

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 61 (1963)

Heft: 5

Artikel: Der Nachweis der Dränbedürftigkeit auf Grund neuester Versuchserfahrungen

Autor: Schwendinger, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-218446>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

mie rurale et d'urbanisme. Aujourd'hui la solution a été réalisée pour les trois échelons: le géomètre ou ingénieur rural-géomètre, le technicien et le dessinateur.

La solution adoptée par les écoles supérieures a en effet été complétée par l'introduction, aux technicums des deux Bâles et de Lausanne, d'un cours pour techniciens du cadastre de six semestres, dont quatre semestres de théorie et deux de stage pratique.

Le postulat Leu était donc dépassé par les faits.

Au terme de la réunion M. le conseiller fédéral Tschudi, après avoir pris acte que le nouveau règlement pour les examens fédéraux des géomètres, qui prévoit la réduction de la pratique à une année, sera présenté d'ici peu au Conseil fédéral, a exprimé sa satisfaction pour l'heureux résultat atteint et le vœu que la solution ainsi donnée au problème des études soit en mesure de permettre, d'ici peu d'années, de porter un remède efficace à la situation critique actuelle. Le même souhait a été formé par les associations.

Der Nachweis der Dränbedürftigkeit auf Grund neuester Versuchserfahrungen

Von Dipl.-Ing. Dr. agr. E. Schwendinger, Bregenz

Einleitung der Redaktion. Anlässlich der diesjährigen Jahresversammlung des Schweizerischen Nationalkomitees für Bewässerung, Entwässerung und Kulturtechnik konnte als Gast und Referent Herr Dipl.-Ing. Dr. E. Schwendinger vom Wasserverband Rheindelta begrüßt werden. Dieser stellte nunmehr das Manuskript für die Publikation seines Vortrages in unserer Zeitschrift zur Verfügung, wofür ihm an dieser Stelle herzlich gedankt sei. Lü.

Der Gedanke und die Forderung, in den verschiedensten Gebieten planmäßige Dränversuche durchzuführen, ist nicht neu. Schon im Jahre 1890 hat Merl auf deren Wichtigkeit hingewiesen, und später befürworteten Fischer, Fauser, Krüger, Ramsauer und Ramser die Durchführung solcher Versuche. Von Fauser wurden schon früher Vorschläge für die internationale Ausgestaltung des Dränversuchswesens unterbreitet. Trotzdem ist das Dränversuchswesen bis nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges nicht über die ersten Anfänge hinausgekommen, oft bedingt durch die Kriegsverhältnisse, durch personelle Veränderungen bei den einzelnen Versuchsstationen, Schwierigkeiten in finanzieller Hinsicht usw.

Man ist heute im Besitze einer Reihe von brauchbaren Verfahren für die Untersuchung mineralischer Böden in Pulverform. Auch sind für jedes dieser Verfahren Beziehungen aufgestellt worden, welche die Auswertung der Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung der im Einzelfalle zu ergreifenden Dränmaßnahmen gestatten. Wenn man aber die Grundlagen näher betrachtet, auf denen diese Beziehungen aufgebaut sind, so findet

man, daß sie fast ausnahmslos rein empirisch sind und nicht auf exakten Ertragsbestimmungen beruhen. Allgemein herrscht heute die Ansicht, daß in der Kulturtechnik die Laboratoriumsuntersuchungen allein nicht genügen. Sie geben in der Regel nur einige Anhaltspunkte über die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens. Hingegen können die Messungen, die für den Kulturtechniker von Wichtigkeit sind, nur im Felde durchgeführt werden.

Um die Grundlagen für die Nachprüfung der Beziehungen zu schaffen, die zwischen der Bodenbeschaffenheit und den zu ergreifenden Dränmaßnahmen aufgestellt worden sind, sind umfassende, planmäßig angelegte Dränfeldversuche erforderlich.

Deshalb wurden in Österreich durch das Bundesministerium für Landwirtschaft und Forsten in Wien von der Sektion IV unter der damaligen Leitung von Herrn Sektionschef Prof. Dr. Ing. B. Ramsauer an verschiedenen Orten, an denen größere Meliorationsprojekte geplant waren, Versuchsanlagen eingerichtet, zumal bei der Durchführung von Dränungen das Verhältnis zwischen dem Aufwand und dem Erfolg wesentlich von der Wahl der Saugerentfernungen und Dräntiefen abhängig ist. Das damals aufgestellte Versuchsprogramm wurde durch Herrn Sektionschef Dr. Ing. Güntschel als derzeitigen Leiter der Sektion IV und durch Herrn Ministerialrat Dr. Ing. Gerabek weiter gefördert und in verschiedenen Belangen wesentlich erweitert. Alle kulturtechnischen Versuchsarbeiten in Österreich sind dem Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und Technische Bodenkunde in Petzenkirchen (Niederösterreich) unterstellt.

Die Notwendigkeit und Möglichkeit für die Errichtung einer Dränversuchsanlage ergab sich für uns bei der Projektierung über die Melioration des Voralberger Rheindeltas. Mit «Voralberger Rheindelta» be-

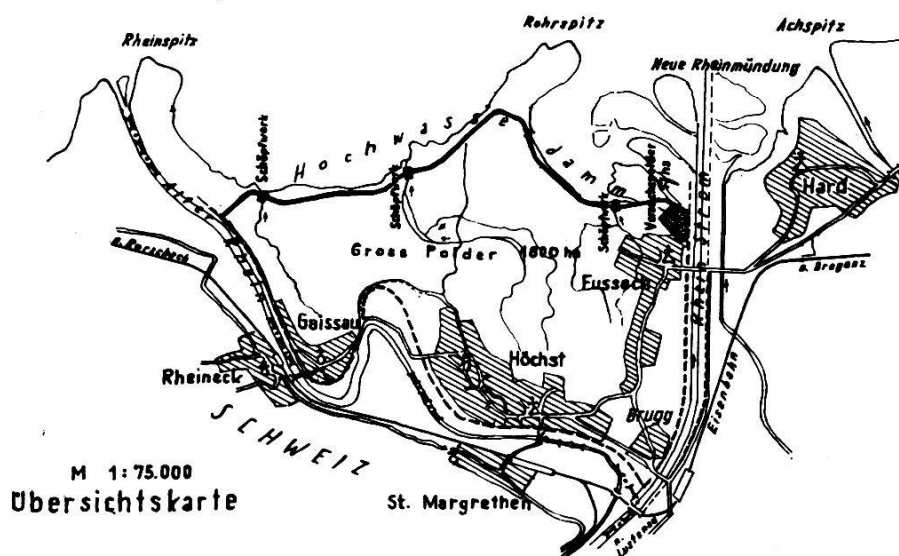


Abb. 1

zeichnet man den zwischen dem Fußacher Rheindurchstich, dem Alten Rhein und dem Bodenseeufer gelegenen Teil Vorarlbergs, mit einer Fläche von rund 1800 ha. Der nördliche Teil dieses Gebietes wird alljährlich bei Hochwasserständen des Bodensees überschwemmt, wobei die unter Wasser gesetzte Fläche bei Höchsthochwasser rund 900 ha beträgt. Eine intensive landwirtschaftliche Nutzung dieses Gebietes war daher gänzlich unmöglich. In den an und für sich hochwasserfreien landwirtschaftlich genutzten Flächen traten durch den hohen Grundwasserstand häufig bedeutende Ertragsausfälle auf (Abb. 1).

Um diese ständige Hochwassergefahr zu beseitigen und um der Landwirtschaft dieses Gebietes die Erträge zu sichern, wurde vom Landeswasserbauamt Bregenz, unter der Leitung von Landesoberbaurat Dipl.-Ing. Wagner ein Projekt, das die Eindeichung und künstliche Entwässerung dieses Gebietes vorsieht, ausgearbeitet.

Dieses Projekt, das zurzeit in Ausführung ist, sieht die Anlage eines Hochwasserdammes längs des Bodenseeufers vom Fußacher Rheindurchstich bis zum Alten Rhein in einer Länge von etwa 8 km, ferner die Errichtung von drei Schöpfwerken mit einer maximalen Gesamtfördermenge von 6,3 m³/Sek., die Herstellung beziehungsweise den Ausbau von Hauptvorflutkanälen in einer Länge von 13 km und die notwendige Detailentwässerung vor.

Die Grundlage für dieses Projekt hatte die westwärts der Rheinmündung errichtete «Polderversuchsanlage Fußach» zu liefern. Ferner wurde in dieser Anlage ein Dränversuchsfeld errichtet, so daß diese Anlage einem zweifachen Zwecke diene:

1. der Erfassung und Analyse des Anfalles von Niederschlags- und Druckwasser, der Menge und dem zeitlichen Verlaufe nach zur Gewinnung exakter Grundlagen für die Bemessung der Schöpfwerksanlagen für eine Gesamtentwässerung des Rheindeltas, und
2. der Ermittlung optimaler Dränabstände zur Entwässerung der Schwemmlandböden dieses Gebietes. Darüber hinaus Erforschung der Wasserbewegung und der Feuchtigkeitsverhältnisse im Dränfeld in ihrer Abhängigkeit von den einzelnen Klimafaktoren.

Die Versuchsdränung bestand aus zwei Gruppen von je drei Dränsystemen, wovon die eine Gruppe bei 1,20 m Dräntiefe mit Dränabständen von 10 m, 13 m und 16 m angelegt wurde, während bei der zweiten Gruppe die Dräntiefe bei gleichbleibender Drändistanz von 13 m auf 1 m, 1,15 m und 1,30 m abgestuft war (Abb. 2).

Für die laufenden Beobachtungen des Grundwasserspiegels unmittelbar über dem Dränrohr und in Dränbeetmitte wurden je System 19 Grundwasserstandsrohre eingebaut.

