

Vereinfachte Dränversuche in Schleswig-Holstein

Von H. Baumann und G. Mann¹⁾

Abstract

Generally the results of drainage experiments which were laid out in order to investigate the effect of tile drainage on natural conditions did not satisfy. The authors are describing drain experiments using tile and plastic pipes which allow to consider hydrological differences in the area concerned when evaluating the results. Preliminary results of an experiment on a silty-sandy marsh-soil where the drains are usually rapidly filled with silty material are described in detail.

Inhalt

1. Beispiel einer nicht auswertbaren Anlage im Altmoränengebiet	45
2. Ein vereinfachter Dränversuch zur Einschlammungsfrage	
a) Die Dräneinschlammung	50
b) Die Dränausspülung	54
c) Der Abfluß	55
3. Zusammenfassung	58
4. Schriftenverzeichnis	59

Zur Problematik der Dränversuche hat BELLIN (1, 2) die Pläne und Ergebnisse von 19 im In- und Ausland angelegten Dränversuchen kritisch untersucht. Er leitet daraus Schlußfolgerungen für die Gestaltung eines repräsentativen Dränversuches ab, die er in der zweiten Arbeit zusammenfaßt. Die Gesichtspunkte sind so wichtig, daß sie hier wenigstens stichwortartig wiederholt werden sollen: „Gründliches Literaturstudium, Festlegung der Fragestellung und Auswertung vor Anlage des Versuchs, mögliche Vermeidung von Fehlerquellen, geringe Zahl der Versuchsglieder, sorgfältige Wahl der Versuchsfläche, mehrfache Wiederholungen der Versuchsglieder, zuverlässige Begrenzung des Einzugsgebietes, mehrjährige Dauer, zuverlässige Messungen, Auswertung nach festgelegten Richtlinien.“ Wir stimmen den Forderungen, die damit erhoben werden, in vollem Umfange zu, wenn wir auch mit der Anlage vereinfachter Dränversuche nur beschränkte Ziele verfolgen. Wir verzichten bei ihnen nämlich zunächst auf die Frage nach dem Einfluß der Dränversuchsvarianten auf den landwirtschaftlichen Ertrag und beobachten auf verschiedenen Standorten durch Grundwasser- und Abflußmessungen lediglich vergleichend die Funktion der Prüfnummern.

In letzter Zeit ist wiederholt auch über vereinfachte Dränversuche berichtet worden (3, 5, 6, 7, 8, 10). Gerade bei ihnen glaubte man häufig auf Wiederholungen der Prüfnummern verzichten zu können. Die aus den Versuchen gezogenen Schlußfolgerungen werden daher als nicht gesichert und nicht repräsentativ bezeichnet (2, 5). Wenn wir die Dränfunktion und -wirkung unter verschiedenen Standortbedingungen prüfen wollen, sind aber zahlreiche Feldversuche erforderlich. Darin sind sich wohl alle einig, die einen Einblick in die Fragen der Dränung gewonnen haben. Immer wieder ist diese Forderung, z. B. schon von FAUSER, SCHROEDER und RAMSER, erhoben worden.

Beschreibung und Darstellung der ersten Ergebnisse vereinfachter Dränversuche in Schleswig-Holstein erfolgen hier mehr zu dem Zweck, über ihre Anlage und ihren Aussagewert zu berichten als übertragbare Versuchsergebnisse bekanntzugeben. Die in den Versuchen benutzten Rohrarten sind z. T. nicht mehr am Markt, die Laufzeit der Versuche ist noch nicht ausreichend,

¹⁾ Aus dem Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Universität Kiel, Direktor: Prof. Dr. H. BAUMANN.

um endgültige Aussagen zu machen. Nur über die Anlage zu berichten, erscheint andererseits wenig sinnvoll, denn die Anlage kann sich nur aus der Erzielung signifikanter Ergebnisse rechtfertigen.

Bei der Anlage der zehn bisher laufenden Versuche haben wir, soweit sie von uns selbst angelegt wurden, drei Grundsätze befolgt:

1. Alle Stränge münden einzeln in Gräben oder zu dreien in Schächten aus, damit von jedem Strang der Abfluß gemessen werden kann.
2. Die Prüfnummern treten in 2- bis 5facher Wiederholung auf.
3. Jeder Versuch dient nur der Prüfung einer Versuchsfrage.

Den ersten halten wir für erforderlich, um eine möglichst vollständige Übersicht über die hydrologischen Verhältnisse des ganzen Versuches zu bekommen, die nach unseren Erfahrungen nicht mehr zu gewinnen ist, wenn Versuchsstränge zu kleinen Gruppen von drei und mehr

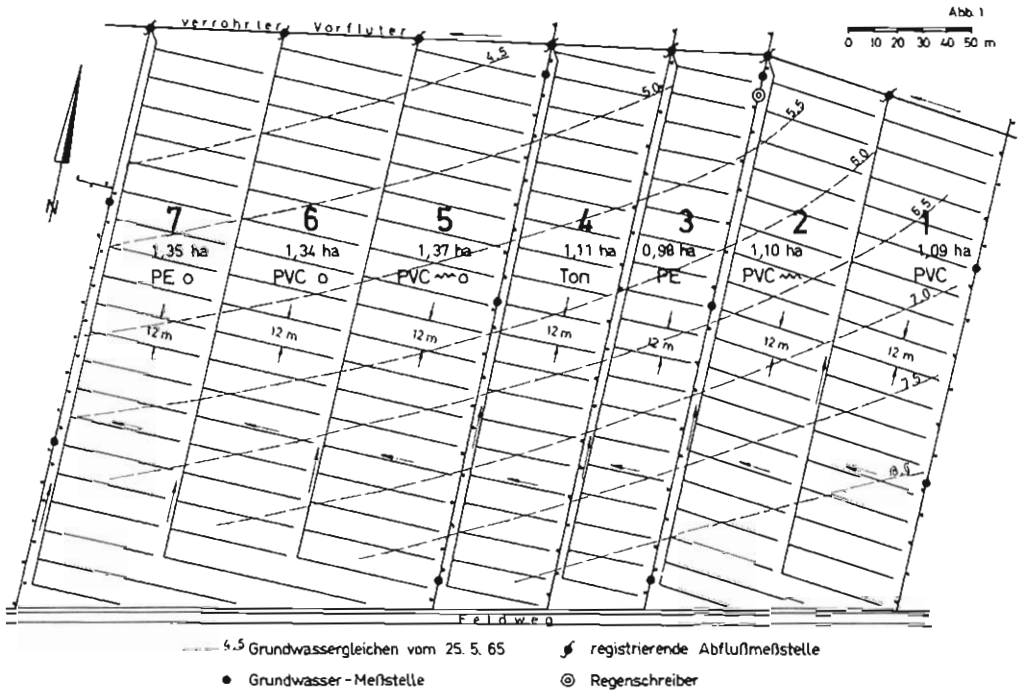


Abb. 1. Versuchsanlage Norderheistedt, Lageplan mit Grundwassergleichen vom 25. Mai 1965

Strängen zusammengefaßt werden. Wiederholungen sind unbedingt erforderlich, um alle Ergebnisse statistisch verrechnen zu können. Beschränkung der Prüfnummern ist eine Forderung, die sich schon früher aus den Erfahrungen mit Dränversuchen als notwendig ergeben hat.

