,3299	9,196	0,2130	8,397	0,183	10,650
0,7066	1,4		0,5435	26,570	0,3882	21,460	-0,0861	15,460
0,9278	1,8		0,7070	51,240	0,5130	52,780	-0,0905	43,160
1,0910	2,1		0,8130	86,690	0,6766	82,380	-0,0918	70,230
		U	D					
			Bezug					
		Volt	N					
		80	9,414					
		130	21,163					
		170	49,060					
		200	79,767					
d (mm) =	5,5							
x ₀	x ₀ /d	x ₁	x ₁ /d	x ₂	x ₂ /d	x ₃	x ₃ /d	
mm	-	mm	-	mm	-	mm	-	
0	0,00	115,50	21	341	62	610,5	111	

Geschwindigkeitsverlauf in Längsrichtung
Längskoordinate x/d einschließlich der Zwischenräume



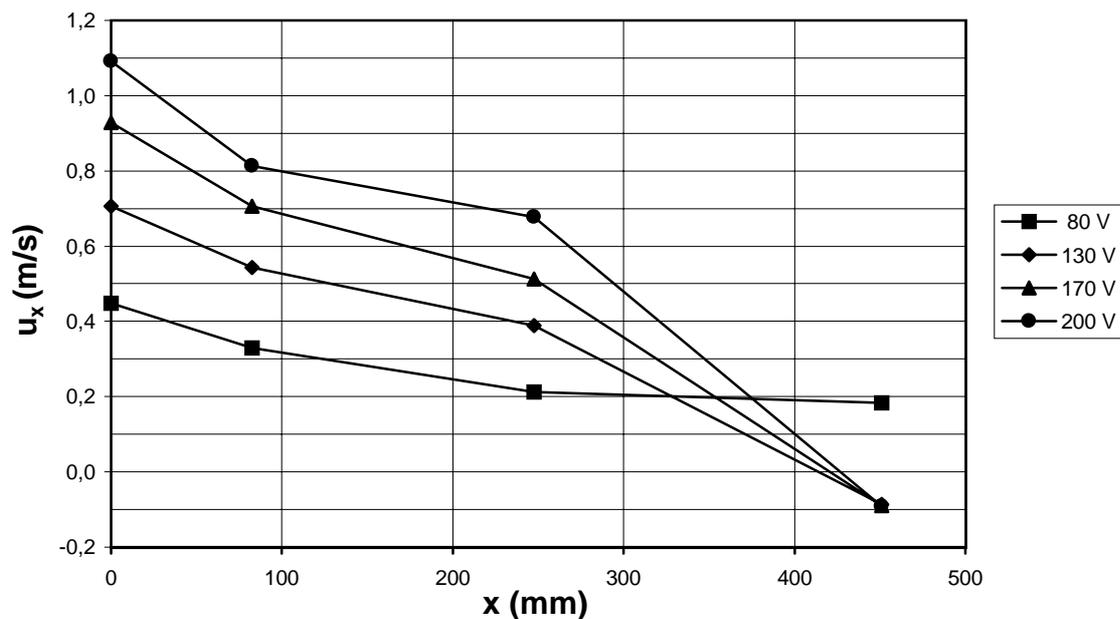
Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 7	
Auswertung: Reduktion der Geschwindigkeit über dem Weg durch die Matrix								
Datum :	24.11.1999							
0			1		2		4	
u _x	u _x	D	u _x	D	u _x	D	u _x	D
m/s	kn	N	m/s	N	m/s	N	m/s	N
0,4486	0,9		0,3299	9,196	0,2130	8,397	0,183	10,650
0,7066	1,4		0,5435	26,570	0,3882	21,460	-0,0861	15,460
0,9278	1,8		0,7070	51,240	0,5130	52,780	-0,0905	43,160
1,0910	2,1		0,8130	86,690	0,6766	82,380	-0,0918	70,230
		U	D	Zwischenraum von 14d = 77mm				
			Bezug	für Sondenmessung Nr.1 und Nr.2				
		Volt	N	Ergebnisse als Messung				
		80	9,414	quasi im Block dargestellt				
		130	21,163	(d.h. ohne Zwischenraum)				
		170	49,060					
		200	79,767					
d (mm) =	5,5							
x ₀	x ₀ /d	x ₁	x ₁ /d	x ₂	x ₂ /d	x ₃	x ₃ /d	
mm	-	mm	-	mm	-	mm	-	
0	0,00	82,50	15	247,5	45	451	82	

Geschwindigkeitsverlauf in Längsrichtung
Längskoordinate x/d für Matrixblock (ohne Zwischenräume)



Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29 /V25V17V9/2							Blatt 8	
Auswertung: Reduktion der Geschwindigkeit über dem Weg durch die Matrix								
Datum :	24.11.1999							
0			1		2		4	
u _x	u _x	D	u _x	D	u _x	D	u _x	D
m/s	kn	N	m/s	N	m/s	N	m/s	N
0,4486	0,9		0,3299	9,196	0,2130	8,397	0,183	10,650
0,7066	1,4		0,5435	26,570	0,3882	21,460	-0,0861	15,460
0,9278	1,8		0,7070	51,240	0,5130	52,780	-0,0905	43,160
1,0910	2,1		0,8130	86,690	0,6766	82,380	-0,0918	70,230
		U	D	Zwischenraum von 14d = 77mm				
		Volt	Bezug N	für Sondenmessung Nr.1 und Nr.2				
		80	9,414	Ergebnisse als Messung				
		130	21,163	quasi im Block dargestellt				
		170	49,060	(d.h. ohne Zwischenraum)				
		200	79,767					
d (mm) =	5,5							
x ₀	x ₀ /d	x ₁	x ₁ /d	x ₂	x ₂ /d	x ₃	x ₃ /d	
mm	-	mm	-	mm	-	mm	-	
0	0,00	82,50	15	247,5	45	451	82	