Die Veränderung der Bodenfeuchte wurde in den Systemen mit variabler Strangentfernung zweimal monatlich dezimeterweise bis zur Dräntiefe gravimetrisch und mittels elektrischer Feuchtemesser, die vom Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und Technische Bodenkunde,

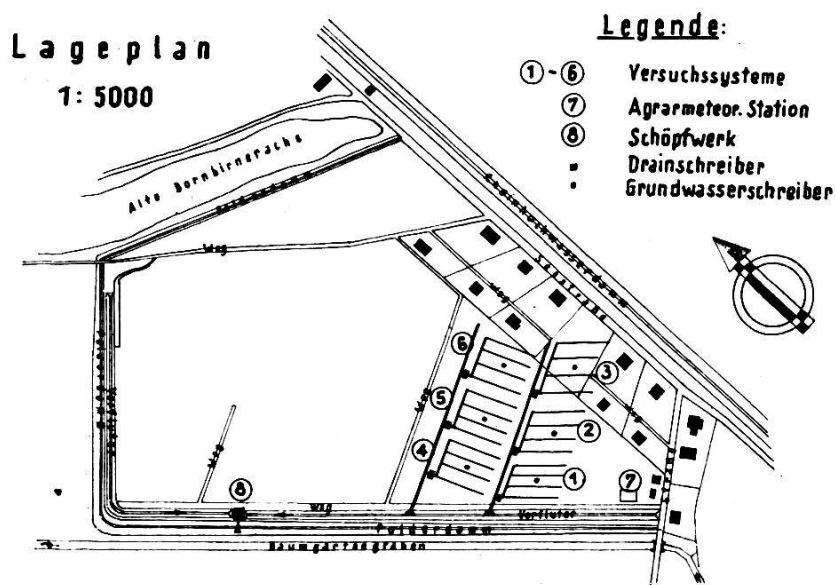


Abb. 2

Petzenkirchen, entwickelt wurden, bestimmt. In den Systemen mit einer Dränentfernung von 10 m und 16 m wurden in einer Tiefe von 5 cm, 15 cm, 30 cm, 50 cm und 100 cm laufend die Bodentemperaturen gemessen.

Eine agrarmeteorologische Station ermöglichte die Beobachtung des Niederschlages, der Lufttemperaturen, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Verdunstungskraft, der Bodentemperaturen, der Sonnenscheindauer und der Lichtintensität.

Neben den hydrologischen und meteorologischen Beobachtungen wurden in einer Anzahl von Vergleichsparzellen Ertragsbeobachtungen an verschiedenen Kulturpflanzen angestellt. Die Beobachtungen und Untersuchungen wurden in den Jahren 1949 bis 1959 durchgeführt. Im Rahmen dieses Berichtes können nur einige Beobachtungen des Dränversuches wiedergegeben werden.

Klimaverhältnisse

Das Vorarlberger Rheindelta liegt im Bereich des gemäßigten Klimas, wobei der ausgleichende Einfluß des Bodensees im Vergleich zu den anderen Teilen Vorarlbergs deutlich erkennbar ist. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,2 °C, die mittleren Extremwerte bei 29 °C und —14 °C. Aus mehrjährigen Niederschlagsbeobachtungen konnte im Wege der Korrelation für Fußach ein Niederschlagsmittel von 1125 mm abgeleitet werden. Das Rheindelta weist somit eines der geringsten Niederschlagsmittel von ganz Vorarlberg auf. Die vorherrschende Windrichtung ist West bis Südwest. Außerdem ist der Föhn mit durchschnittlich 20 Tagen im Jahr und einer Temperaturhebung von 2 bis 3 °C von großer Bedeutung.

Die Bodenverhältnisse

Der geologische Untergrund besteht aus kalkreichen, alluvialen Ablagerungen, die durchwegs durch den starken Grundwassereinfluß verändert wurden. Sowohl Sande als auch schluffig-lehmiges bis schluffig-toniges Material wurden abgelagert. Die Grenze der beiden Ablagerungen ist sehr scharf.

Auf der Versuchsfläche wurden fünf Bodenformen unterschieden, die sich im wesentlichen durch den Vernässungsgrad, durch Sandeinlagerungen und durch die verschiedene Tiefe eines grusig-lehmigen beziehungsweise lehmigen Grobsandes unterscheiden. Die Bodenformen sind anmoorige, stark vergleyte und vergleyte graue Auböden. Infolge der Polderung und Absenkung des Grundwasserspiegels wurden die Böden in ihrer natürlichen Entwicklung gestört. Sie zeigen Oxydationserscheinungen und sind mehr oder weniger stark verbraunt.

Die genaue Bodenaufnahme wurde erst nach Anlage der Dränversuche vorgenommen. Dabei hat es sich gezeigt, daß für kulturtechnische Versuchsfelder, die eine bestimmte Mindestgröße verlangen, die Schlagsondenabstände von 20 m in manchen Fällen zu groß sein können. Um brauchbare Vergleiche zwischen den einzelnen Entwässerungssystemen zu erhalten, muß in diesem Falle die Untersuchung auf die Bodenbonität mit Sonderabständen von höchstens 10 m erfolgen. Wie weit die Bonitätsunterschiede landwirtschaftlich genutzter Flächen im Versuchspolder sich beim Vergleich einzelner Entwässerungssysteme auswirkten, zeigt nachstehender Versuch:

Von jeder Bodenform wurden innerhalb des Dränversuchsfeldes Monolithe in vierfacher Wiederholung entnommen. Die gewonnenen Monolithe wurden an einer für den Versuchsbetrieb geeigneten Stelle in vorbereitete Gruben mit einer Kiesunterlage von etwa 20 cm eingebracht. Damit sollten für alle Bodenmonolithe dieselben Voraussetzungen hinsichtlich der Versickerung und des Grundwassers geschaffen werden. Bei allen Monolithen erfolgte dieselbe Bearbeitung, Aussaat und Düngung.

Aus den phänologischen Daten und aus den Wachstumsbeobachtungen ging hervor, daß sich die Kulturen auf der Bodenform 2 wesentlich von denen der anderen Bodenformen unterscheiden. Die Beobachtungen auf Bodenform 2 waren gekennzeichnet durch einen späteren Aufgang der Saat, späteres Schossen und Ährenschieben, geringeres Längenwachstum und spätere Reife. Die Bodenform 2 brachte gegenüber der Bodenform 3 einen Minderertrag von 50 %, gegenüber den Bodenformen 4 und 5 einen solchen von 47,6 % beziehungsweise 30,1 %. Der Minderertrag der Bodenformen 4 und 5 gegenüber der Bodenform 3 betrug 2,8 % beziehungsweise 27,2 %. Die Bodenform 5 brachte im Vergleich zu Bodenform 4 einen um 25,1 % geringeren Ertrag. Alle Ertragsdifferenzen, mit Ausnahme der zwischen Bodenformen 3 und 4, waren signifikant.

Daraus ist ersichtlich, daß bei vorhandenen Bodenbonitätsunterschieden in Dränversuchsfeldern Ertragsunterschiede auftreten können,

die nicht auf die Entwässerungsintensität, sondern lediglich auf die Bonitätsunterschiede zurückzuführen sind.

Der Dränabstand

In den höher gelegenen Randgebieten des Vorarlberger Rheindeltas wurde Ende der dreißiger Jahre auf Grund praktischer Erfahrungen mit etwa 10 m Drändistanz entwässert. Diese Dränentfernung war der Ausgangspunkt für die Anlage der Versuchssysteme (System I: $E = 10$ m, $t = 1,20$ m). Sie wurde dann auf 13 m (System II, $t = 1,20$ m) und auf 16 m, einen Abstand, den man entschieden als zu weit hielt (System III, $t = 1,20$ m), vergrößert.

Als Vergleich für die Bestimmung der Drändistanz kann für das Versuchsfeld Fußach nur die empirische Methode *Fauser* (1947) angewandt werden, da im Jahre 1947, als die Versuchssysteme angelegt wurden, für die Bodenuntersuchung lediglich Kopecky-Apparate zur Verfügung standen.

Nach dieser Methode hätten sich bei den Bodenformen der einzelnen Versuchssysteme folgende Dränabstände, denen zum Vergleich die im Versuch gewählten gegenübergestellt werden, ergeben:

<i>System</i>	<i>Fauser, Kgr. I</i>	<i>Im Versuch gewählter Dränabstand</i>
I	9,5 m	10 m
II	8,8 m	13 m
III	7,6 m	16 m

Während im System I der im Versuch gewählte Abstand ungefähr der Bestimmung nach *Fauser* gleichkommt, wurde in System II gegenüber der Bestimmung nach *Fauser* der Dränabstand um rund 30% und in System III um etwa 100% vergrößert.

Es würde im Rahmen eines Vortrages zu weit führen, die Ergebnisse aller unserer Beobachtungen zu besprechen. Es sind deshalb nur einige für die Dränung maßgebende Kapitel herausgegriffen, und zwar: die Ertragsbeobachtungen, einige Beobachtungen über die Bodenfeuchte und dann die Veränderungen im Boden nach Ausführung der Dränung.

Die Ertragsbeobachtungen

Der Erfolg einer jeden Entwässerungsmaßnahme soll sich in einer Ertragssteigerung auswirken. Es kommt deshalb bei einem Dränversuch – neben der Erfassung der Klimafaktoren, der Wasserbewegung und der Feuchtigkeitsverhältnisse – den pflanzenbaulichen Maßnahmen und den exakten Ertragsbeobachtungen im Rahmen eines Feldversuches eine besondere Bedeutung zu.