1. Beispiel einer nicht auswertbaren Anlage im Altmoränengebiet

Die Notwendigkeit, eine Übersicht über die hydrologischen Verhältnisse zu bekommen, geht aus der uns von der Praxis übergebenen Anlage in Norderheistedt (Dithmarschen) hervor (Abb. 1). Die sieben rund 1 ha großen Abteilungen, deren jeweils 17 bis 20 Sauger über ungeschlitzte Kunststoffsammler in Meßschächte (Φ 0,8 m) geleitet werden, liegen auf einem zur Fließrichtung des verrohrten Vorfluters schrägen Hang mit ca. 2% Gefälle. Tonrohre (Φ 5 cm) werden mit ummantelten (o) und unummantelten glatten (PVC) und gerillten

(PVC ~) PVC-Rohren sowie Polyäthylenrohren (PE) von NW 40 verglichen. Die Abbildung zeigt die Grundwassergleichen vom 25. Mai 1965 bei mittlerem Stand des Grundwassers (1,0 – 1,3 m u. Fl.), Fließrichtung und Gefälle entsprechen etwa der Neigung des Hanges. Von Abteilung 1 zu Abteilung 7 nimmt unter diesen Umständen der grundwasserbedingte Abfluß nach unten so stark zu, daß gegebenenfalls vorhandene Einwirkungen der Rohrarten und der Filter dadurch völlig überdeckt werden.

Der Bodentyp wurde auf der im Altmoränengelände gelegenen Fläche als Gleydopsol angesprochen. Einzelheiten des Profils zeigt die Abbildung 2. In der tieferen Geländelage wird die Humusauflage mächtiger und der Gr-Horizont beginnt bei 60 cm unter Flur. Auf der höher

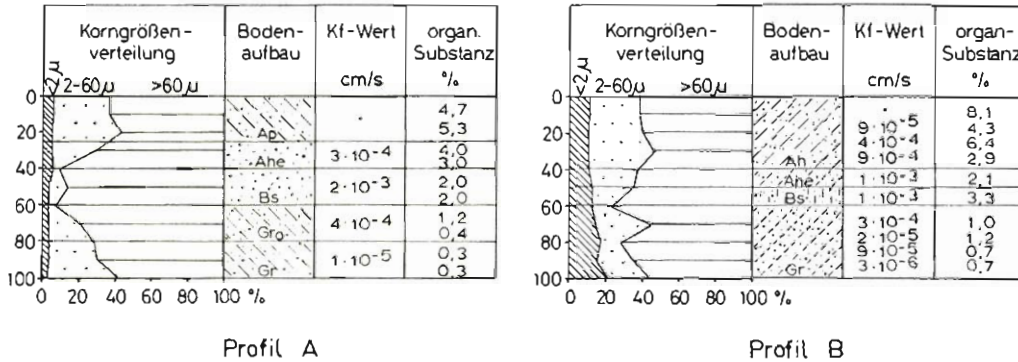


Abb. 2. Der Bodenaufbau in der höheren (Profil A) und in der tieferen Geländelage (Profil B) auf dem Versuchsfeld Norderheistedt

gelegenen Fläche steht er bei 90 cm an. Ein Horizont mit starkem Stauvermögen ($K_f = 1 \cdot 10^{-5}$; $3 \cdot 10^{-6}$) wurde in beiden Profilen in einer Tiefe von 9–10 dm nachgewiesen. Die Versuchsfläche beginnt kurz unterhalb einer Höhe, auf der ein Weg verläuft, und endet in der vom verrohrten Vorfluter durchflossenen Senke.

Die Tabelle 1 enthält die aus Pegelaufzeichnungen ermittelten Abflüsse in 63 Tagen des Winters 1964/65, an denen die drei hier ausgewerteten Pegel absolut einwandfrei geschrieben haben. Als Einzugsgebiet wurde nur die gedränte Fläche zugrunde gelegt, was vom Gelände her möglich erscheint. Von der oberen der drei in der Mitte des Feldes gelegenen Abteilungen 3, 4, 5 fließt in den 63 Meßtagen rund 26 % weniger Wasser ab als von der unteren. Die geländebedingten Unterschiede treten klar hervor, Unterschiede zwischen den Rohrarten sind nicht zu erfassen. Dieses in einem nur kurzen Beobachtungszeitraum ermittelte Ergebnis wird durch eine Auswertung von 39 Handmessungen in der Zeit von Mai 1964 bis April 1965 bestätigt. Die an den Abteilungen 3, 4 und 5 gezeigte Tendenz wiederholt sich für alle 7 Abteilungen (Tab. 2). Die geländebedingten Unterschiede scheinen bei niedrigen und mittleren Abflüssen ($q < 0,1$; $0,1 - 0,2$ l/s ha) wesentlich stärker zu sein als bei hohen. Die unteren Abteilungen laufen stärker nach. Bei den hohen Abflüssen ($q > 0,2$ l/s ha) sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Abteilungen vorhanden. Die Zahl der Messungen ist immer noch gering. Wir haben aber nach dem Frühjahr 1965 das Beobachtungsprogramm dieser kaum auswertbaren Anlage eingeschränkt und beobachten nur noch die Abflüsse der Abteilungen 1 (PVC) und 4 (Ton) durch Schreibgeräte.

Die Pegelaufzeichnungen des Abflusses dieser beiden Abteilungen wurden ausgewertet, um zu prüfen, in welchem Verhältnis die aus Pegelaufzeichnungen gewonnenen Werte zu den sich aus Handmessungen ergebenden stehen (Tab. 3). Die wöchentliche Summe des Abflusses wurde durch Planimetrierung der Schreibkurven ermittelt und der Mittelwert der 26 Wochen auf die

Tabelle 1
Abflußsummen von 3 benachbarten Dränabteilungen
Versuchsfeld Norderheistedt

Lfd. Nr.	Meßperiode	Tage	Dränabfluß in m ³ /ha		
			Abteilung 5 PVC	Abteilung 4 Ton	Abteilung 3 PE
1	1. 12.— 2. 12. 64	2	28,4	40,0	14,8
2	9. 12.—11. 12. 64	3	49,3	48,8	10,8
3	16. 12.—23. 12. 64	8	81,2	126,0	106,4
4	1. 1.— 8. 1. 65	8	207,7	158,8	182,0
5	12. 1.—15. 1. 65	4	72,4	59,0	67,3
6	19. 1.—30. 1. 65	12	160,6	100,3	88,6
7	1. 2.—26. 2. 65	26	243,7	199,1	152,8
	gesamt	63	843,3	732,0	622,7

Tabelle 2
Mittlerer Dränabfluß aus benachbarten Dränabteilungen
Versuchsfeld Norderheistedt
Handmessungen: 1. 5. 1964—30. 4. 1965

Nr.	Dränabteilung Rohrart	Höhe am Auslauf m + NN	Mittlerer Dränabfluß					
			<0,1 l/s ha		0,1—0,2 l/s ha		>0,2 l/s ha	
			(20 Messungen)		(9 Messungen)		(10 Messungen)	
			l/s ha	%	l/s ha	%	l/s ha	%
1	PVC, glatt, ungefiltert	6,68	0,026	51,8	0,121	76,8	0,259	90,9
2	PVC, gewellt, ungefiltert	6,09	0,042	83,8	0,130	82,6	0,297	104,3
3	PE, ungefiltert	5,56	0,043	85,8	0,150	95,3	0,316	110,9
4	Ton, ungefiltert	5,06	0,061	121,7	0,167	106,1	0,268	94,1
5	PVC, gewellt, gefiltert	4,72	0,045	89,7	0,159	101,0	0,271	95,1
6	PVC, glatt, gefiltert	4,26	0,063	125,6	0,192	122,0	0,300	105,3
7	PE, gefiltert	3,72	0,071	141,6	0,183	116,2	0,283	99,4
	im Mittel		0,050	100,0	0,157	100,0	0,285	100,0

Tabelle 3
Mittlerer Dränabfluß aus zwei Dränabteilungen bei unterschiedlicher Häufigkeit der Messungen
Versuchsfeld Norderheistedt
(Meßperiode 1. 2.—30. 4. 1966 und 1. 10.—31. 12. 1966)

Art der Messung	Anzahl der Werte	Abteilung 1 (PVC)		Mittlerer Dränabfluß Abteilung 4 (Ton)		Differenz	
		l/s ha	%	l/s ha	%	l/s ha	Signifikanz*
1 Handmessung in 2 Wochen	13	0,138	100,0	0,164	118,8	0,026	keine S.
1 Handmessung je Woche	26	0,128	100,0	0,172	134,4	0,044	P = 0,01
2 Handmessungen je Woche	52	0,134	100,0	0,176	131,3	0,042	P = 0,01
3 Handmessungen je Woche	77	0,129	100,0	0,166	128,7	0,037	P = 0,01
1 Handmessung je Tag	181	0,134	100,0	0,147	129,9	0,040	P = 0,01
Planimetrierung	26	0,128	100,0	0,167	130,5	0,039	P = 0,01

*) Nach WILCOXON-Test für Paardifferenzen (11).