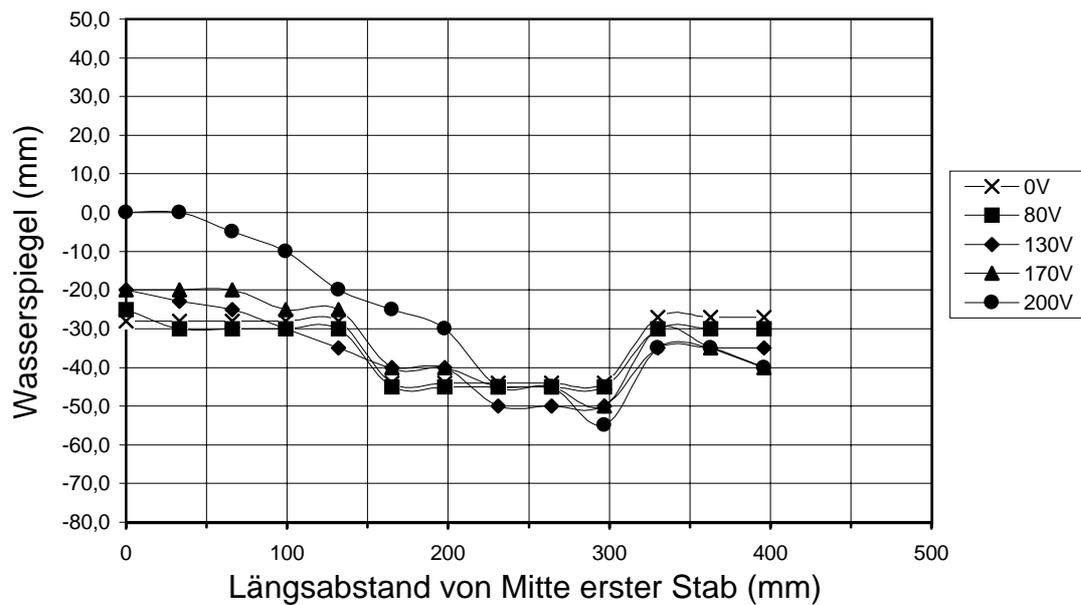
Geschwindigkeitsverlauf in Längsrichtung
Längskoordinate x für Matrixblock (ohne Zwischenräume)



Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 9	
Abgelesene Messwerte: Wasserspiegel in mm								
Datum :	#####							
U		1	2	3	4	5	6	7
Volt								
	x (mm)	0	33	66	99	132	165	198
0	ux ₀ (m/s)	-28	-28	-28	-28	-28	-44	-44
80	0,4486	-25	-30	-30	-30	-30	-45	-45
130	0,7066	-20	-23	-25	-30	-35	-40	-40
170	0,9278	-20	-20	-20	-25	-25	-40	-40
200	1,0910	0	0	-5	-10	-20	-25	-30
U		8	9	10	11	12	13	
Volt								
	x (mm)	231	264	297	330	363	396	
0	ux ₀ (m/s)	-44	-44	-44	-27	-27	-27	
80	0,4486	-45	-45	-45	-30	-30	-30	
130	0,7066	-50	-50	-50	-35	-35	-35	
170	0,9278	-45	-45	-50	-30	-35	-40	
200	1,0910	-45	-45	-55	-35	-35	-40	

