

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: 60 (1962)

Heft: 6

Artikel: Vergleich von Beobachtungsergebnissen einer Maulwurf- und Normaldrainage im Versuchsfeld Therwil

Autor: Ramser, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-217689>

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: 04.04.2026

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

Le calculateur constate que le groupe constitué par les trois premiers termes de (6) donne lieu à une meilleure concordance que le groupe des trois derniers; c'est donc sur le point P_4 que les soupçons doivent se porter. Il y a encore d'autres solutions à envisager.

Dans les lignes qui précèdent certains aspects seulement de ce vaste problème furent traités, en considérant surtout les exigences de la pratique.

Littérature

- [1] *F. Ackerl*, «Die Fehlerellipse des Neupunktes beim Rückwärtseinschnitt aus fehlerhaften Punkten» (Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, 1949, N° 5).
- [2] *E. Czuber*, «Theorie der Beobachtungsfehler» (Teubner).
- [3] *W. Grossmann*, «Grundzüge der Ausgleichsrechnung» (Springer-Verlag).
- [4] *S. Wellisch*, «Ausgleichsrechnung II» (Wien, Fromme).
- [5] *A. Ansermet*, «Sur l'application de la théorie de l'équivalence» (Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, 1960, N° 3).

Vergleich von Beobachtungsergebnissen einer Maulwurf- und Normaldrainage im Versuchsfeld Therwil

Von Prof. E. Ramser, Zürich

Einleitung

Über die Verwendung des Maulwurfpfluges und des Untergrundlockerers zur Entwässerung bindiger Böden und zur Behebung von Verdichtungshorizonten wurde vom Schreibenden bereits in den nachstehenden Publikationen berichtet:

- «Unsere bisherigen Versuchsergebnisse bei Maulwurfdrainagen» («Schweizerische Zeitschrift für Vermessung und Kulturtechnik», Nr. 10, 1953).
- «Untersuchungen bindiger Böden auf Grund ihres Wasserhaltevermögens und Folgerungen für die Entwässerungspraxis» («Schweizerisches Baublatt», Nr. 41, 1954).
- «Die zweckmäßige Lösung problematischer Fragen in der Entwässerung bindiger Böden» («Schweizerische Bauzeitung», Nr. 42, 1955).

Neben kleineren Versuchsanlagen von Maulwurf- oder Moledrainagen in den Jahren 1948/49 wurde dieses Entwässerungsverfahren bei uns erstmals 1952 auf einer größeren Fläche von rund 11 ha in der Gemeinde Therwil (Baselland) angewendet, nachdem die dortige Meliorationsgenossenschaft einen «Dekkerpflug» aus Holland beschafft hatte.

Gestützt auf Artikel 16, Alinea 2, unseres Landwirtschaftsgesetzes vom 30. Oktober 1951, machte der Chef des Eidgenössischen Meliorationsamtes den Vorschlag, hier ein Versuchsfeld durch das Kulturtechnische Institut der ETH zu installieren, um die Auswirkungen einer Mole- drainage gleichzeitig mit denjenigen einer Normaldrainage innerhalb des-

selben Meliorationsgebietes im Verlaufe einiger Jahre zu beobachten und zu vergleichen. Der Regierungsrat des Kantons Baselland und die Flurgenossenschaft gaben hierzu ihr Einverständnis, indem sie gleichzeitig mit dem Bund die Installationen und die Kosten der Beobachtungen, exklusive derjenigen des Kulturtechnischen Instituts, gemeinsam übernahmen. Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß die landwirtschaftliche Nutzung des Meliorationsgebietes während der Dauer der Untersuchungen unverändert weiterlief.