Fläche bezogen. Es ergab sich ein Wert von 0,128 l/s ha für Abteilung 1 und 0,167 l/s ha für die Abteilung 4. Der Unterschied von 0,039 l/s ha ist hochsignifikant. Aus den beiden Schreibkurven wurden sodann verschieden häufig jeweils zum genau gleichen Termin Einzelwerte entnommen und die so entstehenden Zahlenkollektive in Tabelle 3 einander gegenübergestellt und statistisch miteinander verglichen.

Es ist eine für die Anlage vereinfachter, in der Praxis angelegter Dränversuche entscheidende Frage, ob man mit Handmessungen kennzeichnende Werte des Dränabflusses bekommt, oder ob das nur über technisch wesentlich aufwendigere, registrierende Meßapparaturen möglich ist. Es wird gegen die Einzelmessungen eingewandt (1), daß der Gang des Abflusses, besonders die Spitzenabflüsse, nicht erfaßt werden. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, auf jedem, auch auf vereinfachten Dränversuchsfeldern mindestens ein Abflußschreibgerät aufzustellen, um den Gang des Abflusses in seiner Beziehung zu den Niederschlägen, zum Grundwasserstand und zum Boden als eine Art Standortfaktor zur Hand zu haben. Die Erfüllung der Forderung, den Abfluß jedes einzelnen Dräns zu registrieren, würde die Anlage und Betreuung zahlreicher Dränversuche unmöglich machen. Es muß also untersucht werden, welchen Wert wöchentliche Abflußmessungen haben, die annähernd zu gleicher Zeit vergleichend an mehreren Prüfnummern durchgeführt werden.

Die Tabelle 3 zeigt zunächst wieder, daß aus den beiden Abteilungen 1 und 4 sehr unterschiedliche Wassermengen abfließen, weiter aber, daß unter den beschriebenen Verhältnissen die Wochenmessungen ähnliche oder gleiche Werte liefern, wie die durch Planimetrierung der Pegelbögen ermittelten. Aus der tiefer gelegenen Abteilung 4 laufen in den 26 Wochen im Frühjahr und Herbst 1966 30 % mehr ab als aus der höher gelegenen Abteilung 1. Es ergibt sich, daß die Differenz zwischen den Abteilungen immer statistisch signifikant ist, ganz gleich, ob von den Abflußkurven oder von den Handmessungen ausgegangen wird. Wenn eine Handmessung in zwei Wochen vorgenommen wird, ist in diesem Fall keine Sicherung mehr gegeben. Die Relativzahlen bei 1, 2, 3 und 7 Handmessungen je Woche, die aus den Schreibkurven simuliert wurden, schwanken zwischen 128,7 und 134,4 %. Sehr geringe, innerhalb der Fehlergrenze liegende Unterschiede sind bei verschiedener Häufigkeit der Messungen, abgesehen von den 14tägigen Werten, vorhanden. Diese geringen Unterschiede sind für die Beurteilung der Verhältnisse unseres Erachtens nicht das Wichtige. Es kommt für die Aussagen über einen vereinfachten Dränversuch entscheidend darauf an, ob signifikante Unterschiede zwischen Abteilungen bzw. Prüfnummern bestehen oder nicht. In diesem Falle sind sie mit wöchentlichen Handmessungen ebenso gut zu erfassen wie mit Schreibpegeln. Entstellende Fehler, die dadurch auftreten könnten, daß die Abflußspitzen der beiden Abteilungen unterschiedlich liegen, oder daß die Abflußkurven wesentlich unterschiedliche Formen haben, sind in unserem Falle nicht vorhanden. Das bestätigen übrigens auch die Schreibkurven. Die Spitzenabflüsse halten außerdem nur Stunden an. Die Hauptwassermengen bringen sie nicht. Die großen Unterschiede zwischen den Abteilungen zeigen jedoch deutlich, daß an dem Moränenhang bei recht ähnlicher Lage des Stauhizontes die natürlichen hydrologischen Unterschiede so stark sind, daß, abgesehen von dem Fehlen von Wiederholungen, eine solche Anlage nicht geeignet erscheint, feinere Unterschiede zwischen Rohrarten aufzudecken.

Der Versuch ist ein sehr kennzeichnendes Beispiel dafür, wie stark unterschiedliche hydrologische Verhältnisse den Dränabfluß beeinflussen. Die Blöcke, die die einzelnen Prüfnummern enthalten, müssen so gelegt werden, daß sie nicht nur unter ähnlichen Bodenverhältnissen, sondern auch unter ähnlichen hydrologischen Verhältnissen zu liegen kommen. Einer Anlage in einem solchen Gelände müßten etwa einjährige Beobachtungen des oberflächennahen Grundwassers voraufgehen, und die Blöcke wahrscheinlich entlang den Grundwassergleichen angelegt werden. Praktischer wäre im Altmoränengebiet allerdings eine Anlage auf der Wasserscheide.

Aber auch dort wären hydrologische Voruntersuchungen ratsam. Im übrigen muß man für die Versuchsfläche aus Grundwasserbeobachtungen und dem Abfluß den Schluß ziehen, daß im vorliegenden Falle trotz ähnlicher Bodenverhältnisse der Hang in seinen oberen Teilen mit wesentlich weiteren Dränabständen hätte gedrängt werden können als im unteren Teil.