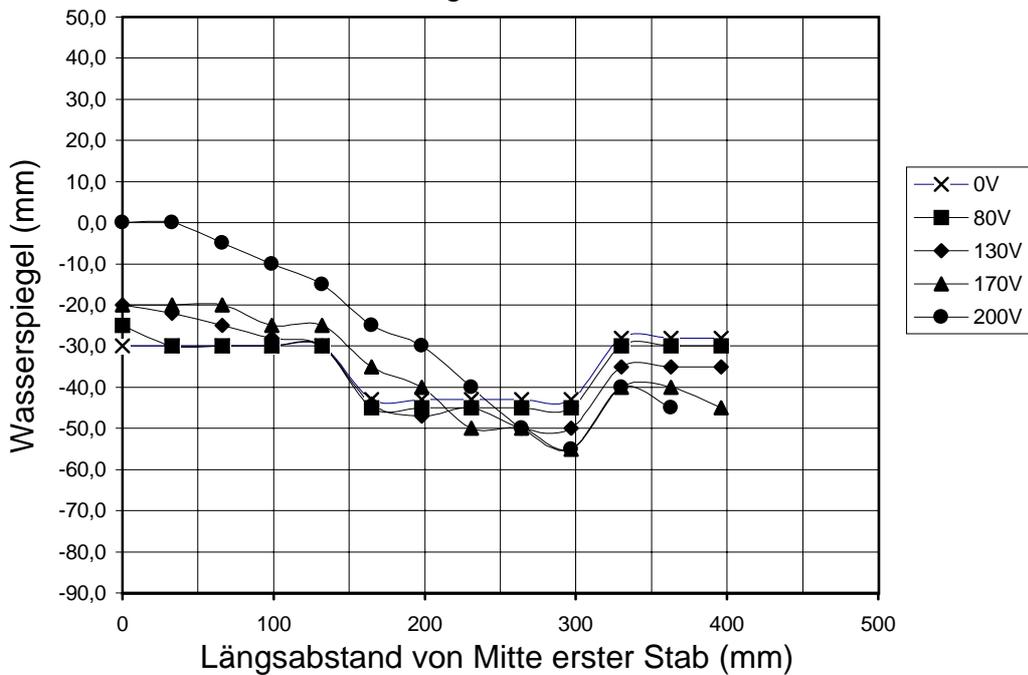
Wasserspiegel Längsprofile

Darstellung im Block, obwohl mit Zwischenräumen gemessen



Projekt: Messungen Matrixsperre Versuch V29/ V25V17V9/2							Blatt 10	
Abgelesene Messwerte: Wasserspiegel in mm								
Datum :	24.11.1999							
U		1	2	3	4	5	6	7
Volt								
	x (mm)	0	33	66	99	132	165	198
0	ux0 (m/s)	-30	-30	-30	-30	-30	-43	-43
80	0,4486	-25	-30	-30	-30	-30	-45	-45
130	0,7066	-20	-22	-25	-28	-30	-44	-47
170	0,9278	-20	-20	-20	-25	-25	-35	-40
200	1,0910	0	0	-5	-10	-15	-25	-30
U		8	9	10	11	12	13	
Volt								
	x (mm)	231	264	297	330	363	396	
0	ux0 (m/s)	-43	-43	-43	-28	-28	-28	
80	0,4486	-45	-45	-45	-30	-30	-30	
130	0,7066	-45	-50	-50	-35	-35	-35	
170	0,9278	-50	-50	-55	-40	-40	-45	
200	1,0910	-40	-50	-55	-40	-45	-55	

Wasserspiegel Längsprofile
Messung am Matrixblock



8 Foto - Dokumentation

Es war für die Foto - Dokumentation sehr schwierig, die richtige Ausleuchtung für das gesamte Strömungsbild auch im Detail zu erzielen. Dies ist stellenweise dann auch gelungen. Sämtlichen Fotos wurde jeweils eine Tafel mit der Versuchs - Nr. bzw. der Parameteridentifikation beigegeben, sowie die Regelspannung der Strömungspumpe im Kanal zur festen Zuordnung der Anströmgeschwindigkeit.

Die ungestörte Anströmgeschwindigkeit u_0 bei 700 mm Wassertiefe im Umlaufkanal in Zuordnung zur Regelspannung U ist in der folgenden Tabelle angegeben. Für Zwischenstufen kann linear interpoliert werden.

U (Volt)	u_0 (m/s)	u_0 (kn)
80	0,4486	0,9
130	0,7066	1.4
170	0,9278	1,8
200	1,0910	2,1

Die Durchströmung konnte am besten durch das Seitenfenster des Kanals beobachtet werden. Es wurde immer auf die gleiche Fotoposition mit gleichem Blickwinkel geachtet.

Einige Aufnahmen wurden auch von schräg oben auf die Wasseroberfläche gemacht. Dies erlaubte vor allem bei den Versuchen mit Weißöl ein Erkennen der Öllachen. Bei den Versuchen mit Zwischenräumen für die Sondenmessung im Matrixblock ist dann auch gut die Umströmung der inneren Stäbe zu erkennen.

Die Fotos sind hier im zeitlichen Ablauf der Versuche wiedergegeben. Die Fotos werden wegen des Umfangs und zum besseren Vergleich mit den Messdaten getrennt gebunden.