Unter Feldversuchen versteht man Versuche, in denen die Wirkung verschiedener Abstufungen *eines* Faktors oder die kombinierte Wirkung *mehrerer* Faktoren auf die Ertragsleistung oder auf sonstige Eigenschaften der Nutzpflanzen am *natürlichen* Standort geprüft werden.

Als solche Faktoren kommen die verschiedensten Kulturmaßnahmen in Frage. Ein Feldversuch ist also ein biologischer Versuch, in dem nicht

nur die in Prüfung stehenden, vom Versuchsansteller kontrollierten Faktoren, sondern noch eine Vielzahl von unkontrollierbaren Ursachen mitwirken. Es ist deshalb notwendig, auch bei einem Dränversuch, der ebenso einen biologischen Versuch darstellt, die gefundenen Werte einer statistischen Prüfung zu unterziehen.

Welche Methode der statistischen Auswertung Anwendung findet, hängt meistens von den gegebenen Verhältnissen ab. In Fußach war es leider nicht möglich, die modernen Erkenntnisse der Auswertungsmethode anzuwenden, da die Anlage von kleinen Anfängen aus aufgebaut wurde und diesbezügliche Erfahrungen vollkommen fehlten. Für neu zu erstellende Versuchsanlagen stellte ich mir das Ziel, einen Musterplan zu erstellen, in dem eine Auswertung nach der Varianzanalyse von Fischer möglich ist. Wir werden später auf eine solche Anlage noch zurückkommen.

Die Versuchsfläche selbst wurde nach einem den örtlichen Verhältnissen angepaßten Fruchtfolgeplan bewirtschaftet. Die Bewirtschaftung erfolgte mit den verschiedensten Kulturpflanzen, wobei die neueren Erkenntnisse bezüglich Düngung, Saatgut usw. berücksichtigt wurden. Man hat in den einzelnen Jahren folgende Ernteerträge erzielt (Teilauszug aus den Gesamtbeobachtungen):

Auszug aus den Ernteergebnissen

<i>Silomais</i>	<i>1951</i>		<i>1958</i>		<i>1959</i>	
System I (10 m)	276 dz/ha	100 %	663 dz/ha	100 %	795 dz/ha	100 %
System II (13 m)	262 dz/ha	95 %	869 dz/ha	131 %	841 dz/ha	105 %
System III (16 m)	244 dz/ha	88 %	769 dz/ha	115 %	894 dz/ha	112 %
<i>Kartoffel</i>	<i>1951</i>		<i>1952</i>		<i>1956</i>	
System I (10 m)	211 dz/ha	100 %	164 dz/ha	100 %	244 dz/ha	100 %
System II (13 m)	187 dz/ha	88 %	181 dz/ha	110 %	241 dz/ha	98 %
System III (16 m)	128 dz/ha	60 %	166 dz/ha	101 %	249 dz/ha	102 %

Der Vergleich zwischen den einzelnen Entwässerungssystemen zeigt, daß der Entwässerungsgrad bei allen Systemen genügend war. Wenn auch in den ersten Jahren die Erträge bei einer Dränentfernung von 16 m geringer waren als bei 10 m Dränabstand, so steigerten sie sich von Jahr zu Jahr. Schon ab dem Jahre 1956 waren die Erträge in dem scheinbar zu weit gedränten Feld absolut überlegen. Die Erklärung hierfür soll in einem der nachfolgenden Kapitel gegeben werden.

Beobachtungen der Bodenfeuchte

Für das Wasser im Boden gibt es zahlreiche, mehr oder weniger voneinander abweichende Bezeichnungen. Für die Auswertungen in Fußach wurde die Begriffsbestimmung von Ramsauer angewandt, der für alles im jeweiligen Augenblicke im Boden feststellbare Wasser den Ausdruck «Bodenfeuchte» und für das von den Pflanzen aufnehmbare Wasser den Ausdruck «nutzbare Bodenfeuchte» vorgeschlagen hat.

Für das Dränversuchsfeld Fußach liegen siebenjährige Bodenfeuchtebeobachtungen vor. Die Bestimmung derselben erfolgte auf gravimetrischem Wege. Nach dieser Methode wurden anfangs in Zeitabständen von 14 Tagen, später nach dem Witterungsverlauf Bodenproben bis zu einer Tiefe von 1,20 m dezimeterweise entnommen, an ihnen der Wassergehalt gewichtsmäßig bestimmt und dieser Wert sodann mit Hilfe des Bodenvolumsgewichtes in Millimetern Wassersäule pro Dezimeter Bodenschichte ausgedrückt. Es sei hier kurz darauf verwiesen, daß wiederholte Untersuchungen in unserer Versuchsanlage ergaben, daß der Wert des Bodenvolumsgewichtes in humusreichen und tonigen Schichten keine konstante Größe darstellt, sondern sich linear mit dem jeweiligen Wassergehalt des Bodens ändert. Diese neue Beobachtung, die dann auch von anderen Versuchsanlagen bestätigt wurde, ist für die Auswertung von Bodenfeuchtebestimmungen nach gravimetrischer Art von besonderer Wichtigkeit.

Beginnend mit einer hohen Anfangsfeuchte, steigt die Bodenfeuchte infolge der Schneeschmelze bei nur geringer Verdunstung bis zum Vegetationsbeginn noch an, erreicht im Zeitraum Ende Juli bis Mitte August infolge des Pflanzenverbrauches und einer hohen Verdunstung den tiefsten Stand. Schon in der ersten Septemberwoche setzt ein starker Anstieg ein, der im Oktober durch ein kleineres Absinken, infolge geringerer Niederschläge und noch wirkender Verdunstung, unterbrochen wird. Ab Ende Oktober kommt es wieder zu einer Auffüllung der Bodenfeuchte.

Die mittlere Jahresbodenfeuchte aus siebenjährigen Beobachtungen beträgt für den Profilbereich 0–120 cm bei den einzelnen Entwässerungssystemen:

Entwässerungssystem I	($E = 10$ m)	590,5 mm	100 %
Entwässerungssystem II	($E = 13$ m)	577,4 mm	97 %
Entwässerungssystem III	($E = 16$ m)	636,6 mm	107,6 %

Nachdem es sich um grundwasservernäbte Flächen handelt, ist die Bodenfeuchte stark vom herrschenden Grundwasserstand abhängig. Es ist deshalb notwendig, nicht nur die Bodenfeuchte des Gesamtprofils zu kennen, sondern auch die Bodenfeuchte der einzelnen Bodenschichten. Zu diesem Zweck erfolgte eine Differenzierung des Gesamtprofils in Einzelprofile von 0–20 cm, 20–50 cm und 50–120 cm.

Die nachfolgend angeführten Werte zeigen, daß sich eine Vergrößerung der Strangentfernung hinsichtlich der Bodenfeuchte bei den gegebenen Verhältnissen nicht nachteilig auswirkte. Der Bodenfeuchtegehalt des Systems III ($E = 16$ m) im Profil 0–20 cm zeigte sogar eine geringe Abnahme gegenüber System I ($E = 10$ m). Die Feuchtedifferenz beider Systeme im Hauptwurzelbereich (0–50 cm) war sehr gering. Erst in größeren Tiefen ergaben sich deutliche Unterschiede, die aber weniger auf die Strangentfernung als vielmehr auf die Verschiedenheit der hydrologischen Verhältnisse bei den einzelnen Entwässerungssystemen zurückzuführen waren.

Siebenjährige mittlere Jahresbodenfeuchte

	0–20 cm		20–50 cm		50–120 cm	
System I	97,1 mm	100 %	138,8 mm	100 %	354,6 mm	100 %
System II	90,4 mm	93,1 %	136,7 mm	98,4 %	350,3 mm	98,7 %
System III	95,3 mm	98,1 %	142,7 mm	102,8 %	398,6 mm	112,4 %

Ein optimales Gedeihen der Kulturpflanzen ist weitgehend vom Wasser–Luft-Verhältnis des Porenvolumens abhängig. Deshalb ist es zweckmäßig, nicht nur die absolute Bodenfeuchte zu kennen, sondern auch die relative, da diese besonders für pflanzenbauliche Beobachtungen einen besseren Einblick in die Wasserversorgung des Bodens gibt. Verschiedene Böden können bei gleichem Gehalt an Millimetern Bodenfeuchte einen verschiedenen Bodenfeuchtegrad aufweisen.

Die jahreszeitlichen Schwankungen des Bodenfeuchtegrades $F\%$ ($F\%$ = Sättigungsgrad in Prozenten des Porenvolumens) waren bei allen Entwässerungssystemen naturgemäß in den oberen Schichten am größten und nahmen mit der Tiefe ab.

Die in der Versuchsanlage Fußach ermittelten $F\%$ -Werte der oberen Bodenschichten lagen zwischen 80 und 90 %. Obwohl System I mit einer Strangentfernung von 10 m ausgeführt wurde, konnte damit die relative Bodenfeuchte im langjährigen Mittel nicht unter 81 % gebracht werden. Eine Vergrößerung der Strangentfernung auf 16 m erhöht die langjährige mittlere relative Bodenfeuchte auf 89 %. Diese Durchschnittszahlen ändern sich auch nicht während der Vegetationsmonate.

Die Werte lagen erheblich höher als die in der einschlägigen Literatur angegebenen Optimalwerte. Trotz der hohen relativen Bodenfeuchte konnten jährlich absolut hohe Ernteerträge erzielt werden. Es kann daher angenommen werden, daß ein Bodenfeuchtegrad von 80 bis 90 % noch innerhalb der Optimumgrenze liegt.