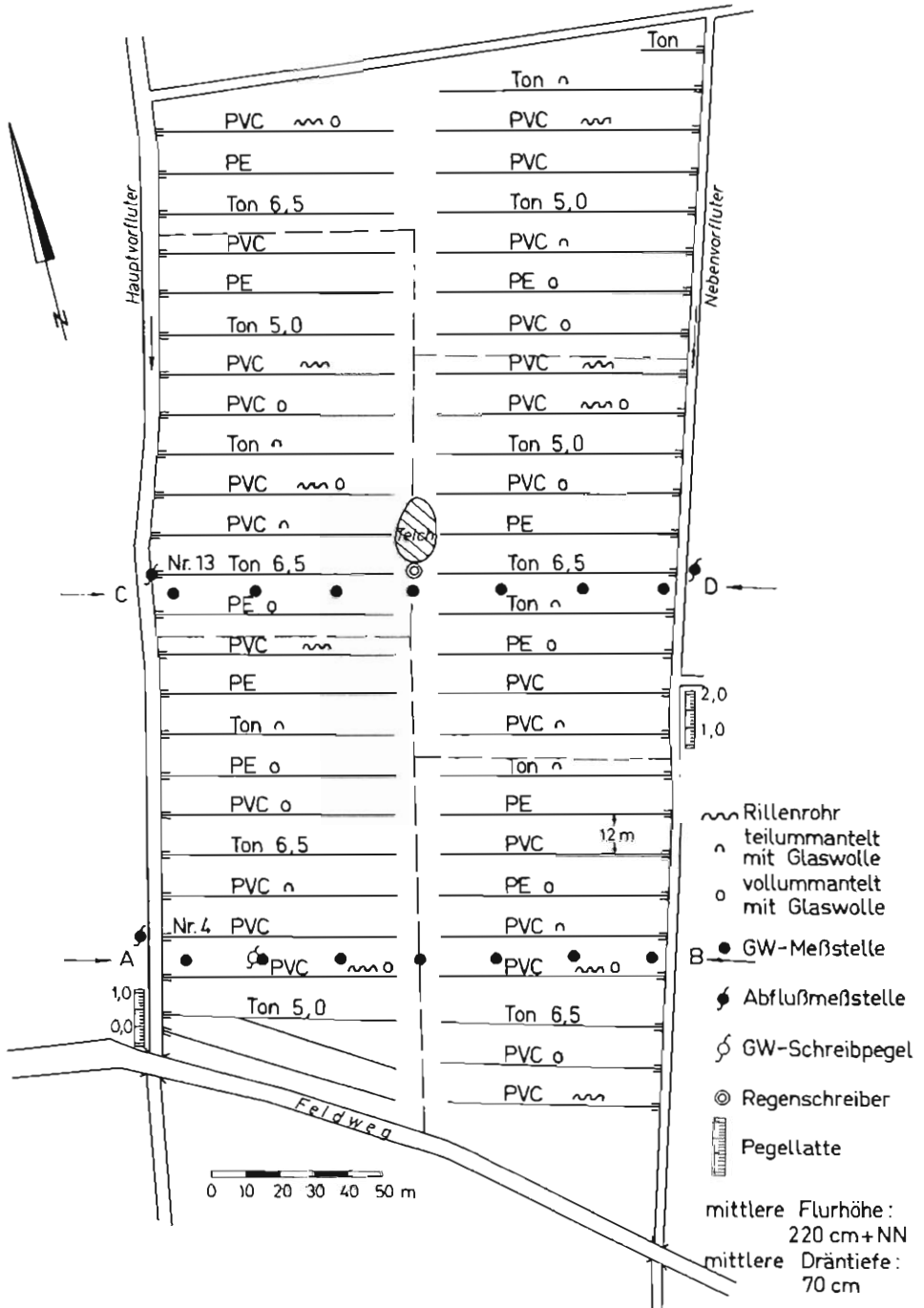


Abb. 3. Dränversuchsfeld Meldorf

2. Ein vereinfachter Dränversuch zur Einschlammungsfrage

a) Die Dräneinschlammung

In den meisten Fällen sind es Einzelflächen von wenigen Hektar Größe, die für die Anlage von vereinfachten Dränversuchen zur Verfügung stehen. Ein Beispiel für die Gestaltung der Dränung zur Beantwortung einer speziellen Versuchsfrage ist der Versuch in Meldorf (Abb. 3). Er wurde zunächst mit dem einzigen Ziel angelegt, die Bodeneinschlammung in verschiedenen

Rohrarten vergleichend zu beobachten. Wir wählten hierfür einen leichten Seemarschboden in ebener Lage, der nach langjährigen Erfahrungen alle 8 bis 12 Jahre eine neue Dränung mit Tonrohren erforderte, weil sie mit Bodenmaterial gefüllt waren. Die Abbildung 4 zeigt die Textur- und Profilsprache sowie die gute Durchlässigkeit des Bodens bis 125 cm Tiefe. Das Grundwasser steht nur im Winter längere Zeit oberhalb der Dräntiefe. Der Abfall des Grundwasserspiegels in Trocken- oder Frostperioden setzt sich auch unterhalb der Dräntiefe fort, so daß der Spiegel im Sommer etwa 1 m unterhalb Dräntiefe, d. h. bei + 0,50 m NN steht. Dabei fließt das Grundwasser schräg zum Hauptvorfluter, dessen Sohle bei + 0,30 m NN liegt. Bei hohen Grundwasserständen ändert sich die Fließrichtung. Es steht dann im südlichen Teil höher als in der Mitte des Feldes. Trotzdem hält der Besitzer die Dränung der Fläche für unbedingt erforderlich. Erst mit Einrichtung des Versuchs wurde eine Einebnung der Grünbeete vorgenommen.

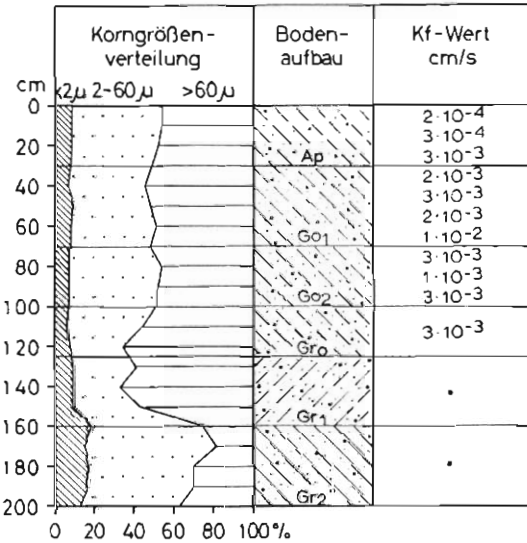


Abb. 4. Bodenaufbau Versuchsfeld Meldorf

Die Messungen der Eintrittsöffnungen an den aufgedugenen Rohren haben für das glatte PVC-Rohr 14,5 cm² je lfdm, für das Polyäthylenrohr 13,4 cm² je lfdm und für das PVC-Rillenrohr 5,7 cm² je lfdm ergeben. Die rechteckigen Öffnungen befinden sich bei letzteren auf den Scheiteln der Rillen. Für die Ummantelung bzw. Überdeckung wurde einheitlich das Mefi-filter verwandt. Die verschiedenen Rohrarten wurden einzeln nebeneinander gelegt und die 5 Wiederholungen zufällig verteilt. Der Versuch wurde von einer sehr gut eingeführten Handkolonne gelegt, das Gefälle jedes einzelnen Stranges auf Genauigkeit überprüft.

Aus den Strängen wurden in den Frühjahren 1965 und 1966 jeweils Stichproben von 33 cm Länge, insgesamt 68, ausgegraben, der Inhalt ausgewaschen, getrocknet und gewogen. Im Frühjahr 1966 wurde auch die Textur des eingeschlammten Materials bestimmt. Die wichtigsten Ergebnisse der Einschlammung sind in der Tabelle 4 angegeben.

Bei Gegenüberstellung der 6,5-cm-Tonrohre mit den Kunststoffrohren (NW 40) ergibt sich nach 2 Versuchsjahren ein Verhältnis der Einspülmenge von 100 : 10. Das 5-cm-Tonrohr verhält sich wesentlich günstiger. Das dürfte aber, wenn überhaupt, nur zum Teil auf den geringeren Rohrdurchmesser zurückzuführen sein. Ohne daß wir es an den aufgedugenen Rohren genau nachweisen können, scheinen die Schnittflächen der verwendeten 5-cm-Rohre wesentlich

ebener als die der 6,5-cm-Rohre zu sein, wenn deren Maße auch innerhalb der Norm ausreichen.

Aus entsprechenden Beobachtungen wissen wir, daß die Einschlämmung in Modellversuchen naheliegenderweise mit der Schlitzgröße meist zunimmt. Es war daher zu erwarten, daß in Tonrohren mit ihrer unbekanntenen Größe der einzelnen Eintrittsöffnung und bei 2 mm zulässiger mittlerer Abweichung der Schnittflächen von der Ebene am meisten eingeschlämmt wird.