Das Entwässerungsgebiet bildet eine regelmäßige Abdachung von 4 bis 6 % Neigung. Die Drainage mußte vor der Güterzusammenlegung durchgeführt werden. Da die Parzellen meist schmale Streifen von minimal 6 m Breite bilden und durch Grenzgräben in der Fallrichtung voneinander getrennt sind, konnten wir die Erdgänge der Moledrainage nicht quer zur Fallgeraden führen, da wir damit auf 100 m' Länge immer 7 bis 8 Grenzgräben von 30 und mehr Zentimetern Tiefe geschnitten hätten. Bei der Wahl der Erdgänge als Längsdrains hatten wir anfänglich Bedenken, weil die französische Literatur als obere Gefällsgrenze 3 % empfiehlt. Höhere Angaben von deutschen Autoren haben uns indessen wieder beruhigt. In der Tat haben die nachfolgenden Untersuchungen ergeben, daß zufolge der großen Bindigkeit des vorhandenen Lößlehmes keine nennenswerten Sohlenvertiefungen eingetreten sind. Der Untergrund zeigt durchwegs einen homogenen, kalkarmen, tonigen Schlufflehm mit sehr kleinen Streuungen seiner Komponenten Ton und Schluff, die in Gesamtheit zwischen 62 und 69 % wechseln. Diese Lößschicht von 1 bis 2 m Mächtigkeit liegt auf einem Hochterrassenschotter, der aber beim Bodenuntersuch nicht festgestellt wurde. Unsere Annahme, daß wir bei diesen Drainagen nur mit Eigenwasser zu rechnen hätten, erwies sich deshalb als Irrtum.

Innerhalb einer normal entwässerten Fläche von rund 2 ha beschränkten wir unsere Beobachtungen auf ein System von Querdrainage im Inhalt von 0,8 ha. Auf Grund langjähriger praktischer Erfahrungen wurde für diese kleine Anlage eine Drainerntfernung von 12 m gewählt, bei Tiefen von 80 bis 90 cm. Gemäß der Kornanalyse und dem Quergefälle hätte sich eine Draindistanz von 11 m ergeben.

Für die Moledrainage wählten wir zwei Hauptsammler in der Fallrichtung und sieben Nebensammler als Querleitungen in Abständen von 70 bis 115 m, in Tiefen von 0,90 bis 1,20 m. Die Entfernung zwischen den Molegängen beträgt überall 2,50 m, bei einer mittleren Tiefe von 60 cm.

In der Mitte zwischen zwei Drains der Röhrendrainage (R_1) und zwei Erdgängen der Maulwurfdrainagen (M_2 und M_3) wurden je eine Feuchte- und Temperaturmeßstation errichtet, nachdem vorher im Laboratorium die Feuchtigkeitscharakteristika (Sorptionskurven) dieser Stellen in Tiefen von 15, 25, 35 und 45 beziehungsweise 55 cm ermittelt worden waren (hierüber Artikel «Die elektrometrische Bestimmung der Bodenfeuchte und ihre Anwendung auf die Bewässerungspraxis», «Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik», Nr. 2, 1955).

Im Jahr 1952 stellten wir für die vergleichenden Beobachtungen folgendes Arbeitsprogramm auf:

1. Drainwasserabfluß im Zusammenhang mit den Niederschlägen.
2. Regelmäßige Messung der Bodenfeuchte und -temperatur.
3. Ermittlung der strukturellen Bodenveränderung.
4. Wirkungsdauer der Moledrainage.
5. Kostenvergleich zwischen Röhren- und Moledrainage.

Für die Durchführung dieses Programms wurden in unmittelbarer Nähe des Versuchsfeldes ein Pluviograph neuester Konstruktion, ausgerüstet mit einem Thermostaten, sowie besondere Meßschächte zur Bestimmung des Drainwasserabflusses in den Hauptsammlern der Röhren- und Moledrainagen (R_1 , M_2 und M_3) aufgestellt, deren Registrierstreifen alle 10 Tage ausgewechselt wurden. Zu gleicher Zeit erfolgten die Messungen der Bodenfeuchten und -temperaturen mit einem Ohmmeter der «Berkeley Scientific Division», in Richmond, Kalifornien, welche letztere uns gleichzeitig die sehr zweckmäßigen Bodenelektroden lieferte. Das Kulturtechnische Institut hat dieses elektrometrische Meßverfahren erstmals im Versuchsfeld Therwil angewendet, ohne dabei auf frühere Erfahrungen abstellen zu können; wir mußten diese erst im Laufe unserer Untersuchungen sammeln.