Einer Vergrößerung der Dränstrangentfernung von 60 % steht eine durchschnittliche Erhöhung des Bodenfeuchtegrades von 9 % gegenüber, welche aber keine Ertragsminderung verursachte. Nach Zunker liegt das Wesen der schädlichen Bodennässe in der Hauptsache nicht in einem Zuviel an Wasser, sondern in einem Zuwenig an Sauerstoff im Bodenwasser. Nachdem zwischen 10 m Drändistanz und 16 m Drändistanz keine Ertragsunterschiede festgestellt werden konnten und in beiden Systemen eine durchschnittliche relative Bodenfeuchte von 80 bis 90 % vorhanden war, muß die Sauerstoffversorgung bei den Entwässerungssystemen gleich günstig gewesen sein. Eine Überschreitung des Bodenfeuchteschwellwertes in einem schädigenden Ausmaß bei System III ($E = 16$ m) hat im Vergleich zu System I ($E = 10$ m) nicht stattgefunden.

Welches nun das tatsächliche Optimum des Bodenfeuchtegrades für die Böden im Poldergebiet ist, konnte mit der Versuchseinrichtung und der Versuchsfrage in Fußach nicht geklärt werden. Diese Frage soll im Rahmen des geplanten Versuchsprogramms der «Dränversuchsanlage Höchst» geklärt werden.

Veränderung im Boden nach Ausführung der Dränung

Die Böden im Vorarlberger Rheindelta wurden vor Errichtung des Dränversuchsfeldes Fußach allgemein mit 10 m Dränabstand entwässert. Beim Dränversuch wurde dieser Dränabstand als Versuchsvariante gewählt. Als weitere Variante wurden, wie schon zu Beginn erwähnt, die Abstände 13 m und 16 m gewählt. Die Versuchsergebnisse der hydrologischen Beobachtungen, etwa bis zum Jahre 1950, berechtigten zur Aussage, daß für die Böden des Rheindeltas der Dränabstand von 10 m unwirtschaftlich eng, jener von 16 m entschieden zu weit und der von 13 m dem Optimum sehr nahe ist. Erstmalig wurde im Versuchsjahr 1953 unter Berücksichtigung der Ertragsbeobachtungen die Vermutung ausgesprochen, daß der Dränabstand von 16 m ausreichen könnte. Voraussetzung hierfür wäre, daß kein Fremdwasserzufluß zu erwarten ist, so wie dieser im Versuchssystem mit 16 m Dränabstand nachzuweisen war.

Die weiteren Beobachtungen bis zum Jahre 1959 zeigten jedoch, daß der Dränabstand mit 16 m nunmehr in der Dränwirkung keinesfalls unterlegen war, trotz dem Einfluß von Fremdwasser. Diese in den verschiedenen Jahren gemachten Feststellungen beinhalten scheinbare Widersprüche.

Im folgenden soll nun versucht werden, anhand von hydrologischen Beobachtungen in der Natur diese Widersprüche aufzuklären.

Es ist allgemein bekannt, daß sich die Dränung bei den schweren, dichtgelagerten Böden auf die Verbesserung des Gefüges auswirkt. Diese Veränderungen sind sowohl physikalischer, chemischer als auch biologischer Natur. In der Literatur sind verschiedene Ansichten und Hinweise über die Art der Veränderung zu finden; doch sind diese nur durch wenige Untersuchungszahlen untermauert. Es fehlen insbesondere Angaben über das *Ausmaß dieser Veränderungen* im Boden und deren Beziehungen zum erforderlichen Dränabstand.

Für Fußach liegen durchgehende Beobachtungen über Grundwasserstände in Dränbeetmitte und Messungen über den Dränabfluß der Jahre 1948 bis 1959 vor. Diese beiden Meßreihen wurden benützt, um den Nachweis der Bodenveränderung in diesem Zeitraum zu erbringen.

Die Grundwasserbeobachtungen wurden täglich in Standrohren in der Mitte dreier Dränbeete durchgeführt. Die verwendeten Werte stellen Mittelwerte aus drei Parallelbeobachtungen dar. Die Dränwassermessungen erfolgten kontinuierlich mit Dränwasserschreibern, System Janert, und einer täglichen Kontrollmessung mittels Eichgefäßen. Die Dränwassermessungen umfassen jeweils den Abfluß eines Dränsystems mit je drei Dränbeeten. Während der Vergleichsjahre wurden an den Meßeinrichtungen keinerlei Veränderungen vorgenommen, so daß jede Veränderung der Beziehung zwischen diesen beiden Meßgrößen nur durch Veränderungen im Boden verursacht sein kann.

Diese beiden Meßgrößen wurden in einem Diagramm dargestellt, wobei die jeweiligen Grundwasserstände in Zentimetern unter Gelände als Ordinate und die dazugehörigen Dränabflußhöhen in Millimetern pro

Dränabfluss - Grundwasserstand (Beetmitte), 1948 u. 1959. System 1.

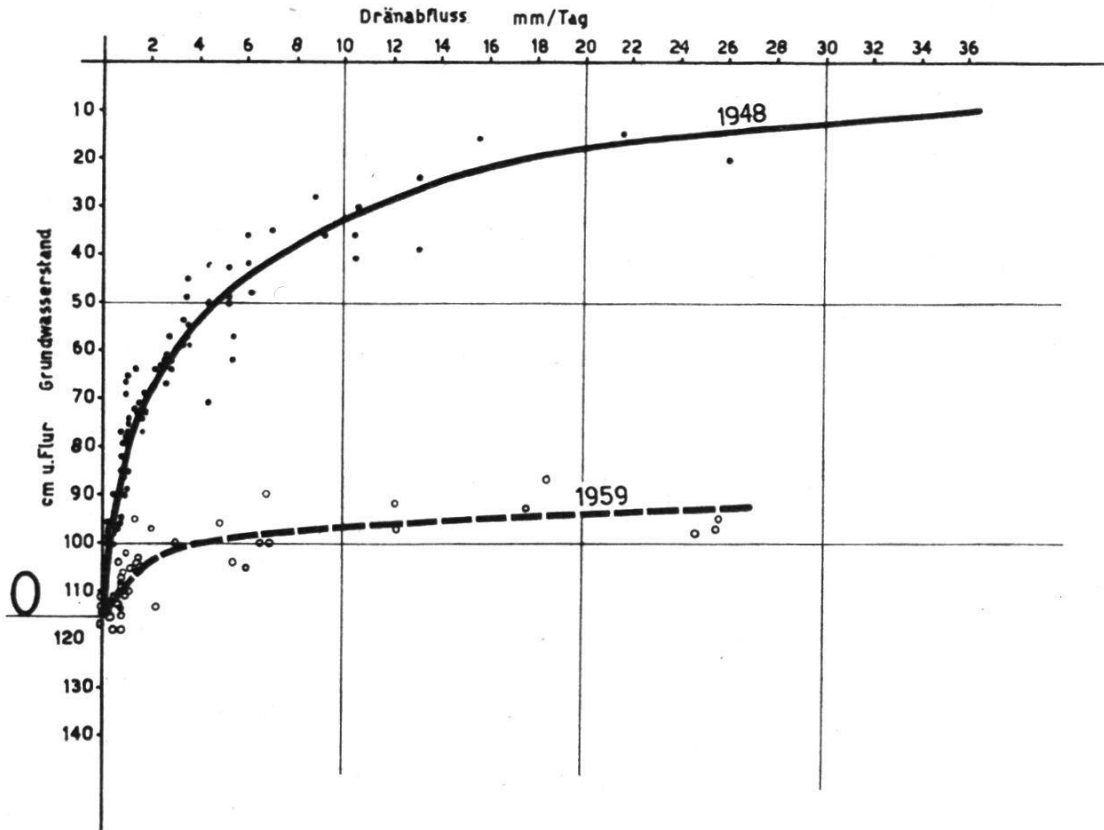


Abb. 3

Dränabfluss - Grundwasserstand (Beetmitte), 1948 und 1959 System 3.