50V



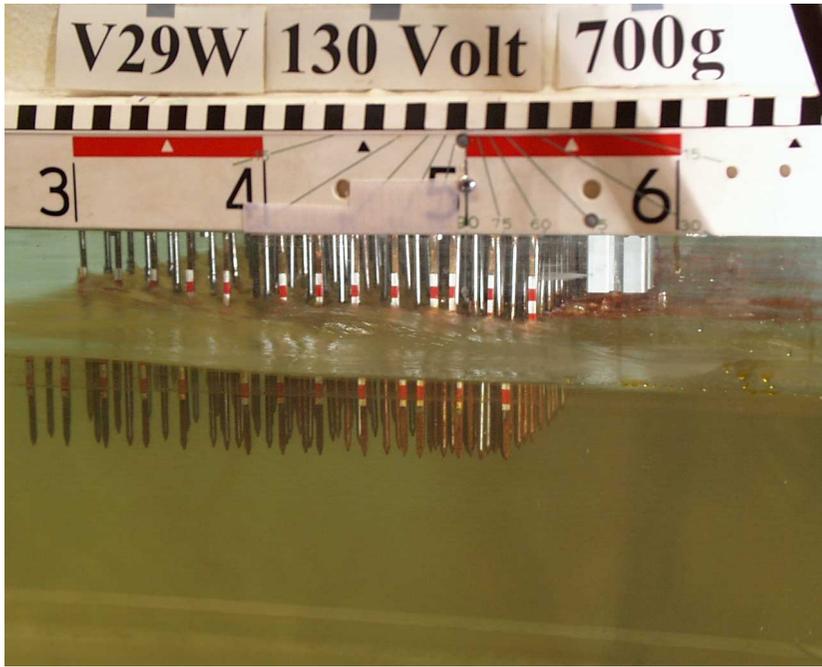
60V



70V



80V

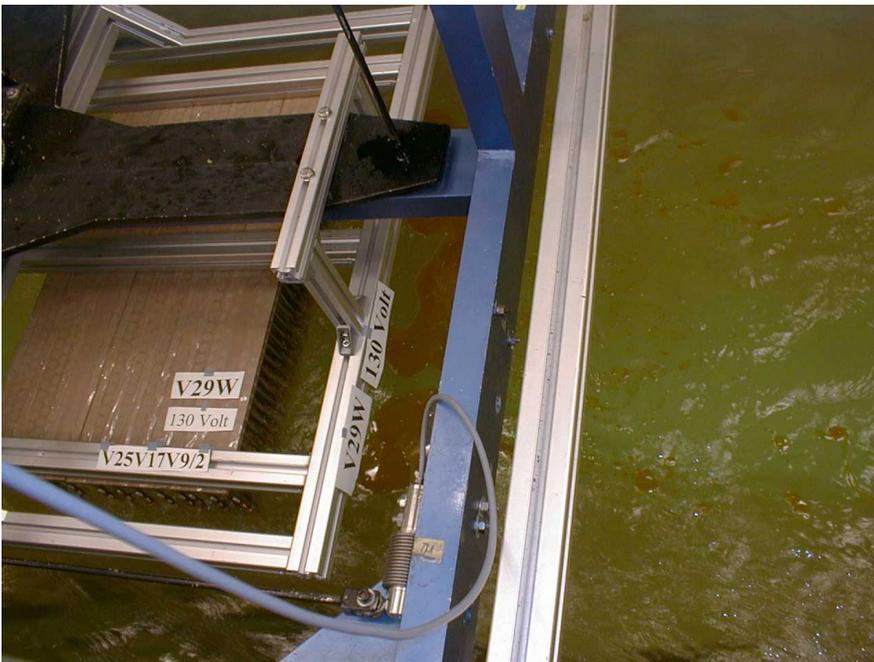




130V



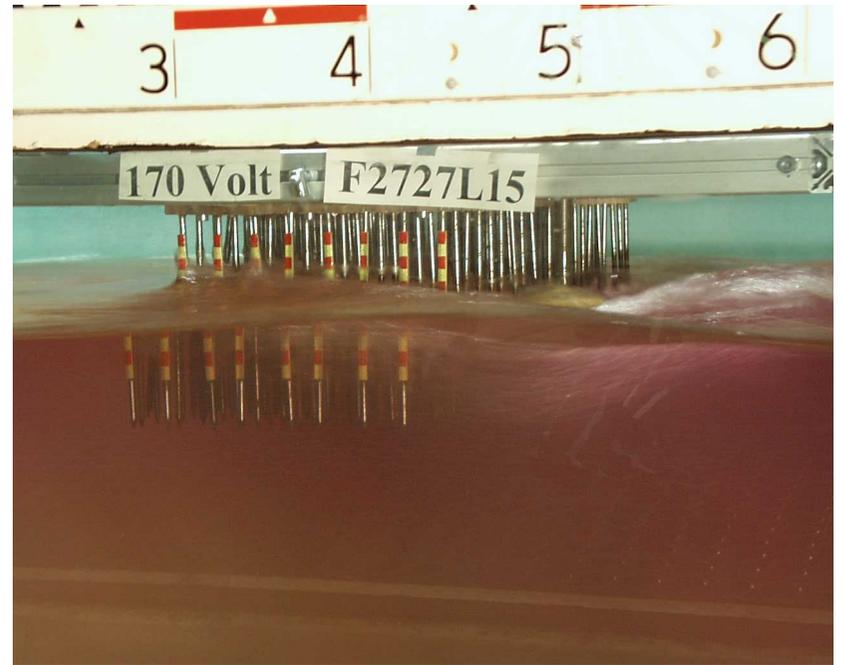
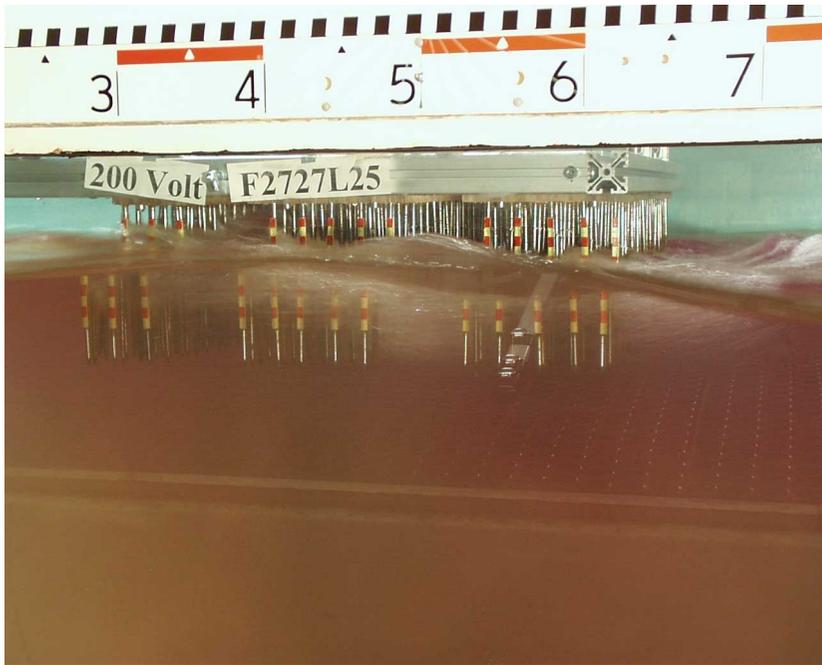
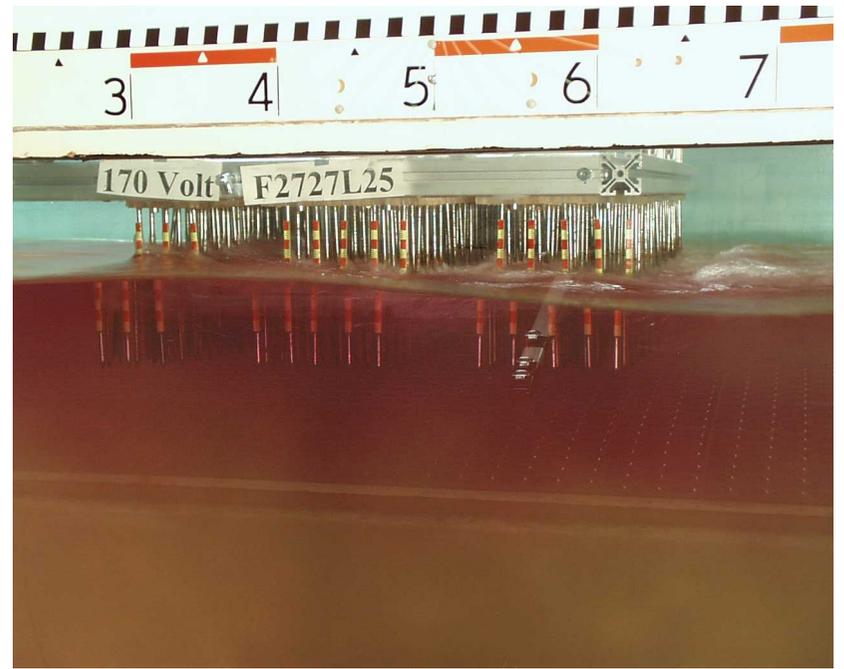
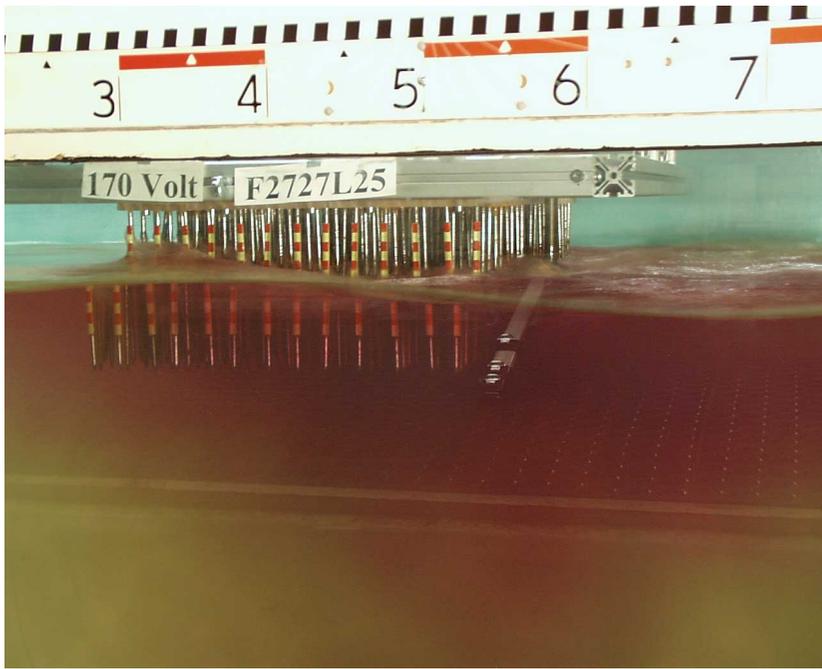
170V