Über die vom Sommer 1953 bis Herbst 1957 gemachten Beobachtungen sowie über den Zustand der Moledrainagen im Herbst 1958 nach sechsjähriger Wirkungsdauer soll der nachstehende Bericht in einigen wichtigen Punkten Aufschluß geben.

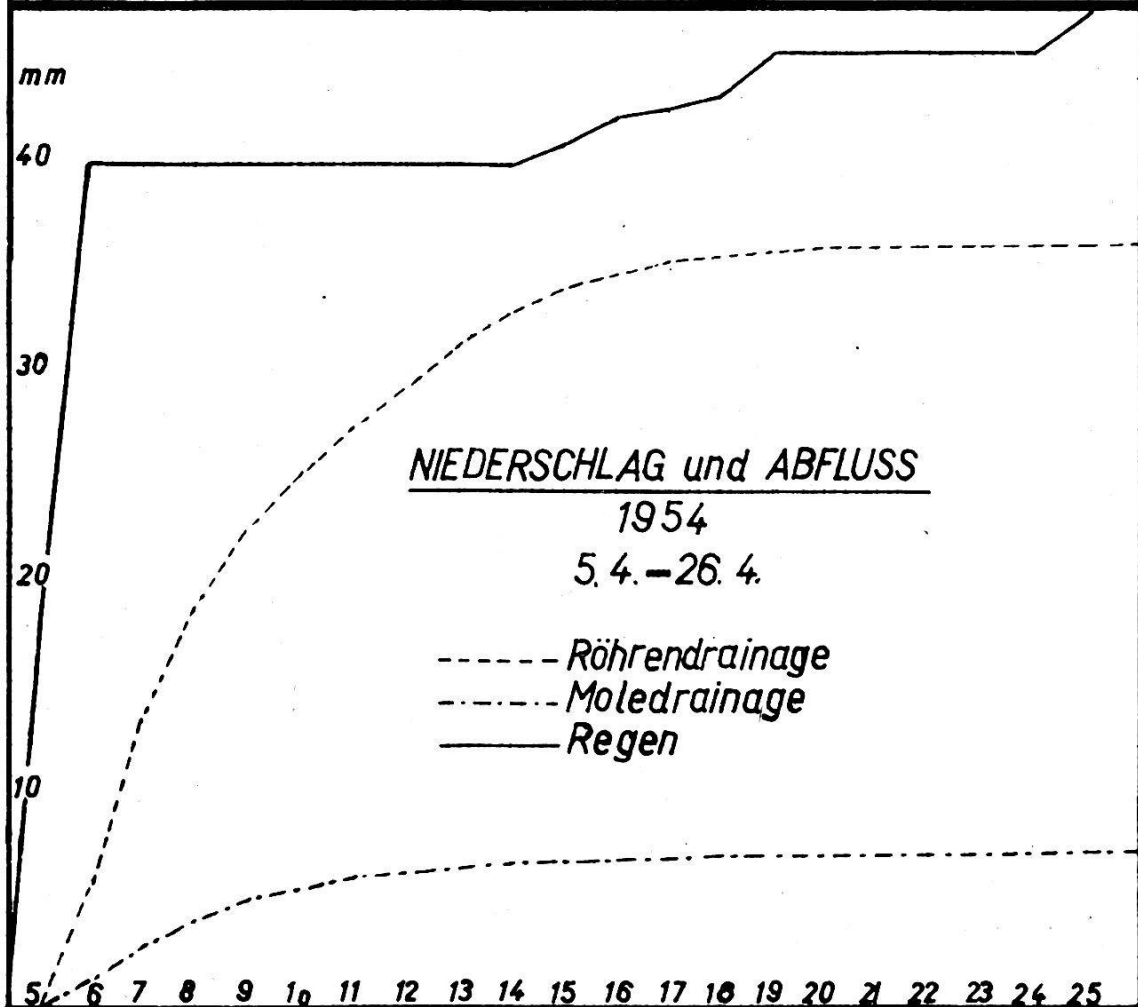
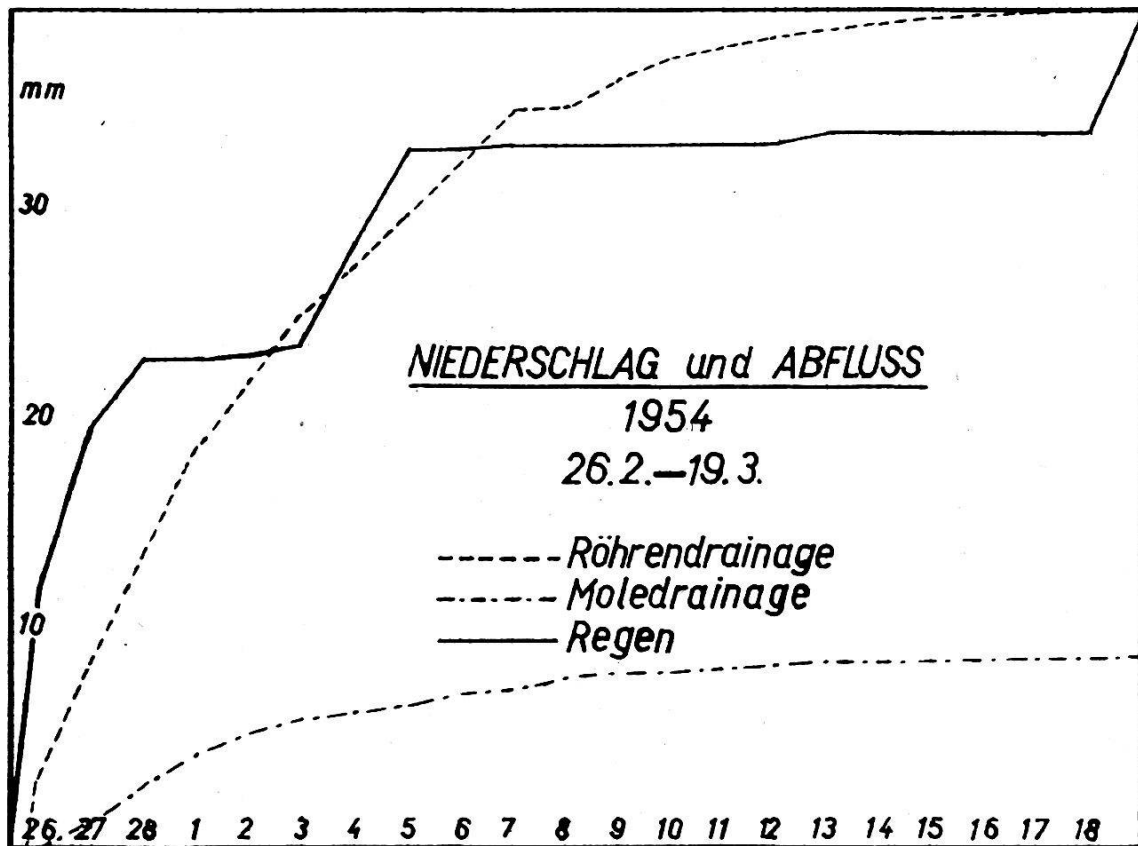
1. Drainwasserabfluß im Zusammenhang mit den Niederschlägen