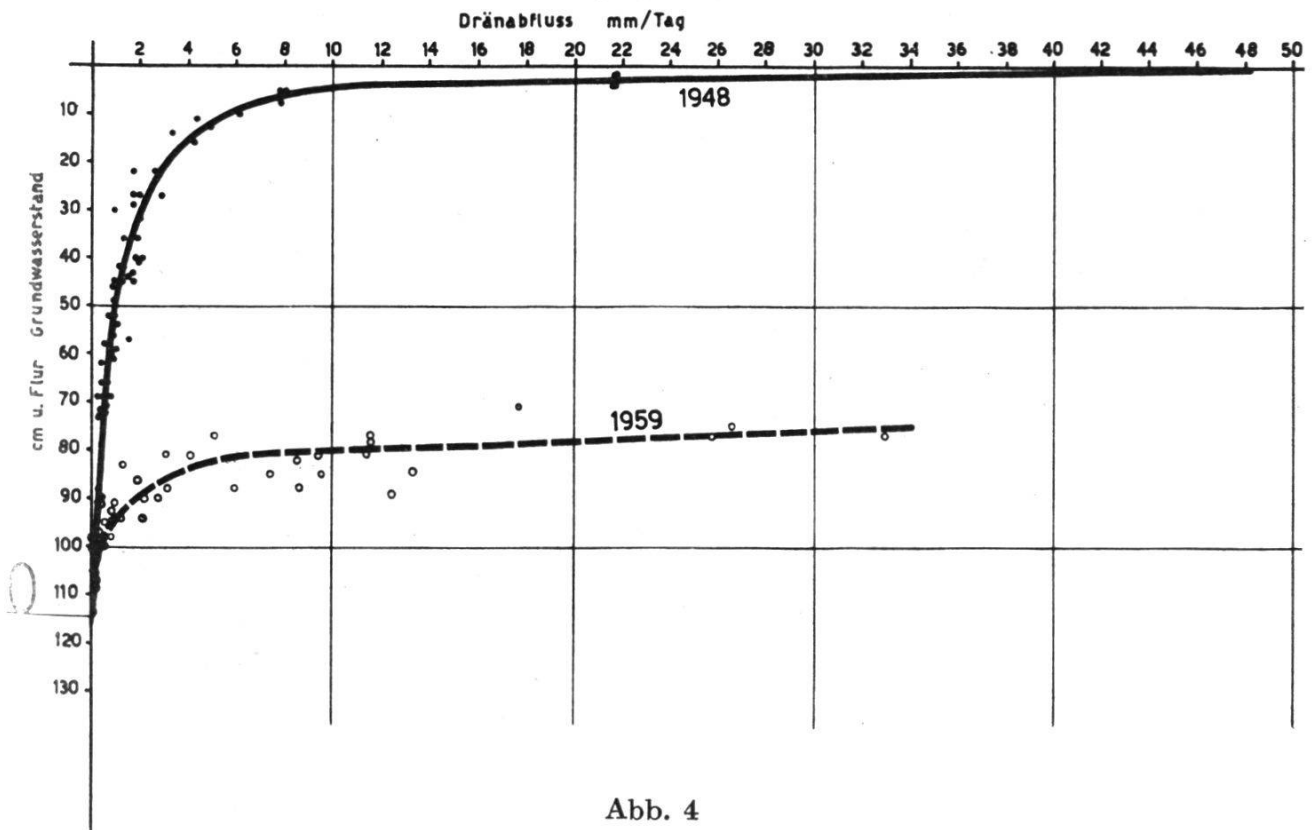


Abb. 4

Tag als Abszisse aufgetragen wurden. Dadurch ergibt sich eine Punkteschar, der sich eine bestimmte Kurve anpaßt. Diese Kurve stellt die Beziehung der in der Natur gefundenen Meßwerte dar. Die Streuungen der Punkte um die Kurve sind hauptsächlich durch systematische Fehler in der Beobachtung bedingt (zum Beispiel nicht erfaßbare Trägheitserscheinungen bei den Grundwasserstandsbeobachtungen).

Abbildungen 3 und 4 geben die Beziehungen der Faktoren Grundwasserstand in Zentimetern unter Gelände und Dränabstand in Millimetern pro Tag für die Systeme I (10 m) und III (16 m) des Jahres 1948 wieder.

Daraus ist allgemein zu ersehen, daß die Aufwölbung des Grundwasserspiegels in Dränbeetmitte in enger Beziehung zur jeweils abgeführten Dränwassermenge steht. Besonders auffällig ist, daß für die Abfuhr der kleinen Wassermengen die Beziehung nahezu linear ist und die Kurve in diesem Bereich sehr steil anläuft. Ab einer bestimmten Aufwölbung des Grundwasserspiegels ändert sich der Verlauf der Kurve wesentlich; sie wird sehr flach.

Im Jahre 1948, kurz nach Ausführung der Dränung, unterscheidet sich der Kurvenlauf bei den einzelnen Systemen hauptsächlich durch die Neigung des Kurvenendes und im Übergang vom steilen zum flachen Teil. Außerdem unterscheiden sich die einzelnen Systeme dadurch, daß der flache Kurventeil in verschiedenen Aufwölbungsbereichen liegt.

Im Verlaufe der Beobachtungsjahre kann bei allen Systemen eine systematische Veränderung der Beziehung Grundwasserstand–Dränabfluß dahin festgestellt werden, daß die Bezugskurven von Jahr zu Jahr herabsinken und die Aufwölbung in Dränbeetmitte auch für große Dränabflußmengen von Jahr zu Jahr geringer wird. Welches Ausmaß diese Veränderungen erreichen, ist aus Abbildungen 3 und 4 zu ersehen, die die Beziehung von Grundwasserstand–Dränabfluß aus dem Jahre 1948 und 1959 wiedergeben.

Wie systematisch diese Veränderungen in allen Systemen vor sich gingen, zeigen Abbildungen 5, 6 und 7, in denen alle Kurven von 1948 bis 1959 zusammengefaßt sind.

Die kleinen Unregelmäßigkeiten in den Kurvenveränderungen, wie etwa die Überschneidung der Kurven 1948 und 1949 in System III, rühren offenbar daher, daß die Schwerelinien nur in Annäherung, ohne rechnerische Überprüfung in die Punkteschar gelegt wurden. Die Stetigkeit der Kurvenveränderung ist sehr deutlich und bestätigt sich bei allen Systemen.

Dieses allmähliche Absinken der Bezugskurve ist gleichbedeutend mit der Tatsache, daß bei gleicher Dränwassermenge die Aufwölbung des Grundwasserspiegels in Dränbeetmitte im Laufe der Jahre geringer geworden ist. Das weist zweifellos auf eine Erhöhung der Wasserleitfähigkeit des Bodens hin. In der bekannten Dränformel von Hooghoudt:

$$E = \frac{8 \cdot d \cdot k_1 \cdot m_0 + 4 k_2 m_0^2}{N},$$

Dränabfluss - Grundwasserstand (Beetmitte), 1948 bis 1959. System 1.

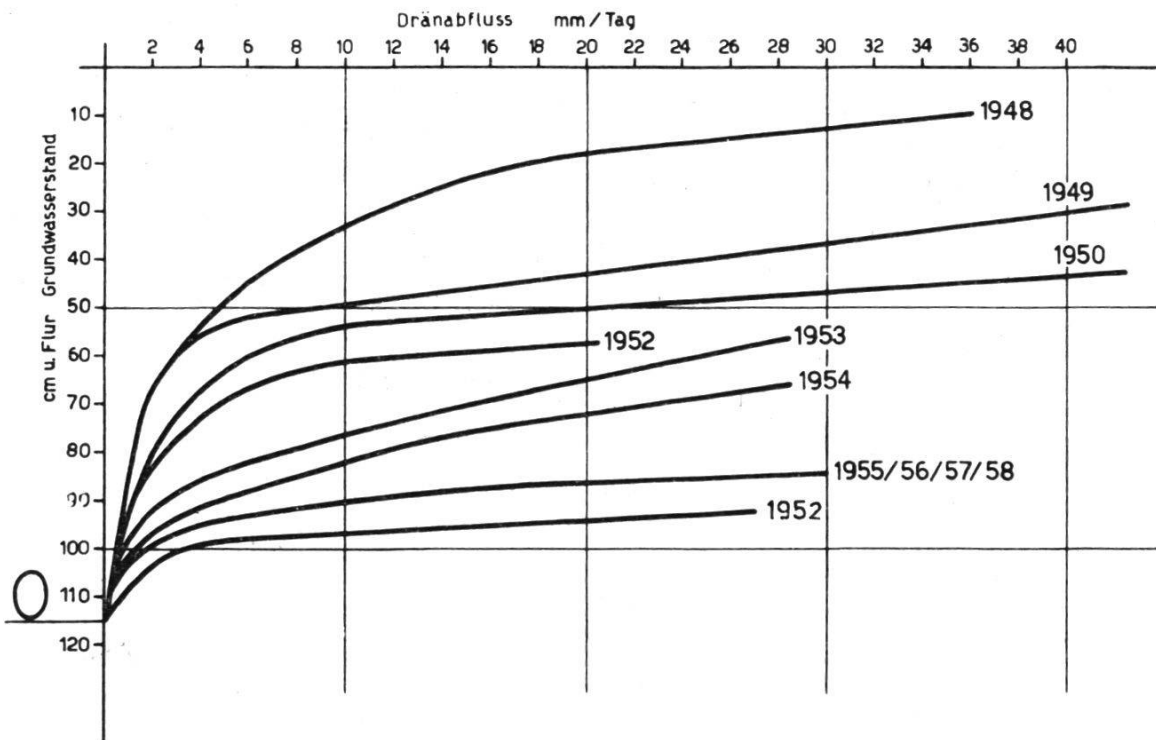


Abb. 5

Dränabfluss - Grundwasserstand (Beetmitte), 1948 bis 1959. System 2.