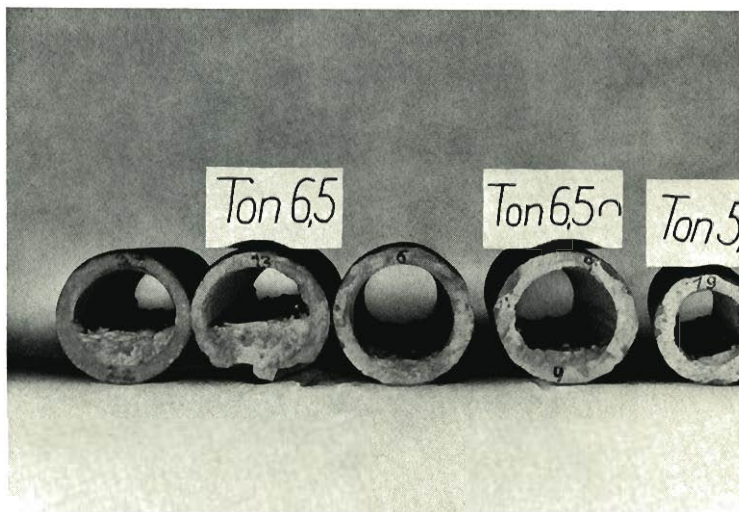


Abb. 5. Unterschiedliche Einschlämmung in Tonrohren

Die Abbildung 5 zeigt die extrem unterschiedliche Füllung der Tonrohre. Wir müssen annehmen, daß große Materialmengen in diese Rohre durch einzelne Eintrittsöffnungen eingeschlämmt werden, die übergroß sind, und offensichtlich waren bei den 6,5-cm-Rohren wesentlich mehr derartige übergroße Öffnungen vorhanden als bei den 5-cm-Rohren. Ähnliche Beobachtungen (7, 9) unterstützen diese Annahme. Für den großen Streubereich der Einschlammungswerte bei den Tonrohren ist es auch bezeichnend, daß die Filterwirkung, die durch Bedecken der Tonrohre mit Glaswollfilter entstand, nur im ersten Jahr eine gesicherte Differenz zu den bedeckten Tonrohren ergab. Der im zweiten Jahr ermittelte Unterschied von rund 100 g/0,33 m war nicht mehr signifikant.

Die Wirkung der Vollummantelung, die lediglich bei Kunststoffrohren angewandt wurde, war recht eindrucksvoll. Bei den geringen Einspülmengen des ersten Jahres war sie zwar auch nicht gesichert, im zweiten Jahr stellten sich aber deutliche Differenzen heraus. Besonders beim glatten Rohr wurde eine starke Wirkung der Vollummantelung erreicht (7 %). Beim gewellten Rohr war sie wesentlich geringer (51 %). Im ersten Fall wurden nur 9 g/0,33 m bei gefiltert gegenüber 124 g/0,33 m bei ungefiltert im Mittel der entnommenen Proben gefunden.

Vermutlich wegen der größeren Summe der Eintrittsöffnung ist die eingeschlammte Bodenmenge im glatten PVC-Rohr, wenn auch nicht verhältnismäßig, größer als im gewellten Rohr (124 g : 75 g). Umgekehrte Ergebnisse liefern die gefilterten Rohre (9 g : 38 g). Zwei Gründe können an dieser Erscheinung beteiligt sein:

1. kann mit BRINK und JÖNSSON (4) angenommen werden, daß Bodenmaterial aus glatten Rohren leichter ausgespült wird. Daß das auch bei uns der Fall ist, zeigt die Tabelle 6. Auf sie kommen wir später zurück;

Tabelle 4
Mittlere Einschlammung und Filterwirkung
im 1. und 2. Jahr nach der Anlage auf dem Dränversuchsfeld Meldorf

	Einschlammung in 33 cm Dränrohr				Filterwirkung	
	nach 1. Jahr g	nach 1. Jahr %	nach 2. Jahr g	nach 2. Jahr %	nach 1. Jahr Ein- schlammung bei ungef. = 100	nach 2. Jahr Ein- schlammung bei ungef. = 100
normales Ton-Rohr	Ø 5,0 cm, ungefiltert	1,5	1	63,7	10	
	Ø 6,5 cm, ungefiltert	151,9	100	631,0	100	
	Ø 6,5 cm, Filter überdeckt	77,2	51	532,2	84	51 % P = 0,05 84 % keine S.
glattes PVC-Rohr längsgeschlitzt Eintrittsfläche: 14,5 cm ² /lfdm.	NW 40, ungefiltert	8,5	6	123,7	20	
	NW 40, vollgefiltert	4,6	3	9,0	1	55 % keine S. 7 % P = 0,05
gewelltes PVC-Rohr schiebelschlitzt Eintrittsfläche: 5,7 cm ² /lfdm.	NW 40, ungefiltert	3,9	3	75,3	12	
	NW 40, vollgefiltert	3,7	2	38,3	6	95 % keine S. 51 % P = 0,10
Tonrohre, Ø 6,5 cm Kunststoffrohre, NW 40		114,6	100	581,6	100	
		5,2	4,5	61,6	10,6	Signifikanz ^{*)} P = 0,01

^{*)} Nach Wilcoxon-Test für Paardifferenzen (11).

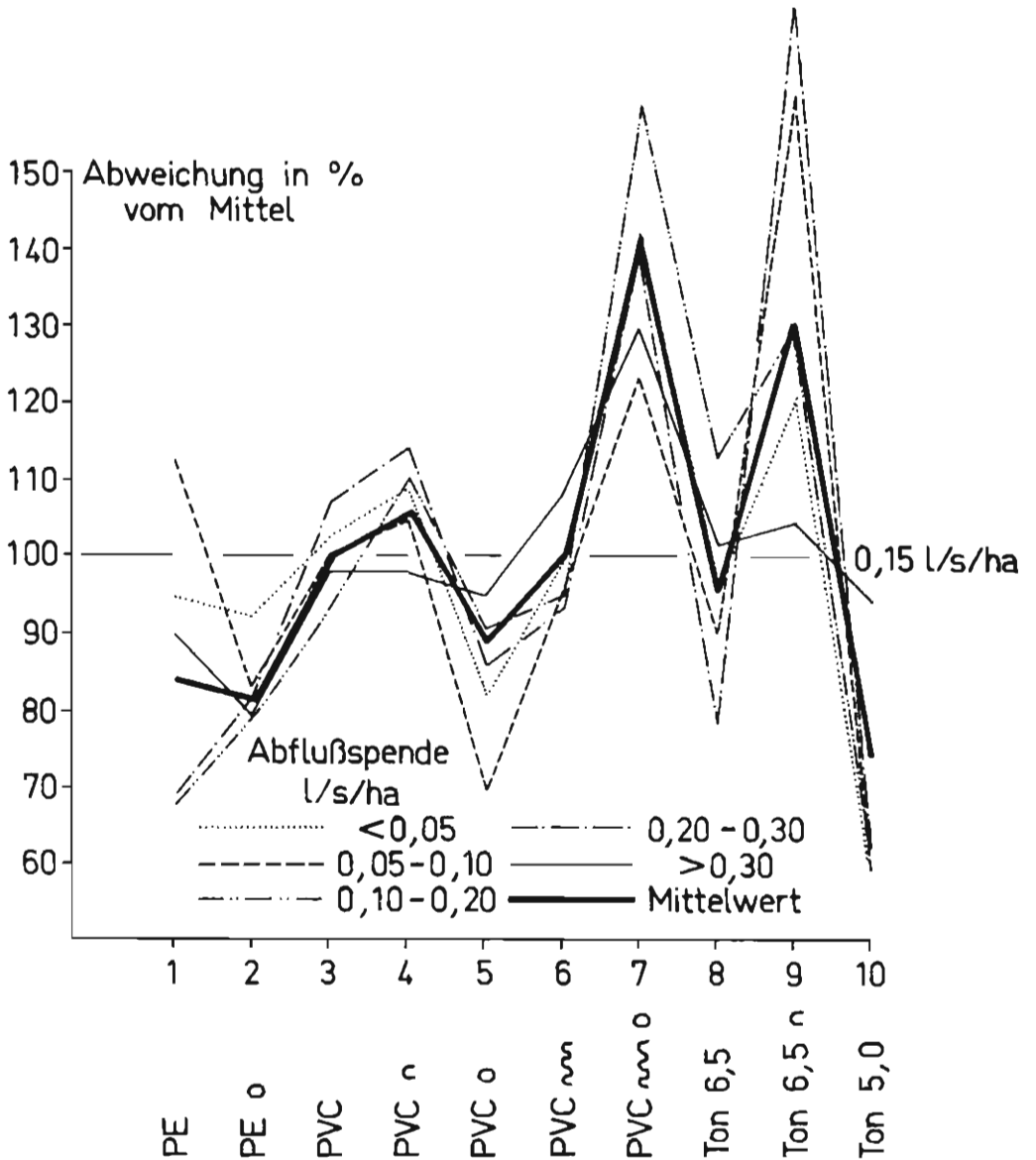


Abb. 6. Der Dränabfluß unterschiedlicher Rohrarten auf dem Versuchsfeld Meldorf (23 Handmessungen Dezember 1964—April 1966)

2. muß die geringe Einschlämmenge beim vollummantelten, glatten Rohr unserer Beobachtung nach darauf zurückgeführt werden, daß das Glaswollfilter unter Bodendruck hier wesentlich fester an der äußeren Rohrwand anliegt als beim gewellten Rohr. Dadurch wird offenbar eine stärkere Filterwirkung erzielt, andererseits aber auch der Abfluß beeinträchtigt (siehe Abb. 6).