Unsere in die Ermittlung der spezifischen Drainwasserabflüsse aus Eigenwasser gesetzten Erwartungen haben sich leider nur zu einem kleinen Teil erfüllt. Vor allem erwies sich die Annahme, daß wir im homogenen Boden der drei Versuchsfelder nicht mit Fremdwasser zu rechnen hätten, als ein Irrtum.

Im Meßschacht des Molegebietes M_3 war der Wasserandrang infolge eines Dauerregens zu Beginn des Monats Februar 1954 derart groß, daß der ganze Schacht unter Wasser stand und der Registrierapparat entfernt werden mußte. In der Folge haben wir deshalb auf weitere Messungen dieses Drainagegebietes verzichtet.

Dagegen konnten wir den Zusammenhang der Niederschläge mit dem Abfluß in der Moledrainage M_2 und der Röhrendrainage R_1 während der zwei geschlossenen Regenperioden vom 26. Februar bis 19. März und vom 5. bis 26. April 1954 sehr schön verfolgen (Tafel 1). In der Moledrainage M_2 stieg der Abfluß der ersten Niederschlagsperiode bis zum 13. März allmählich an, blieb dann ungefähr gleich lang konstant, um nachher wieder nach und nach zu fallen (Tafel 1 oben verkürzt). Ganz analog reagierte diese Drainage während der zweiten Regenperiode vom 5. bis 26. April, nur mit dem Unterschied, daß der bezügliche Abfluß um ein geringes kleiner war (Tafel 1 unten).

Sehr auffallend ist der reichliche Abfluß der Normaldrainage R_1 , der vom 6. bis 18. März die Niederschläge sogar übersteigt, währenddem er



Tafel 1

beim Aprilregen unter diese herabfällt, trotzdem diese höher sind als jene vom März. Dasselbe gilt auch für das Molegebiet M_3 , über das hier, wie oben erwähnt, keine Summenkurve mehr angelegt werden konnte. Das ungleiche Verhalten der Drainage M_2 gegenüber M_3 und R_1 kann nur auf Fremdwasserzufluß in den letzten zwei Gebieten zurückzuführen sein, indem einzelne Rohrleitungen dieser beiden Drainagen wenigstens teilweise im Hochterrassenschotter unter dem Lößlehm liegen müssen. Der kleine Flächenunterschied von nur 1,7 ha des Drainsystems M_3 gegenüber M_2 kann bestimmt nicht als Ursache der viel größeren Wasserführung in M_3 geltend gemacht werden. Dagegen deutet eine Flurbezeichnung «Brünliacker» im unteren Teil dieses Drainsystems darauf hin, daß hier in früheren Zeiten ein Brunnen bestanden haben muß, der aus Fremdwasser des Hochterrassenschotters gespeist wurde. Die Messungen der Abflußmengen während der Jahre 1954 bis 1957 in der Mole Drainage M_2 dagegen ergeben einwandfrei, daß es sich hier nur um Eigenwasser handelt.

Den Vergleich der spezifischen Drainabflußmengen zwischen Normal- und Mole Drainage können wir demnach nicht erbringen, weil diese eben zeitweise auch mit Fremdwasser belastet sind. Dagegen zeigen die während sechs Regenperioden gemessenen Niederschläge und Abflußmengen des niederschlagsreichen Jahres 1954 einige interessante Ergebnisse. Gemäß Tafel 2 (oben) wechseln die mittleren Drainabflüsse der Röhrendrainage von 0,095 zu 0,43 l/s/ha, währenddem die maximalen Abflußmengen variieren zwischen 0,33 und 1,31 l/s/ha. Trotz dem Fremdwasserzufluß erreicht also der maximal gemessene spezifische Abfluß von 1,31 l noch nicht die für schweizerische Verhältnisse üblich gewählte Größe für $q = 2$ l/s. – In der letzten Kolonne dieser Tabelle wird der Drainabfluß in Prozenten der gleichzeitigen Niederschläge ausgedrückt. Bei der Normaldrainage wechselt dieser von 40,68 auf 108,82% und zeigt eindrucklich, daß hierin Fremdwasser beteiligt sein muß. In der Mole Drainage M_2 dagegen variiert dieser Anteil nur zwischen 4,75 und 25,64%.

Aus der Betrachtung der Tafel 3 lassen sich direkte zeitliche Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß in den Gebieten R_1 und M_2 erkennen. Wir stellen fest, daß der Abfluß, auf den Niederschlag bezogen, sofort anspricht, und zwar nicht nur im Gebiet R_1 mit Fremdwasser, sondern auch im Gebiet M_2 ohne Fremdwasser.