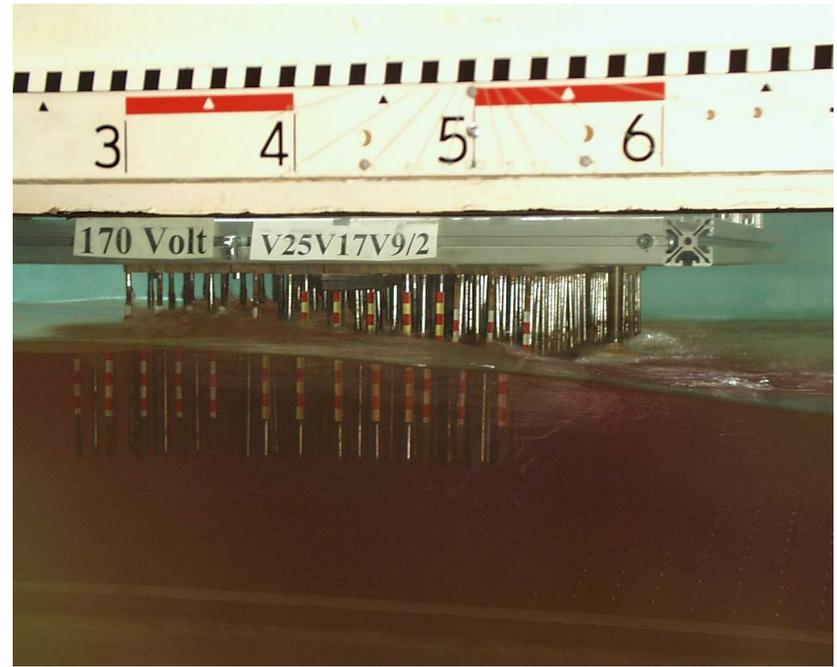
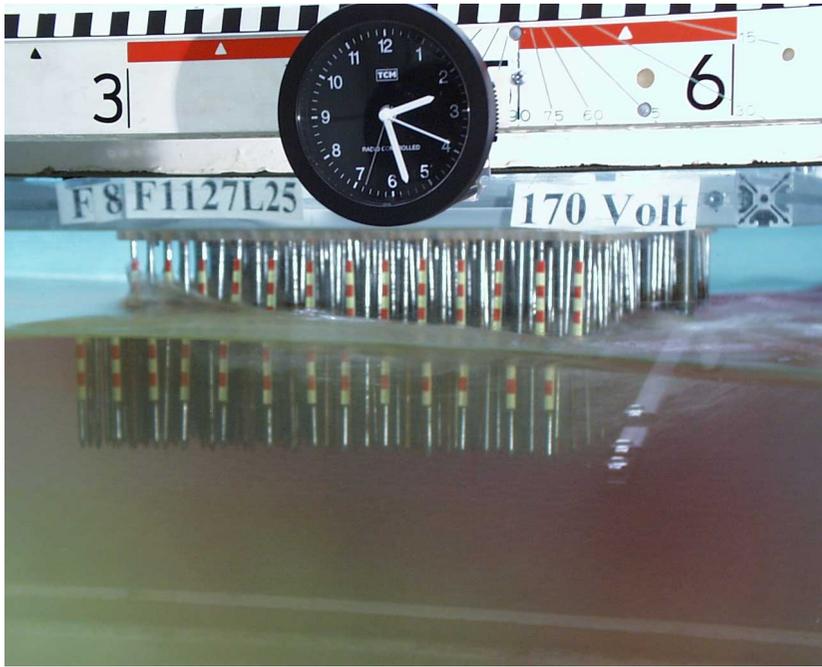