Erst langjährige Beobachtungen werden endgültige Schlüsse auf die Eignung der Rohrart für diesen Standort zulassen. Die bisher gewonnenen Zahlen lassen aber deutlich erkennen, daß es gelingen wird, die gestellte Versuchsfrage mit der Anlage zu beantworten.

Die Vollummantelung wirkt sich deutlich auf die Zusammensetzung des eingeschlammten Materials aus (Tab. 5). Der in die Tonrohre eingespülte Boden unterscheidet sich bezüglich des Tonanteiles (10 %) nicht wesentlich von dem Boden selbst (siehe Abb. 4), ganz gleich, ob die Tonrohre eine Filterauflage haben oder nicht. Der Schluffanteil (2—60 μ) ist allerdings verstärkt, der Sandanteil gegenüber dem gewachsenen Boden reduziert. Durch die Vollfilter verändert sich die Zusammensetzung des in die Kunststoffrohre eingeschlammten Bodens ganz wesentlich. Der Tonanteil steigt auf über 40 % an, der Sandanteil geht bis auf ganz geringe Anteile zurück.

Der Versuch bestätigt die häufig geäußerte Meinung nicht, daß die Einschlammung im ersten Jahr am stärksten ist. Wahrscheinlich waren es die starken Herbstregen 1965, die die Einschlammung gegenüber dem ersten Jahr bei Tonrohren vervierfacht und bei den Kunststoffrohren verachtfacht haben.

Tabelle 5
Eingeschlammte Bodenfraktionen in Dränrohren
Versuchsfeld Meldorf

Bodenfraktion (Anteile in Gew. %)			Tonrohre		Kunststoffrohre			
			normal ϕ 6,5 cm		glatt (PVC) ϕ 4,0 cm		gewellt (PVC) ϕ 4,0 cm	
			un- gefiltert	Filter überdeckt	un- gefiltert	gefiltert	un- gefiltert	gefiltert
Ton	< 2 μ	9,9	9,2	11,1	40,4	18,1	44,3	
Schluff	fein u. mittel 2—20 μ	10,8	11,7	10,1	20,4	8,1	28,9	
	grob 20—60 μ	59,6	51,9	47,7	31,7	53,6	20,4	
Sand	> 60 μ	19,7	27,2	31,1	7,5	20,2	6,4	

Tabelle 6
Die mittlere Bodenausspülung aus Dränrohren
Versuchsfeld Meldorf
Meßperiode: 1. 6. 1964—15. 3. 1965 und 16. 12. 1965—11. 5. 1966

Lfd. Nr.	Dränrohrvariante	Ausgespülte Bodenmenge	
		g	%
1	PE, ungefiltert	39,3	12,7
2	PE, vollgefiltert	21,9	7,1
3	PVC, glatt, ungefiltert	130,5	42,1
4	PVC, glatt, Filter überdeckt	75,9	24,5
5	PVC, glatt, vollgefiltert	30,2	9,7
6	PVC, gewellt, ungefiltert	46,5	15,0
7	PVC, gewellt, vollgefiltert	8,2	2,7
8	Ton, ϕ 5,0 cm, ungefiltert	107,1	34,5
9	Ton, ϕ 6,5 cm, ungefiltert	310,1	100,0
10	Ton, ϕ 6,5 cm, Filter überdeckt	231,8	74,7

b) Die Dränausspülung

Die Ergebnisse der Dräneinschlammung spiegeln sich in den Beobachtungen der Ausspülung aus den mit $J = 0,3$ % verlegten Dräns wider (Tab. 6). Die Bodenmengen, die wir hier in 2 Winterperioden erfaßt haben, sind gegenüber den eingespülten Mengen sehr gering. Nachdem in Abflußmeßkästen Sandausspülungen beobachtet wurden, haben wir auf die Dränausläufe 50 cm lange Perlonbeutel gebunden, die unmittelbar unter der Verbindung mit den Roh-

ren mehrere große Öffnungen von 0,5 cm Durchmesser hatten, aus denen das Wasser unter Zurücklassung von Bodenmaterial überlief. Wir konnten mit einer solchen Einrichtung wohl vorwiegend nur Sand auffangen. Die so gewonnenen Werte standen aber schon nach dem ersten Winter 1964/65 in so guter Beziehung zu den Werten der Einschlammung, daß wir die Beutel im Winter 1965/66 wieder angebracht haben. Auch hier liegen die Werte bei den 6,5-cm-Tonrohren außerordentlich hoch. Durch die Überdeckung mit Glaswollfilter werden sie reduziert. Die Ausspülmenge ist hier bei glatten Kunststoffrohren rund 3mal so groß wie bei den gewellten Rohren. Für sich allein gewertet sind die Ermittlungen nicht beweiskräftig, als Stütze für die Ermittlung der Einspülmengen sind sie aber wohl nicht wertlos.

c) Der Abfluß

Bei fast allen Vorschlägen für die Einrichtung von Dränversuchsfeldern wird darauf hingewiesen, daß es erforderlich sei, die Versuchsabteilungen oder Stränge durch gleichartig verlegte Stränge abzuschirmen. Für vereinfachte Dränversuche werden sogar oft größere, unterschiedlich

Tabelle 7
Gruppierung der Dränrohrarten nach der mittleren Dränabflußspende
Versuchsfeld Meldorf
23 Handmessungen Dez. 1964—Apr. 1966

Dränabfluß q in l/s ha	schwach < 0,140	mittel 0,140—0,170		stark > 0,170
% vom Gesamtmittel				
Ton 5,0	74	Ton 6,5	97	Ton 6,5 ^ 130
PE	84	PVC ~	100	PVC ~ o 139
PE o	81	PVC	100	
PVC o	89	PVC ^	105	

Die Differenzen zwischen den Gruppen sind statistisch signifikant!

gedrännte Flächen, meist dann aber ohne Wiederholung, nebeneinandergestellt, wie es ja auch in der Anlage Norderheistedt geschehen ist. Für exaktere Versuche werden 3—5 gleichartige Stränge gefordert, von denen der oder die mittelsten als Versuchsstränge angesehen werden. Wir haben Versuche mit 1, 2 und 3 gleichartigen Strängen angelegt. Beim Meldorfer Versuch konnte jeder Strang eine andere Form haben, weil es zunächst nur um die Ermittlung der Einschlammung ging. Es erwies sich nun aber, daß auch bei den wenigen möglichen Abflußmessungen vom Dezember 1964 bis April 1966 trotz großer Streuungen der Einzelwerte signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Rohrarten auftraten.