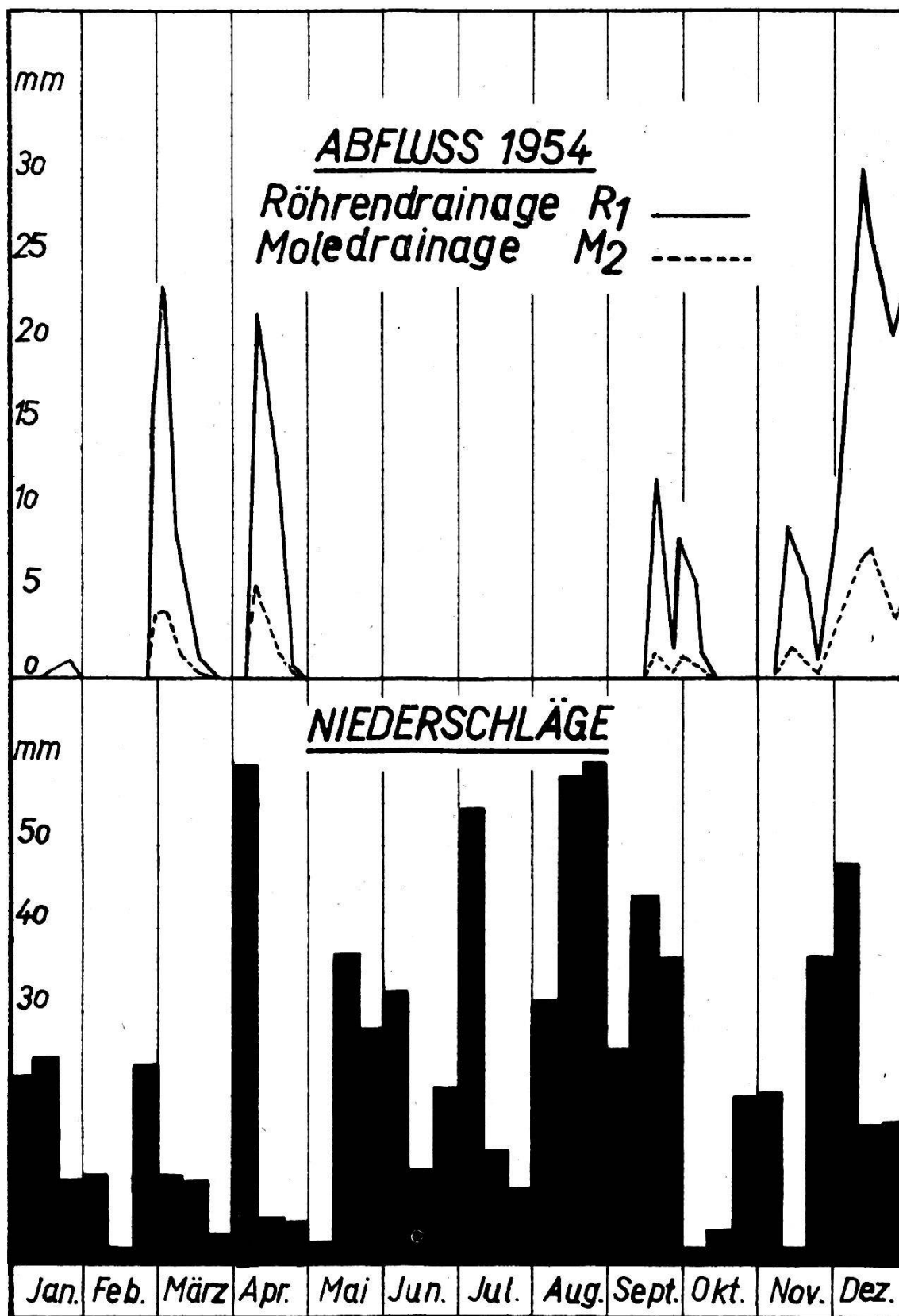
Im Monat Januar 1954, als der Boden gefroren war und nur sehr geringe Versickerungen stattfanden, sind die Drainwasserabflüsse in R_1 und M_2 auch sehr minim und gleich groß.