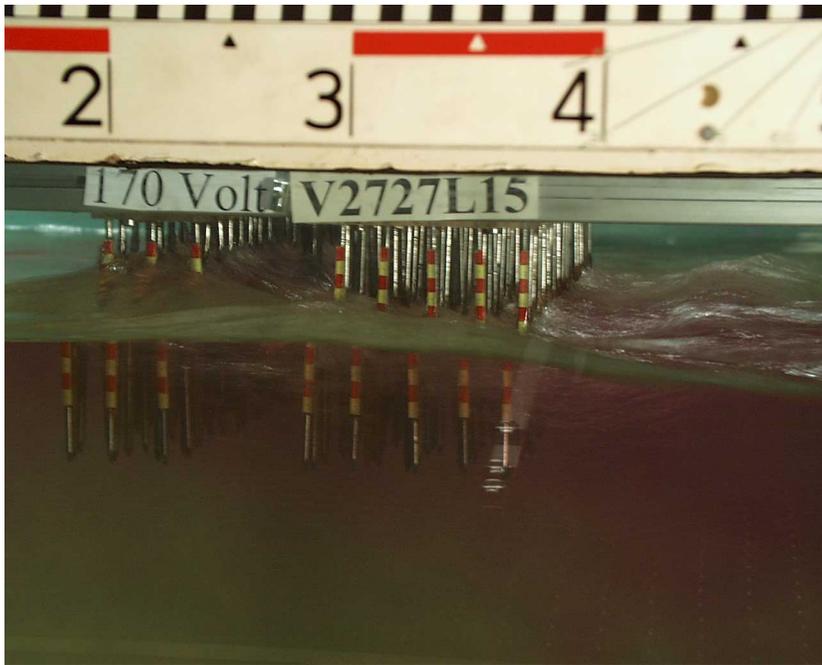
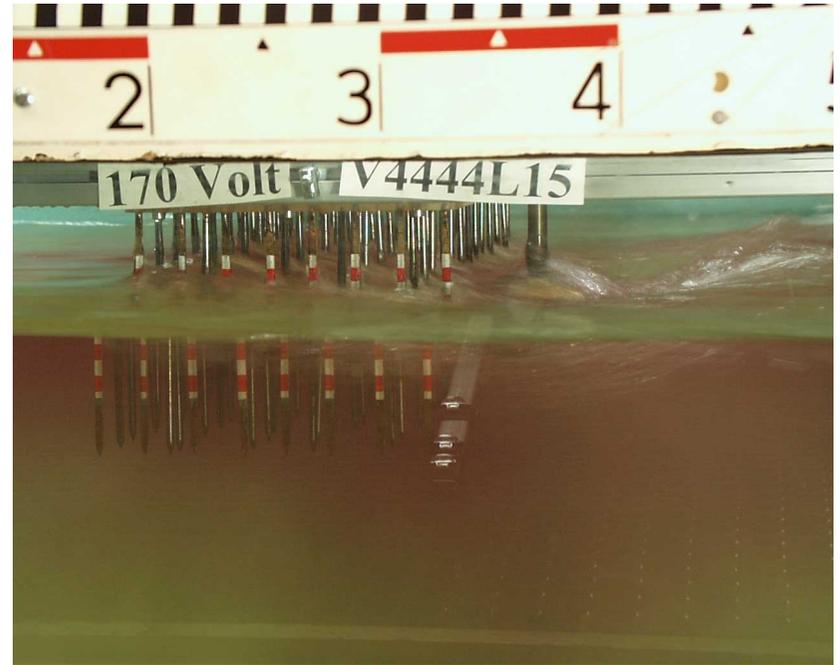
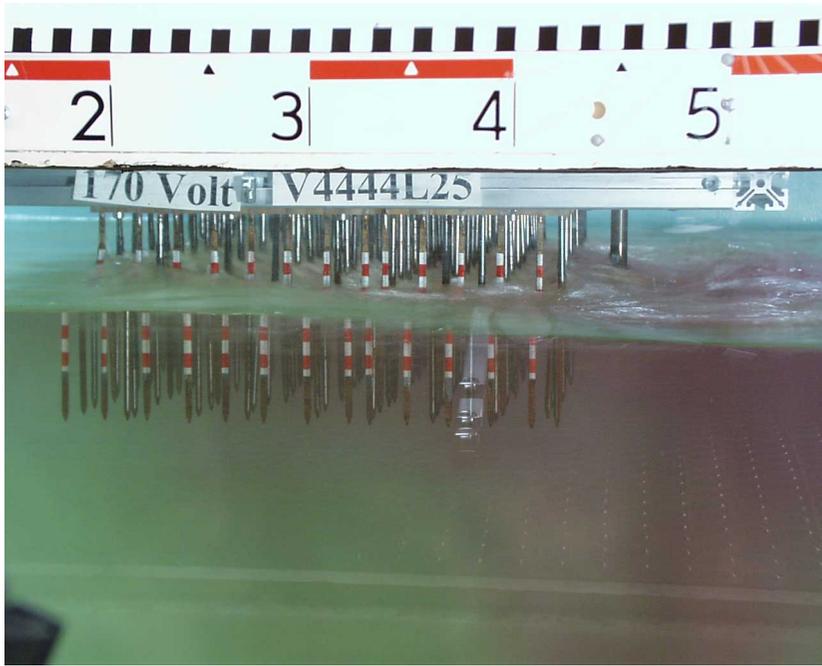
130V