Die Arten mit den jeweils ähnlichen Abflußverhalten sind in der Tabelle 7 aufgeführt. In der Abbildung 6 sind, wie in Tabelle 7, die vergleichenden Abflußmengen in % des Gesamtmittels der 1150 Messungen (0,15 l/s ha) ausgedrückt dargestellt worden. Zusätzlich ist aber das Abflußverhalten bei 5 verschiedenen Abflußintensitäten ($q < 0,05$ bis $> 0,30$ l/s ha) aufgezeichnet, um zu prüfen, ob die Werte bei starken und schwachen Abflüssen sich ähnlich verhalten wie die Gesamtmittel. Grundsätzlich ist das der Fall. Erst in längeren Beobachtungsperioden kann sich erweisen, ob der relativ geringe Abfluß bei Werten $q > 0,30$ l/s ha bei den filterüberdeckten Tonrohren oder der relativ starke Abfluß bei 5-cm-Tonrohren bei gleicher Abfluß-

intensität signifikant sind. Im allgemeinen sind offenbar in diesem Versuch die Rangordnungen bei hohen Abflüssen nicht nennenswert andere als bei niedrigen Abflüssen.

Wie bei dem Versuch Norderheistedt haben wir auch im Meldorfer Versuch mit seinen sehr unruhigen Gang und dem häufigen Versiegen des Abflusses die Wochensummen durch Planimetrieren der Ganglinie aus den Schreibpegeln bei Dränausfluß 4 und 13 ermittelt. Diesen Ganglinien wurden wie beim Versuch Norderheistedt (S. 46) in unterschiedlichen Abständen Einzelwerte als Stichproben zur Charakterisierung des Abflußverhaltens entnommen. Die beste Übereinstimmung mit den aus der Planimetrierung abgeleiteten Wochenwerten sind hier gemäß Tabelle 8 bei 2 Werten je Woche gegeben. Im übrigen streuen die Werte und liegen zwischen 92,6 und 106,5, wenn die planimetrierten Werte = 100 gesetzt werden.

Tabelle 8

Mittlerer Dränabfluß eines PVC- und eines Ton-Dräns bei unterschiedlicher Häufigkeit der Messungen Versuchsfeld Meldorf

Art der Messung	Anzahl der Werte	mittlerer Dränabfluß						
		Drän 4 (PVC)		Drän 13 (Ton)		Differenz		Signifikanz*)
		l/s ha	%	l/s ha	%	l/s ha	%	
1 Handmessung in 2 Wochen	13	0,376	96,2	0,290	110,3	0,086	29,7	P = 0,05
1 Handmessung je Woche	26	0,375	95,9	0,258	98,1	0,117	45,3	P = 0,10
2 Handmessungen je Woche	52	0,393	100,5	0,259	98,5	0,134	51,7	P = 0,02
3 Handmessungen je Woche	78	0,362	92,6	0,280	106,5	0,082	29,3	P = 0,01
1 Handmessung je Tag	182	0,370	94,6	0,270	102,7	0,100	37,0	P = 0,01
Planimetrierung	26	0,391	100,0	0,263	100,0	0,128	48,7	P = 0,01

*) Nach WILCOXON-Test für Paardifferenzen (11).

Es ist immer die für die Beurteilung des gegenseitigen Verhaltens wichtige hochsignifikante Differenz zwischen den Abflußwerten dieser beiden Einzeldräns vorhanden. Auch bei unruhigem Gang der Abflußkurven ergeben hier Werte aus Einzelmessungen das gleiche Ergebnis wie Werte aus Ganglinien. Der vorhandene recht beträchtliche Unterschied zwischen dem Drän Nr. 4 (PVC) und Drän Nr. 13 (Ton 6,5) ergibt sich bei den Mittelwerten aus 5 Wiederholungen für diese beiden Rohrarten nicht. Beide Dräns stehen in der mittleren Gruppe (siehe Tab. 7), ihr Abfluß wurde gleich bewertet. Es bestätigt sich wieder, wie unterschiedlich der Abfluß von Drän zu Drän sein kann. Erst wenn ein Zahlenmaterial aus 5 Wiederholungen zur Verfügung steht, sind in unserem Fall trotz starker Streuung der Einzelwerte statistisch signifikante Aussagen über das mittlere Abflußverhalten der einzelnen Rohrarten möglich. Die Einzelmessungen besitzen aber auch hier eine Aussagekraft für die Abflüsse und deren Unterschiede zwischen den Strängen.

An dieser Stelle muß auch auf die von uns benutzte Verrechnung der gewonnenen Werte eingegangen werden. Wir verdanken dem Variationsstatistiker unserer Fakultät, Herrn Dozent Dr. WEBER, die Anregung, hierfür den Test für Paardifferenzen nach WILCOXON (11) heranzuziehen. Er ist geeignet, die Signifikanz der Differenzen von parameterfreien Kollektiven zu errechnen. Zufallsverteilung der Werte ist nach Lage der Dinge bei Abflußganglinien nicht gegeben. Voraussetzung ist allerdings, daß zwischen den verglichenen Wertpaaren Korrelationen bestehen. Diese Voraussetzung ist allerdings in unserem Falle wohl immer gegeben, da die Ganglinien des Dränabflusses oder des Grundwasserstandes aller Stränge eines Feldes oder die Einzelmessungen von den Niederschlägen abhängen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit, der Wert P,

ist ein Maß für die statistische Sicherheit der Differenzen. Je kleiner er ist, desto größer ist die Sicherheit. Im allgemeinen spricht man bei Feldversuchen in der Landwirtschaft bei $P = 0,01$ von gut gesicherten, bei $P = 0,05$ von gesicherten, bei $P = 0,1$ von noch gesicherten Unterschieden. Die Grenzen richten sich nach den Versuchsanlagen.

Der Abfluß aus den glaswollummantelten, gewellten PVC-Rohren, die, wie bereits gesagt, auf dem Wellenkamm gelocht sind, überragt bei weitem den aller anderen Kunststoffrohre. Besonders stark ist die Überlegenheit dieser Rohrart bei den mittleren Abflüssen ($q = 0,1-0,2$ l/s ha). Diese Rohrart muß zunächst angesichts ihrer verhältnismäßig geringen Einschlammmenge als die für diesen Standort beste angesehen werden. Da dieses Rohr, wie jedes andere, fast immer verschiedene Nachbarn hat, muß diese Überlegenheit wohl auf das Rohr selbst zurückgeführt werden. Der zweithöchste, mittlere Abfluß wurde bisher bei dem mit Glaswolle überdeckten 6,5-cm-Rohr festgestellt. Seine Einschlammung ist aber sehr groß. Dann folgt die Gruppe PVC glatt, PVC glatt mit Filter überdeckt und PVC gewellt, der auch das Tonrohr 6,5 zuzurechnen ist. Schwächste Abflüsse zeigen das 5-cm-Tonrohr, die Polyäthylenrohre und das vollummantelte, glatte PVC-Rohr. Der bei den Einzelmessungen ermittelte mittlere Abfluß schwankt zwischen 0,11 l/s ha und 0,21 l/s ha oder, in % vom Gesamtmittel (0,15 l/s ha) ausgedrückt, zwischen 74 und 139 %. Eine statistische Sicherung ist nur zwischen den in der Tabelle 7 im einzelnen angeführten Gruppen gegeben, deren Relativzahlen ja auch jeweils nahe beieinander liegen. Die Überlegenheit des mit Glaswollfilter überdeckten Tonrohres und des ummantelten Rillenrohres ist eindrucksvoll. Um 50 % höhere Werte wurden hier gegenüber der Gruppe mit dem schlechten Abfluß ermittelt.

Wie können so unterschiedliche Abflußmengen zustande kommen? Zunächst wird man doch von dem Gedanken ausgehen, daß bei gleichem Einzugsgebiet der Stränge auch gleiche Wassermengen abzuführen seien, Unterschiede könnten höchstens bei der Geschwindigkeit des Abflusses dieser auf jedes Stranggebiet entfallenden Wassermenge bestehen. Unterschiede in der Größe des Einzugsgebietes in dem Sinne etwa, daß vor Kopf der Dräns Zufluß erfolgt, können im Meldorfer Versuch nicht auftreten, weil die 4,94 ha große Fläche an 3 Seiten von Gräben, an der 4. Seite von einer Straße begrenzt und die ganze Fläche systematisch gedränt ist (siehe Abb. 3).