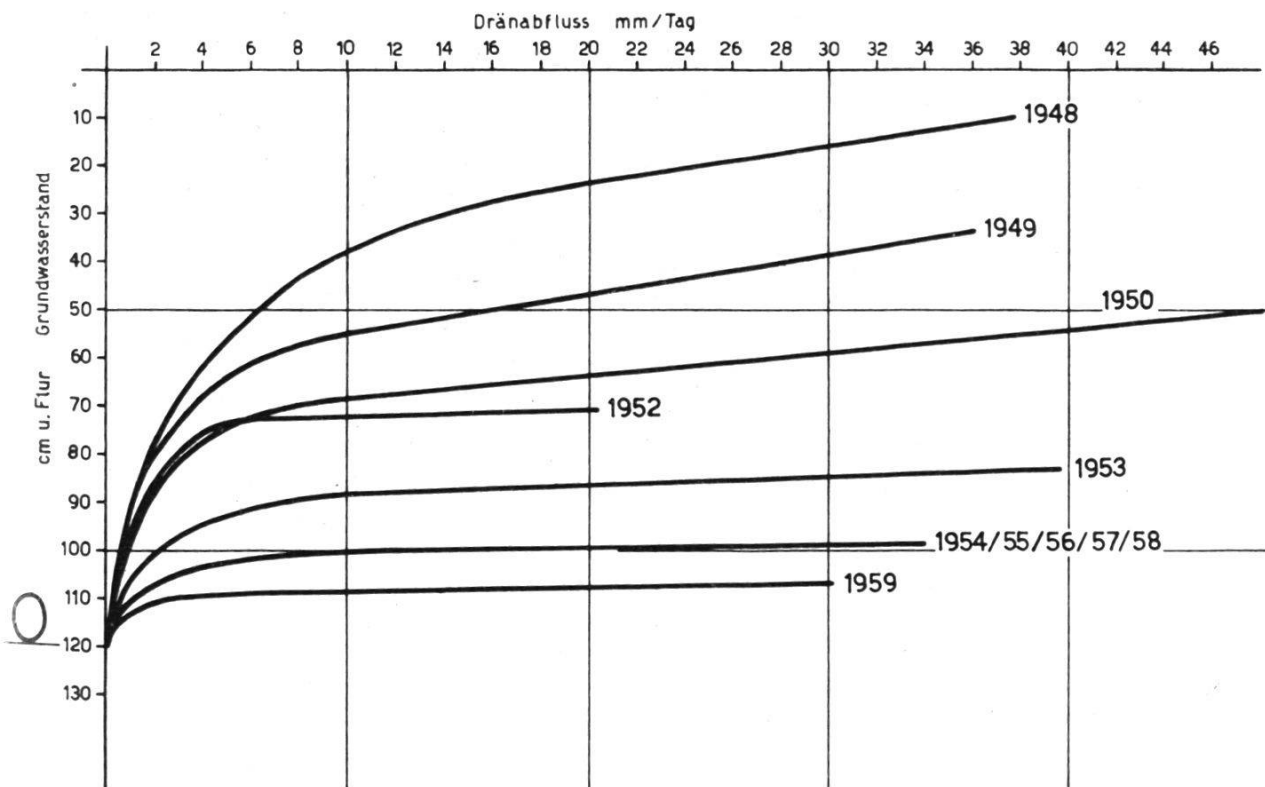


Abb. 6

Dränabfluss - Grundwasserstand (Beetmitte), 1948 bis 1959. System 3.

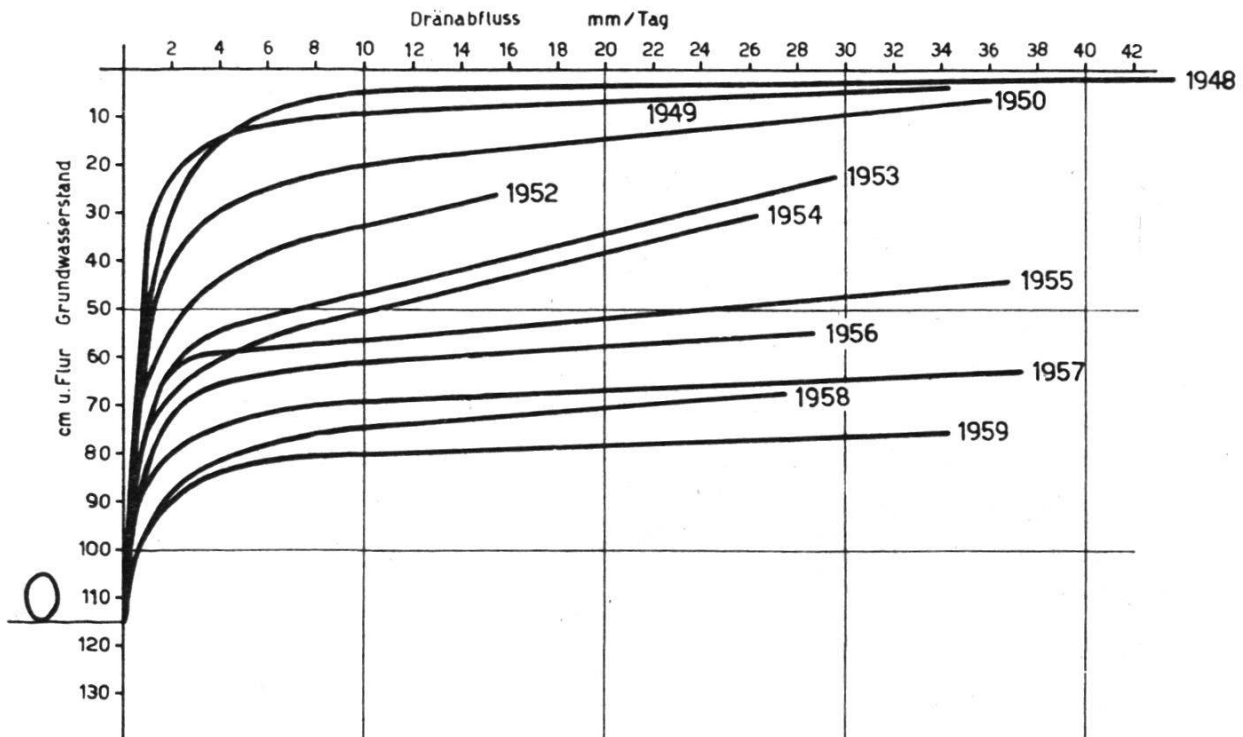


Abb. 7

sind die Aufwölbung in Dränbeetmitte und der Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens enthalten, mit deren Hilfe der jeweils erforderliche Dränabstand unter Berücksichtigung der täglich abzuführenden Wassermenge berechnet werden kann. In vorliegendem Fall ist die Aufwölbung in Dränbeetmitte, der tägliche Abfluß und der Dränabfluß bekannt. Deshalb ist es mit der Hooghoudtschen Formel möglich, die Durchlässigkeit des Bodens aus diesen bestimmten Daten zu errechnen.

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die Veränderungen des Durchlässigkeitsbeiwertes in den einzelnen Jahren der Systeme I und III, woraus die Tendenz und das zum Teil enorme Ausmaß der k -Wert-Veränderung gut zu ersehen ist.

Es läßt sich erkennen, daß die Veränderungen im Boden von der Bodenoberfläche ihren Ausgang nehmen. Die Gleichmäßigkeit, mit der sich dieser Vorgang vollzieht, berechtigt zu der Annahme, daß dies zwar hauptsächlich auf die physikalischen Veränderungen der tonigen Bodenbestandteile zurückzuführen ist, daß aber die Wirkung der Pflanzen (Durchwurzelung und Wasserentzug) diese Veränderungen nicht unwesentlich beeinflusst.

Der Boden zwischen den Dränbeeten hat sich im Laufe der zwölfjährigen Beobachtungszeit oberhalb der Dräntiefe in hydrologischer Hinsicht stark verbessert; seine Wasserleitfähigkeit hat sich dabei mehr als hundertfach vergrößert. Die Durchlässigkeitswerte entsprechen am Ende einem viel grobkörnigeren Material, als auf Grund der tatsächlichen Korngrößenverteilung des Bodens zu erwarten wäre.