Ende Februar und anfangs März dagegen, als Tauwetter einsetzte und der Boden bis auf 45 cm Tiefe zu 92,5 bis 97% wassergesättigt war (siehe Tafel 4), hatte eine Niederschlagshöhe von total 45 mm bereits Drainwasserabflüsse von 23,5 beziehungsweise 4 mm zur Folge. Die wesentlich größere Regenhöhe von 60 mm im ersten Drittel des Monats April aber verursachte in der Röhrendrainage nur einen etwas kleineren Abfluß mit einer Spitze von 22 mm, währenddem der Abfluß der Mole Drainage eine etwas größere Zahl als im Vormonat, nämlich 5,5 mm, erreichte. Diese kleinen Differenzen im Abfluß bei höheren Niederschlägen

Abfluß in der Röhrendrainage R_1 und in der Moledrainage M_2
während einiger Regenperioden des Jahres 1954

Tafel 2

	Niederschläge l/ha	Dauer der Niederschläge	Dauer des Abflusses	Abflußmenge l/ha	Mittlerer Abfluß l/ha/s	Maximal- abfluß l/ha/s	Abfluß in % der Niederschläge
Röhrendrainage R_1	432 000	26. 2. – 5. 3. 19. 3. – 21. 3.	26. 2. – 21. 3.	400 072	0,20	0,63	92,59
	400 000	5. 4. – 6. 4.	5. 4. – 25. 4.	363 748	0,21	1,12	90,90
	246 000	14. 9. – 15. 9.	14. 9. – 26. 9.	140 512	0,12	0,66	57,12
	402 000	25. 9. – 8. 10.	27. 9. – 16. 10.	163 501	0,095	0,38	40,68
	198 000	7. 11. – 9. 11.	8. 11. – 26. 11.	164 997	0,11	0,33	83,34
	1 173 000	25. 11. – 31. 12.	28. 11. – 31. 12.	1 276 371	0,43	1,31	108,82
Moledrainage M_2	432 000	26. 2. – 5. 3. 19. 3. – 20. 3.	26. 2. – 21. 3.	92 045	0,045	0,25	21,29
	400 000	5. 4. – 6. 4.	5. 4. – 25. 4.	74 532	0,041	0,25	18,63
	246 000	14. 9. – 15. 9.	14. 9. – 26. 9.	17 168	0,015	0,10	7,00
	402 000	25. 9. – 8. 10.	27. 9. – 18. 10.	19 200	0,010	0,07	4,75
	198 000	7. 11. – 9. 11.	8. 11. – 26. 11.	27 627	0,020	0,07	13,95
	1 173 000	25. 11. – 31. 12.	28. 11. – 31. 12.	300 788	0,10	0,32	25,64



Tafel 3

im April sind die Folge stärkerer Verdunstung und der bereits einsetzenden Wasserabsorption der Pflanzen.

Die letzteren beiden Einflüsse während der Vegetationsmonate Mai bis Mitte September werden so groß, daß beide Drainsysteme überhaupt kein Wasser führen, trotzdem bedeutende Niederschlagshöhen registriert werden. Besonders interessant ist die Tatsache, daß die Moledrainage trotz der relativ geringen Tiefe der Erdgänge, auch bei starkem Regen während der Vegetationsmonate, ganz analog der Röhrendrainage, in der Wasserführung nicht ansprach.

Ab Mitte September sowie im Spätherbst nach Abschluß der Vegetationsperiode und im Winter bei nicht gefrorenem Boden steigen die Abflüsse, bezogen auf die Niederschläge, wieder an.

Die obenstehenden Resultate haben allerdings nur den Wert genereller Richtlinien, da zur genauen Erfassung des Wasserhaushaltes im Boden auch Verdunstungswerte gemessen werden sollten. Auf diese mußten wir in Therwil seinerzeit aus organisatorischen Gründen verzichten.