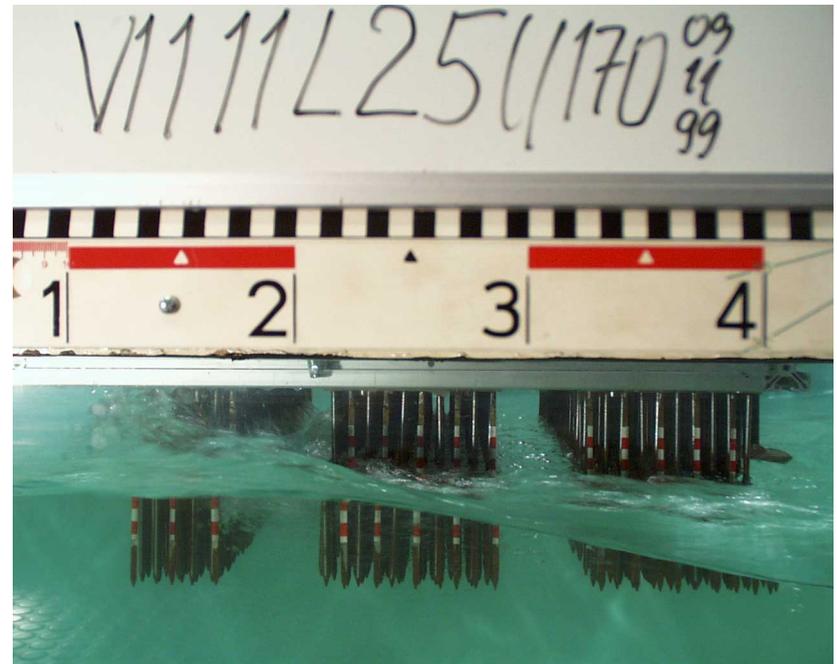
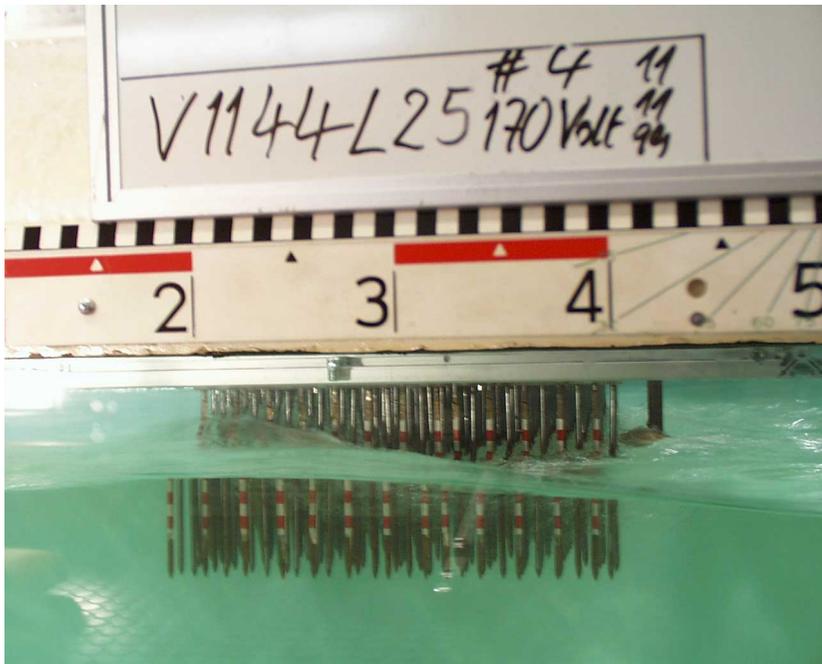
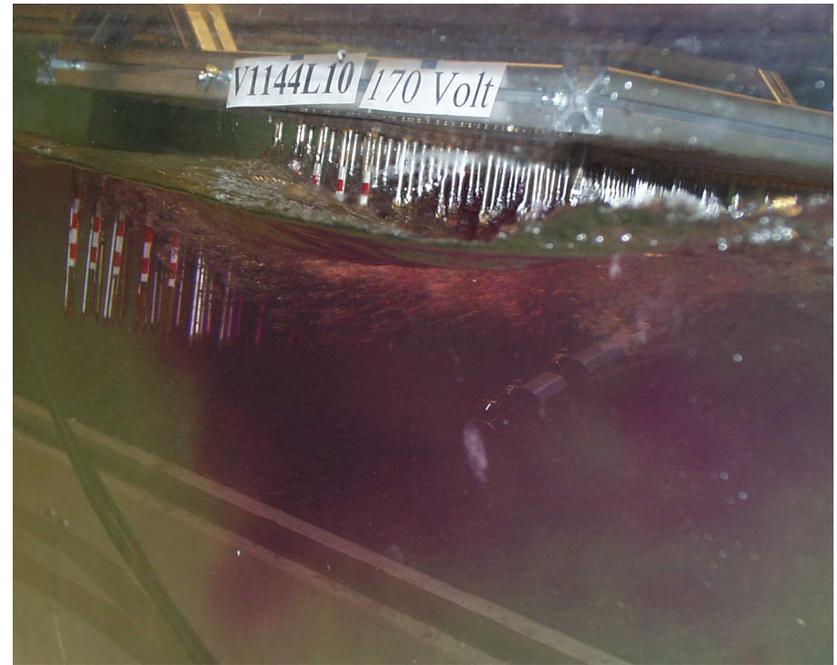
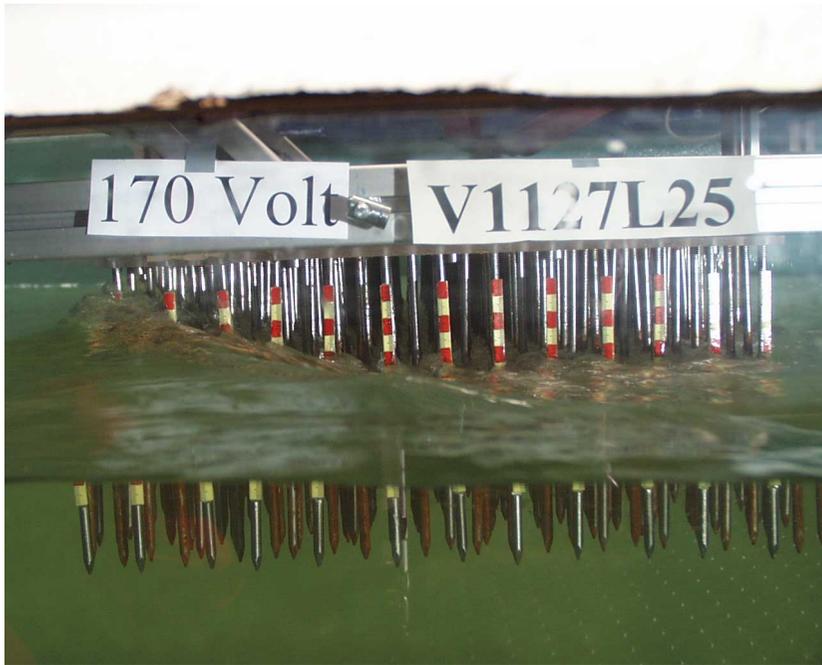