**Veränderung des Durchlässigkeitsbeiwertes
im Zeitraum 1948 bis 1959. System 1.**

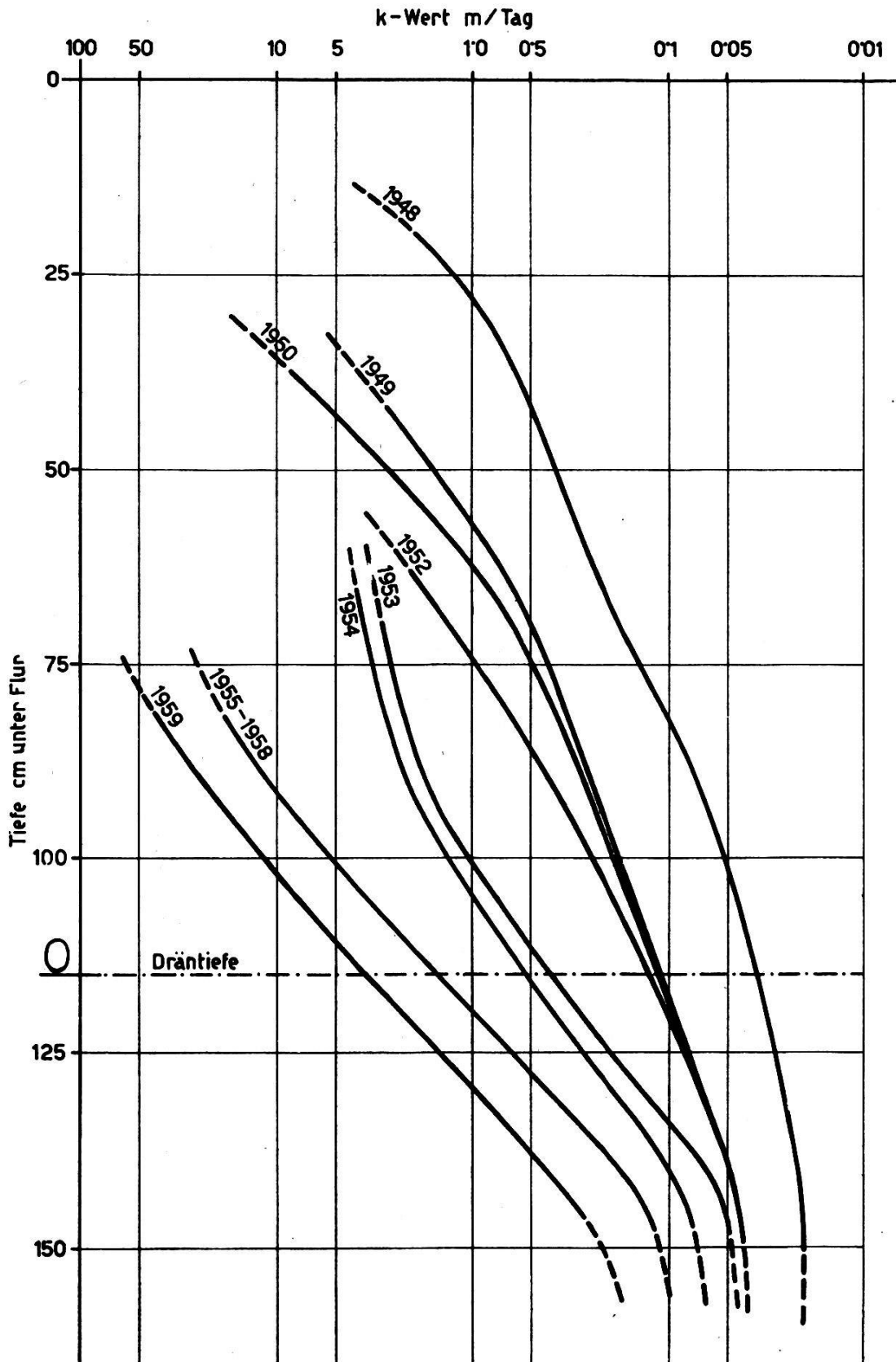


Abb. 8

**Veränderung des Durchlassigkeitsbeiwertes
im Zeitraum 1948 bis 1959. System 3.**

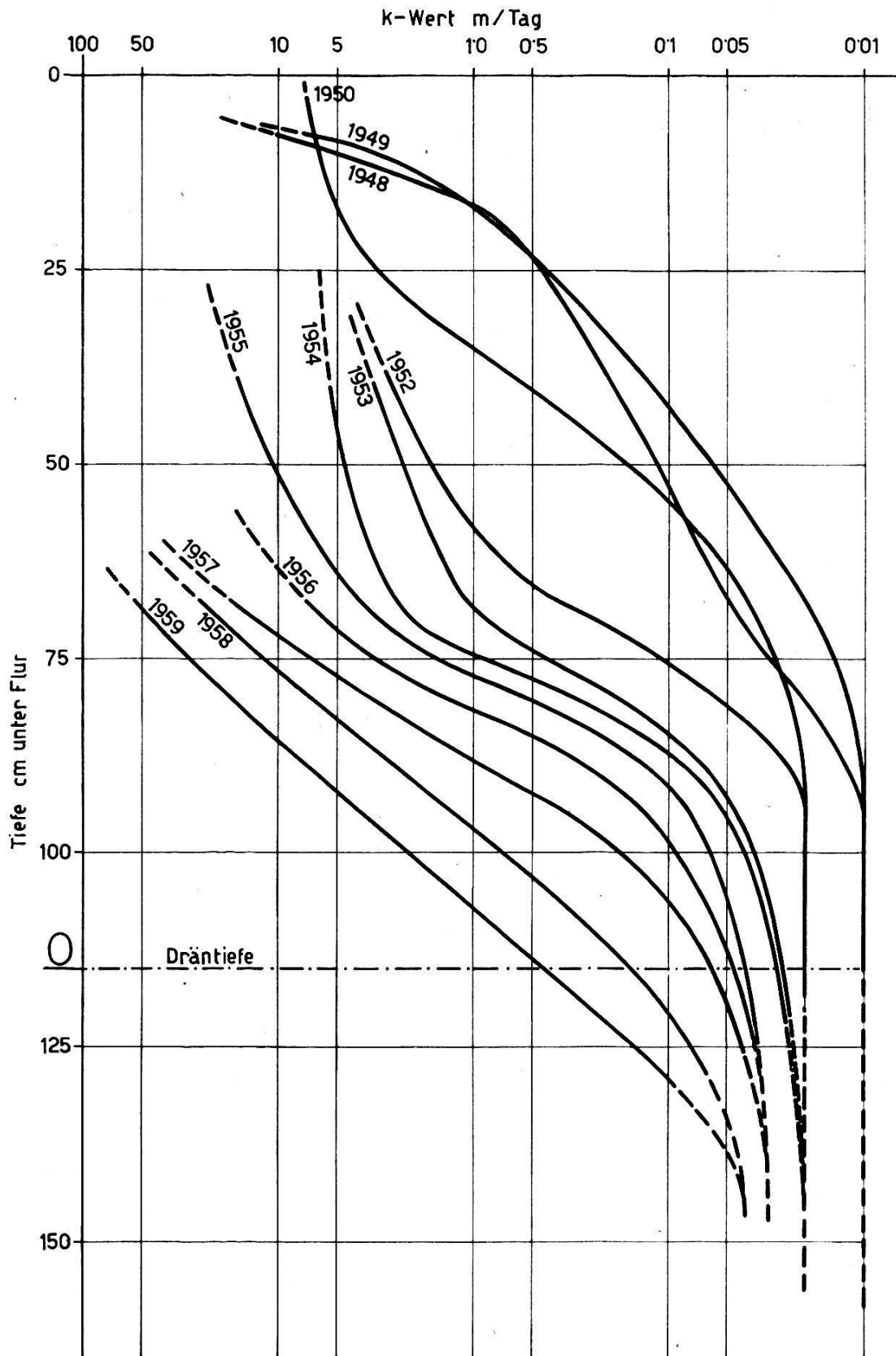


Abb. 9

Unterhalb der Dräntiefe erreichte die Bodenverbesserung bei weitem nicht jenen Umfang als in dem Bereich darüber, war aber trotzdem für die Dränwirkung von Bedeutung.

Ein Vergleich der Dränentfernungen, die sich theoretisch aus den für die Jahre 1948 beziehungsweise 1959 ermittelten k -Werten nach Hooghoudt ergeben, weist auf die praktische Bedeutung dieser Veränderungen im Boden hin, wenn sie schon bei der Planung der kulturtechnischen Melioration beachtet werden.

<i>System III:</i>	1948	Dränentfernung $E = 5,00$ m
	1959	Dränentfernung $E = 38,40$ m
<i>System II:</i>	1948	Dränentfernung $E = 15,00$ m
	1959	Dränentfernung $E = 66,20$ m
<i>System I:</i>	1948	Dränentfernung $E = 11,00$ m
	1959	Dränentfernung $E = 40,00$ m

Der theoretisch erforderliche Dränabstand erreicht am Ende der Beobachtungszeit im Mittel das Fünffache seines Anfangswertes.

Für die Praxis ergibt sich daraus die Frage, wieweit es vertretbar ist, den Dränabstand gleich zu Beginn mit jenem Wert zu wählen, der dem Bodenzustand nach einer bestimmten Zeit entsprechen würde. Auf diese Frage kann aus dem Verlaufe der Bodenveränderung in System III ($E = 16$ m) im Vergleich zu den übrigen Systemen ein Hinweis abgeleitet werden. Im System III ging die Veränderung langsamer als in den übrigen Systemen vor sich. Und dies hauptsächlich deshalb, weil in diesem System ein größerer Dränabstand gewählt wurde und außerdem die Durchlässigkeit des Bodens zu Beginn kleiner war. Demnach braucht ein anfangs scheinbar zu weit gedränkter Boden längere Zeit, um den gleichen Entwicklungsgrad zu erreichen, als bei «richtigem» Dränabstand. Es wäre zu überlegen, ob der Entwicklungsrückstand im zu weit gedränten Boden nicht durch billige Ergänzungsmaßnahmen, wie etwa Untergrundlockerung mit dem Maulwurfdränpflug, überbrückt werden kann.

Diese Frage ist für die Böden im Vorarlberger Rheindelta aktuell und kann auf Grund der bisherigen Versuchsergebnisse von Fußach positiv beantwortet werden. Die Bodenverhältnisse in System III (16 m Dränabstand) waren im Jahre 1959 derart, daß sowohl hinsichtlich der Feldbestellung als auch der Erträge zu den übrigen Systemen keine Unterschiede mehr festzustellen waren. Eine Untergrundlockerung mittels Maulwurfdränpflugs hätte den Boden des Systems III zweifellos schon in den ersten Jahren jenem der Systeme I und II angeglichen, wie dies im Jahre 1959 der Fall war.

Diese Frage soll in den kommenden Jahren im neu errichteten Dränversuchsfeld Höchst noch eingehender geprüft und untersucht werden.

Als Versuchsdränung (Abb. 10) wurde im Versuchsfeld Höchst, welches im Jahre 1962 mit Mitteln des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft Wien errichtet wurde, ausgeführt:

1. Eine normale Röhrendränung mit 16 m und 30 m Dränentfernung bei einer Dräntiefe von 1,20 m (System A und B).

Lageplan 1:5000

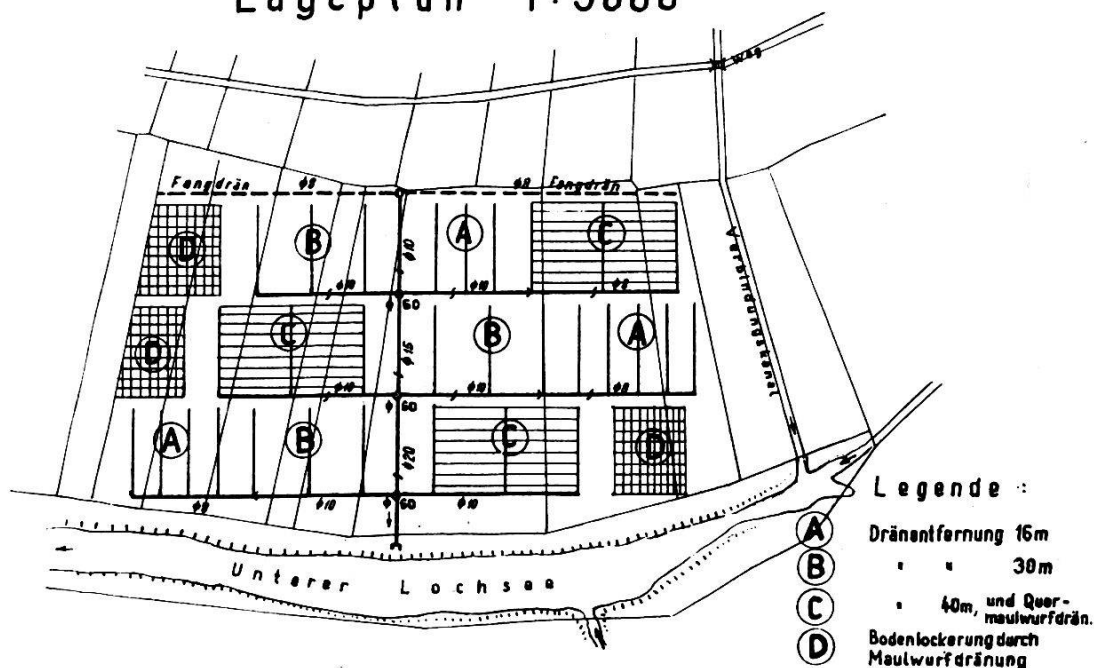


Abb. 10

2. Eine Röhrendränung mit 40 m Dränabstand, einer Dräntiefe von 1,20 m und einer Maulwurfdränung, die quer zu den Saugern als Untergrundlockerung verläuft (System C).
3. Eine bloße Untergrundlockerung mittels Maulwurfdrängängen ohne künstlichen Abfluß (System D).