Wie unsere ersten Auswertungen der Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluß an diesem Standort andeuten, laufen die Dräns bei stärkerem Regen auch dann, wenn das Grundwasser unter den Dräns steht. Sie führen also nicht nur Grundwasser, sondern auch Sickerwasser aus evtl. auftretendem Stauwasser oder durch Druckübertragung sogar kapillar gebundenes Wasser ab. Dabei könnte die Überlegenheit eines Dräns mit höherer Aufnahmeleistung dadurch zustande kommen, daß in seinem Bereich weniger Regenwasser dem Grundwasser zusickert. Vor allem aber wird sich eine bessere Aufnahmeleistung insofern auswirken können, daß den benachbarten Stranggebieten Wasser entzogen wird. Da in unserem Falle z. B. das scheidelgeschlitzte PVC-Rillenrohr mit Glaswolle immer neben Rohren geringerer Aufnahmeleistung liegt, sind die bei ihm gefundenen Werte vermutlich nicht unbedeutend überhöht, die seiner Nachbarn verringert. Da wir aber auf die Ermittlung des landwirtschaftlichen Ertrages verzichten und nur die Funktion der einzelnen Stränge vergleichend beobachten wollen, erscheint eine Anlage wie diese, in der die einzelnen Stränge sozusagen in Konkurrenz treten, durchaus brauchbar. Infolge der zufälligen Verteilung der fünf Wiederholungen treten gleiche Nachbarn nur selten auf. Uns scheint es für einen solchen Versuch wegen der wechselnden hydrologischen Verhältnisse, mit denen wir auch auf so ebenen Flächen wie diesen rechnen müssen, wichtiger, die Zahl der Wiederholungen zu erhöhen und die Stränge auf engem Raum miteinander zu vergleichen als die absolute Leistung zu ermitteln.

Jeder Feldversuch hat die Aufgabe, die Wirkung verschiedener Abstufungen eines Faktors

zu prüfen. Er stellt eine Stichprobe dar und kann nur Näherungswerte liefern. Solange es darauf ankommt, lediglich Vergleiche anzustellen und nicht absolute Maßstäbe zu ermitteln, ist eine Versuchsanlage, die die Unterschiede verschärft, zum mindesten für die Praxis des ganz in den Anfängen stehenden Dränversuchswesens wohl kaum abzulehnen. Eine Anlage ohne Gruppen gleichartiger Stränge hat den Nachteil, daß die Wirkung der Dränung auf den Stand des Grundwassers nicht beobachtet werden kann, und daß die Unterschiede durch die gegenseitige Beeinflussung der Einzugsgebiete verschärft sind. Sie eignen sich weniger zur Prüfung der wichtigen Fragen des Dränabstandes und der Dräntiefe, erscheinen aber brauchbar, um die Fragen der Bodeneinschlammung der Verockerung, der Aufnahmeleistung der Rohre, der Stranglänge und dergleichen unter Feldbedingungen zu studieren.

3. Zusammenfassung

Zur Prüfung der Dränfunktion und -wirkung ist die Anlage zahlreicher Feldversuche erwünscht. Das Institut hat zur Erreichung dieses Zieles 10 vereinfachte Dränversuchsfelder in Schleswig-Holstein angelegt, die sich auf die Beobachtung der Funktion der Dränung beschränken, auf die Bestimmung des landwirtschaftlichen Ertrages also verzichten. Bei der Anlage der 10 bisher laufenden Versuche haben wir, soweit sie von uns selbst angelegt wurden, 3 Grundsätze befolgt:

1. Alle Stränge münden einzeln in Gräben oder zu dreien in Schächten aus, damit von jedem Strang der Abfluß gemessen werden kann.
2. Die Prüfnummern treten in 2- bis 5facher Wiederholung auf.
3. Jeder Versuch dient nur zur Prüfung einer Versuchsfrage.

An einer von der Kulturbaupraxis dem Institut zur Beobachtung übergebenen Anlage wird zunächst nachgewiesen, daß der Vergleich einzelner, verschieden gedränkter Abteilungen keine Aussagen über die Funktion der Varianten zuläßt. Im vorliegenden Fall ändern sich die hydrologischen Verhältnisse innerhalb des Versuchsfeldes so stark, daß die Abflußmessungen nur den Einfluß des unterschiedlichen Grundwasserandrages, nicht aber den der sieben Versuchsvarianten widerspiegeln.

Der Versuch Meldorf, über dessen Anlage und Auswertung im einzelnen berichtet wird, wurde mit dem Ziel angelegt, die Einschlammung von Bodenmaterial in Ton- und Kunststoffrohre zu ermitteln. Auf dem schluffig-sandigen Seemarschboden des Versuches wurden nach zwei Jahren in 6,5-cm-Tonrohren eine 10fach stärkere Einschlammung als in Kunststoffrohren mit 5,7 bis 14,5 cm² Eintrittsöffnung je lfdm festgestellt. Die 5-cm-Tonrohre wiesen ebenfalls eine geringere Einschlammung auf. Glaswollfilter (Mefifilter) fördern den Abfluß bei dem in unserem Versuch noch auf den Kämmen gelochten Rillenrohr. Bei glatten PVC-Rohren wird der Abfluß, aber auch die Einschlammung durch das Filter vermindert.

Die vergleichende Beurteilung der gemessenen Abflüsse läßt den Schluß zu, daß mit wöchentlicher vorgenommenen Einzelmessungen gleiche oder ähnliche statistisch zu sichernde Unterschiede zwischen den Prüfnummern gewonnen werden können, wie mit Auswertungen aus Schreibpegeln. Wenn nebeneinanderliegende Stränge jeweils andere Form haben, vergrößern die Rohrarten mit besserer Aufnahmeleistung ihr Einzugsgebiet auf Kosten der Nachbarn. Dadurch, daß die Rohrarten in Konkurrenz miteinander treten, erscheinen die erzielten Differenzen der Abflußwerte überhöht.

4. Schriftenverzeichnis

1. BELLIN, K.: Entwicklung und Probleme des Dränversuches unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches. Mitt. aus dem Institut für Wasserwirtschaft und landw. Wasserbau der TH Hannover, Heft 4, 1964.
2. BELLIN, K.: Voraussetzungen für repräsentative Dränversuche. Wasser und Boden 18, 1966, 314—318 und 399—403.
3. BINSACK, R.: Ein Dränversuch auf Flußmarsch. Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 5, 1964, 224—238.
4. BRINK, N., und JÖNSSON, B.: Materialtransport in Dränrohren aus Kunststoff. Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 7, 1966, 291—299.
3. EYLERS, H.: Zur Diskussion des Beitrages R. BINSACK „Ein Dränversuch auf Flußmarsch“. Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 6, 1965, 168—173.
6. FALB, K., und FEICHTINGER, F.: Der Dränversuch in Großhöflein. Österr. Wasserw. 17, 1965, 237—239.
7. HUSEMANN, C.: Erster Bericht über das Dränversuchsfeld des Obstbauberatungsringes Seester-mühe. Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 5, 1964, 30—39.
8. HUSEMANN, C., und PAHLKE, K.: Vergleichende Feldversuche mit Dränrohren aus Kunststoff und Ton. Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 6, 1965, 334—346.
9. KAMINSKI, F.: Aktuelle Probleme der praktischen Dränung. Wasser und Boden 18, 1966, 105—109.
10. SCHEROTZKI, B.: Ergebnisse der Auswertung einer Beispieldränung mit Kleinschöpfwerk. Wasser und Boden 18, 1966, 110—113.
11. WILCOXON, F., und WILCOXON, R. A.: Some rapid approximate statistical procedures. New York, Lederle Laboratories, 1964.