170V









9 Video - Dokumentation

Es wurden alle Versuchsreihen mit Video dokumentiert, ausgenommen Versuchswiederholungen, bei denen lediglich die Strömung an einer anderen Stelle der Stabmatrix gemessen wurde. Dabei war die Kameraposition mit Stativ fixiert, um einen eindeutigen Vergleich zu ermöglichen. Es wurde von der Großaufnahme auf die Nähe gezoomt.

Alle Versuche sind chronologisch angeordnet. Eine Markierung und Kennung des jeweiligen Versuches erfolgte über mitgefilmte Versuchs - Nr. und Kennzeichnung der Anordnung der Stäbe, gemäß den Tabellen in Kapitel 3.

In der Regel wurde seitlich durch das Beobachtungsfenster des Umlaufkanals gefilmt , ergänzt durch Aufnahmen von oben auf die Wasserfläche.

Für die Versuche mit Öl wurde gleichzeitig mit zwei Kameras gefilmt, dann für das Berichtsvideo hintereinander kopiert.

Schließlich sind bei den wichtigen Versuchen mit Weißöl zum Abschluss der Untersuchungen einige schwierig zu erfassende Details aus der Hand gefilmt. Hier ist teilweise der Kontrast sehr gering, so dass die Erkennbarkeit extrem schlecht ist. Auch diese Abschnitte bleiben in der Berichtskopie, da sie zumindest den Teilnehmern an den Versuchen eine Gedankenstütze an das beobachtete Strömungsgeschehen liefern. Diese letzten Szenen sind relativ lang, wurden aber nicht zusammengeschnitten, um den ursprünglichen Eindruck zu erhalten.

Die Gesamtdauer des Berichtsvideos beträgt damit insgesamt ca 2 Stunden.

Bremen, den 23. Dezember 1999

(Dr. S. Kastner)

10 Schrifttum

Oebius, H. U.: Physikalische Grundlagen der mechanischen Ölbekämpfung, Teil1: Ölsperren. VWS Berlin, November 1984

Kastner, S.: Experimentelle Untersuchungen zur Ölräumung und Absperrung mit mechanischen Mitteln bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten. Abschlussbericht an UBA, Bremen, Juli 1998

Kastner, S: Oil booms in rapid flow. Schiffstechnik Bd. 45 - 1998, Hamburg

Brenk, V.: Die Ölfilmströmung. Unveröffentlichtes Manuskript, Berlin, Februar 1999

Kakuno, S. und Y. Nakata: Scattering of water waves by rows of cylinders with/without a backwall. Applied Ocean Research 20 (1998) 191-198, Elsevier Publisher