Von dieser Anlage liegen erst einjährige Ernteergebnisse vor, so daß natürlich noch kein Urteil möglich ist.

Immerhin ist so viel ersichtlich, daß die vorerwähnte Annahme gleich zu Beginn einer Entwässerungsmaßnahme größere Dränabstände zu wählen und mittels billigerer Ergänzungsmaßnahmen die Gefügeveränderung zu fördern berechtigt erscheint. Die einzelnen Systeme brachten im ersten Versuchsjahr folgende Ernteergebnisse:

Ernteertrag in Prozenten von System A (A = 100%)

	System A E = 16 m	System B E = 30 m	System C E=40m+M	System D Boden- lockerung
Wiese (Streue mit Aufdüngung)	100 %	104 %	103 %	82 %
Wiese (Umbruch mit Einsaat)	100 %	78 %	115 %	83 %
Hafer (Korn)	100 %	93 %	114 %	92 %
Hafer (Stroh)	100 %	111 %	109 %	88 %
Kartoffel	100 %	99 %	103 %	94 %

Aus dieser Aufstellung kommt deutlich zum Ausdruck, daß die Kombination – Röhrendränung und Maulwurfdränung zur Lockerung – sich auf die Erträge am besten ausgewirkt hat. Die Erfolge liegen teilweise über den Erträgen, die mittels Röhrendränung $E = 16$ m erzielt wurden.

Die wirtschaftliche Auswirkung der bisher ermittelten Versuchsergebnisse

Neben der Sammlung und Überprüfung von theoretischen und praktischen Erkenntnissen über das Dränwesen liefern die Dränversuche willkommene wirtschaftliche Angaben. Gerade in der heutigen Zeit, in der die Landwirtschaft, einkommensmäßig gesehen, ein Stiefkind der allgemeinen Konjunktur ist, in einer Zeit, in der der wirtschaftliche Wettbewerb durch die Assoziierung von Wirtschaftsräumen immer schärfer wird, ist die Frage der Rentabilität von Entwässerungen immer mehr von Bedeutung. Die Kulturtechnik muß danach trachten, die Hektarkosten der Meliorationen soweit wie möglich zu senken, damit die landwirtschaftlichen Produktionskosten in einem erträglichen Ausmaß bleiben. Wirtschaftliche Hektaraufwendungen für Meliorationen sind für den Staat als Subventionsgeber genau so wichtig wie für den einzelnen Landwirt, der sich für die Ausführung von Entwässerungen entschlossen hat. Anhand der Versuchsergebnisse von Fußach ergibt sich für das Vorarlberger Rheindelta folgendes Bild:

Eine Änderung des Dränabstandes um nur ± 2 m bewirkt im Bereiche der mittleren zur Anwendung kommenden Strangentfernungen bereits eine Verminderung oder Vermehrung der Herstellungskosten um rund 10%. Die Versuchsergebnisse zeigten, daß mit einer Strangentfernung von 16 m derselbe Erfolg erzielt wurde wie mit einer Dränentfernung von 10 m. Die Hektarkosten, in denen lediglich die Laufmeter Haupt- und Seitenstränge, nicht aber die Vorflutbeschaffung eingeschlossen sind, ergeben bei durchschnittlichen Preisen, die im Jahre 1962 in Vorarlberg ermittelt wurden, folgende Vergleiche.

1. Bei einer Röhrendränung mit 10 m Drändistanz		öS
a) Hauptstrang rund 95 lfm, pro Laufmeter	öS 30.—	2 850.—
b) Seitenstränge rund 860 lfm, pro Laufmeter	öS 24.—	20 640.—
	Erfordernis/Hektar	23 490.—
2. Bei einer Röhrendränung mit 16 m Drändistanz		
a) Hauptstrang rund 95 lfm, pro Laufmeter	öS 30.—	2 850.—
b) Seitenstränge rund 570 lfm, pro Laufmeter	öS 24.—	13 680.—
	Erfordernis/Hektar	16 530.—

Die Erweiterung der Drändistanz um 60% bringt pro Hektar eine Gesamtkostenersparnis von öS 6960.—; das sind 30%. Umgerechnet auf die 900 Hektar dränbedürftige Fläche im Vorarlberger Rheindelta ergibt dies eine Gesamtkostenverminderung von rund öS 6 264 000.—. Die Ersparnis der öffentlichen Subventionsgeber beträgt allein bei dieser Fläche bei einer Beihilfe von 40% öS 2 505 600.—; und für die beteiligten Landwirte dieses Gebietes beträgt das Mindererfordernis öS 3 758 400.—.

Die Versuche in den nächsten Jahren werden zeigen, ob die Hektarkosten mittels der Kombination Röhrendränung-Maulwurflockerung noch weiter gesenkt werden können. Die Ergebnisse des ersten Beobachtungsjahres geben eine berechtigte Hoffnung.

Der Umstand, daß bei der heutigen Wirtschaftslage des Bauernstandes beträchtliche Teile der Bausummen in Form von Beihilfen aus

öffentlichen Mitteln aufgebracht werden müssen, zeigt, wie wichtig es ist, in größeren Meliorationsgebieten Entwässerungsversuche durchzuführen.

Literaturverzeichnis

- Blümel, F.*: Kulturtechnische Bodenaufnahme für das Dränversuchsfeld Fußach. Bundesinstitut für Kulturtechnik und Technische Bodenkunde, Petzenkirchen (unveröffentlicht).
- Fausser, O.*: Kulturtechnische Bodenverbesserungen. Berlin 1947.
– Vorschläge für die internationale Ausgestaltung des Dränversuchswesens. Mitteilungen der Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. IV, 4, 1929.
- Feichtinger, F.*, und *Schwendinger, E.*: Der abgeschlossene Dränversuch in der Polderversuchsanlage Fußach und die geplanten Versuche in Höchst im Vorarlberger Rheindelta. Unveröffentlichter Bericht für die Österreichische Kulturbauämtertagung in Linz 1961.
- Hooghoudt, S. M.*: Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grooheden van den grond! N. 7, 1940, 's-Gravenhage, Allgemeine Landsdrukkerij.
- Mudra, A.*: Einführung in die Methodik der Feldversuche. Leipzig 1952.
- Ramsauer, B.*: Bodenfeuchtedienst in Österreich. Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 1, Heft 1/2, 1949.
- Schwendinger, E.*: Die kulturtechnischen Versuchsanlagen Fußach und Höchst im Vorarlberger Rheindelta. Zeitschr. «Die Bodenkultur», Wien, 13. Bd., Heft 1, 1962.
- Wagner, H.*: Die Entwässerung im Gebiete der Rheinmündung. Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 3, Heft 5/5.
- Zunker, F.*: Steigerung der Hektarerträge in der Landwirtschaft durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen. Wasserwirtschaft – Wassertechnik, 2. Jg., Heft 7, 1952.

Ein neuer Profilmeßwagen der SBB

Von P. Fülcher, dipl. Ing., Generaldirektion der SBB, Bern

Bei jedem Transport muß geprüft werden, ob das beförderte Gut auf der ganzen Strecke genügend Platz hat. Beim schienengebundenen Verkehr sind die Möglichkeiten des Ausweichens viel kleiner als auf der Straße oder gar beim «Handtransport». Es ist für die Bahnverwaltungen äußerst wichtig, vollständige und nachgeführte Aufnahmen des lichten Raumes über ihr ganzes Bahnnetz zu besitzen.

Diese Aufnahmen wurden bisher «mechanisch» gemacht, indem man zum Beispiel von einem bekannten, auf einem Wagen montierten Profil aus mit dem Doppelmeter bis an die Tunnelwand maß. Für genaue Angaben mußte dann das Spiel der Räder in den Schienen und der Wagenfedern berücksichtigt werden. Anstelle dieser großen und schwerfälligen Profile wurden später leichtere und kleinere Koordinatographen und Pantographen konstruiert, um das aufzunehmende Profil mehr oder weniger automatisch in einem bestimmten Maßstab aufzuzeichnen. In Frankreich und Deutschland sind Wagen im Gebrauch, an deren Außenwand bewegliche Gleitarme angebracht sind, die gegen die Tunnelwand pressen. Beim Durchfahren eines Tunnels werden die Gleitarme mehr oder weniger ausgelenkt, welche Bewegung im Wagen aufgezeichnet wird.

Alle «mechanischen» Verfahren haben den großen Nachteil, daß im Bereich der Fahrleitung auch bei ausgeschalteter Leitung keine vollständigen Profile erhoben werden können. Zudem sind die Verfahren ziemlich