2. Regelmäßige Messung der Bodenfeuchte und -temperatur

2.1. Die Methode der elektrometrischen Feuchtebestimmung

Wie bereits erwähnt, wurde diese Methode seinerzeit in der «Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie», in der Februar-Nummer 1955, geschildert und wird darum als bekannt vorausgesetzt.

Für die Durchführung des Meßverfahrens standen dem Kulturtechnischen Institut weder eine praktische Anleitung noch irgendwelche Erfahrungen zur Verfügung. Die letzteren mußten vorerst durch eine Reihe von Versuchen beschafft werden. Unter Verwendung unserer gebräuchlichen Burgerzylinder von 1000 cm³ für die Gewinnung von Testproben zur Aufstellung der Feuchtigkeitscharakteristika ergaben für die Bodenfeuchte zu große Werte. Der Grund lag darin, daß die Austrocknung des Bodenmaterials im Bereich der eingeschobenen Sandwichelektroden größer war als an der Peripherie des vom Stahlmantel umgebenen Bodenzylinders. Immerhin erkannten wir aus diesen relativen Werten einen bald größeren, bald kleineren Feuchtigkeitsgehalt, und zum Teil auch höhere Temperaturen der Mole- gegenüber der Röhrendrainage, und daß vagabundierende Ströme in diesem Versuchsgebiet nur sehr selten auftraten.

Schon nach den ersten Messungen ließen wir die anfänglich ermittelten Feuchtigkeitscharakteristika fallen und ermittelten deren neue unter Verwendung von nur 100-cm³-Testproben. Die so erhaltenen Sorptionskurven wurden mit den Beobachtungsreihen auf dem Feld immer wieder unter Anwendung der sogenannten «Trockenschrankmethode» getestet, wobei nur sehr geringe Abweichungen zu konstatieren waren. Als Ergebnis dieser Teste gilt:

Die Bestimmung der Bodenfeuchte auf elektrometrischem Wege darf für die Verhältnisse des Versuchsfeldes Therwil als zuverlässig gewertet werden.

Voraussetzung ist natürlich, daß systematische Fehler, die von der Wahl der einzelnen Meßbrücken, der Ausbildung der Elektroden, von gewissen spezifischen Bodenverhältnissen usw. abhängen, vor den Auswertungen erkannt werden.

2.2. Die Verhältnisse der Bodenfeuchte und -temperatur

Zur Illustration dieser Verhältnisse haben wir aus den vielen Beobachtungen eine Reihe von Werten herausgegriffen und diese in den Tafeln 4, 5 und 6 zur graphischen Darstellung gebracht.

In Tafel 4 sind für das Jahr 1954 die Ganglinien der Bodenfeuchte, ausgedrückt in Volumprozenten der Wasserkapazität, in Tiefen von 25, 35 und 45 cm der Röhren- und der beiden Moledrainagen dargestellt. Für die oberste Schicht zeigt sich die deutliche Tendenz, daß der moledrainierte Boden mit wenigen Ausnahmen geringere Feuchte aufweist als der normal drainierte. Dieses Verhältnis wechselt mit zunehmender Tiefe und ist für eine solche von 45 cm umgekehrt. Hier nähert sich der Wassergehalt der Moledrainagen der Sättigung und erreicht diese bei M_2 in den Monaten September bis Dezember, während die tiefer liegenden Rohrdrainagen geringere Feuchte aufweisen. In die Augen springend sind die relativ großen Schwankungen der Feuchten in den beiden oberen Bodenschichten, währenddem sie in 45 cm Tiefe wesentlich kleiner werden.

Merkwürdig erscheint der Verlauf der Feuchteganglinie der Moledrainage M_3 in 35 cm Tiefe, die bekanntlich zu gewissen Zeiten Fremdwasser führt. Sind diese kleinen Feuchten eine Folge des tieferliegenden Grundwassers im unterliegenden Hochterrassenschotter, dessen Spiegelschwankungen nicht beobachtet wurden, oder ist die Ursache im Wechsel der Kulturbedeckungen zu suchen? Im Jahr 1954 wurden auf den Flächen Gras und Hackfrüchte angebaut, 1955 dagegen Hafer und Weizen.

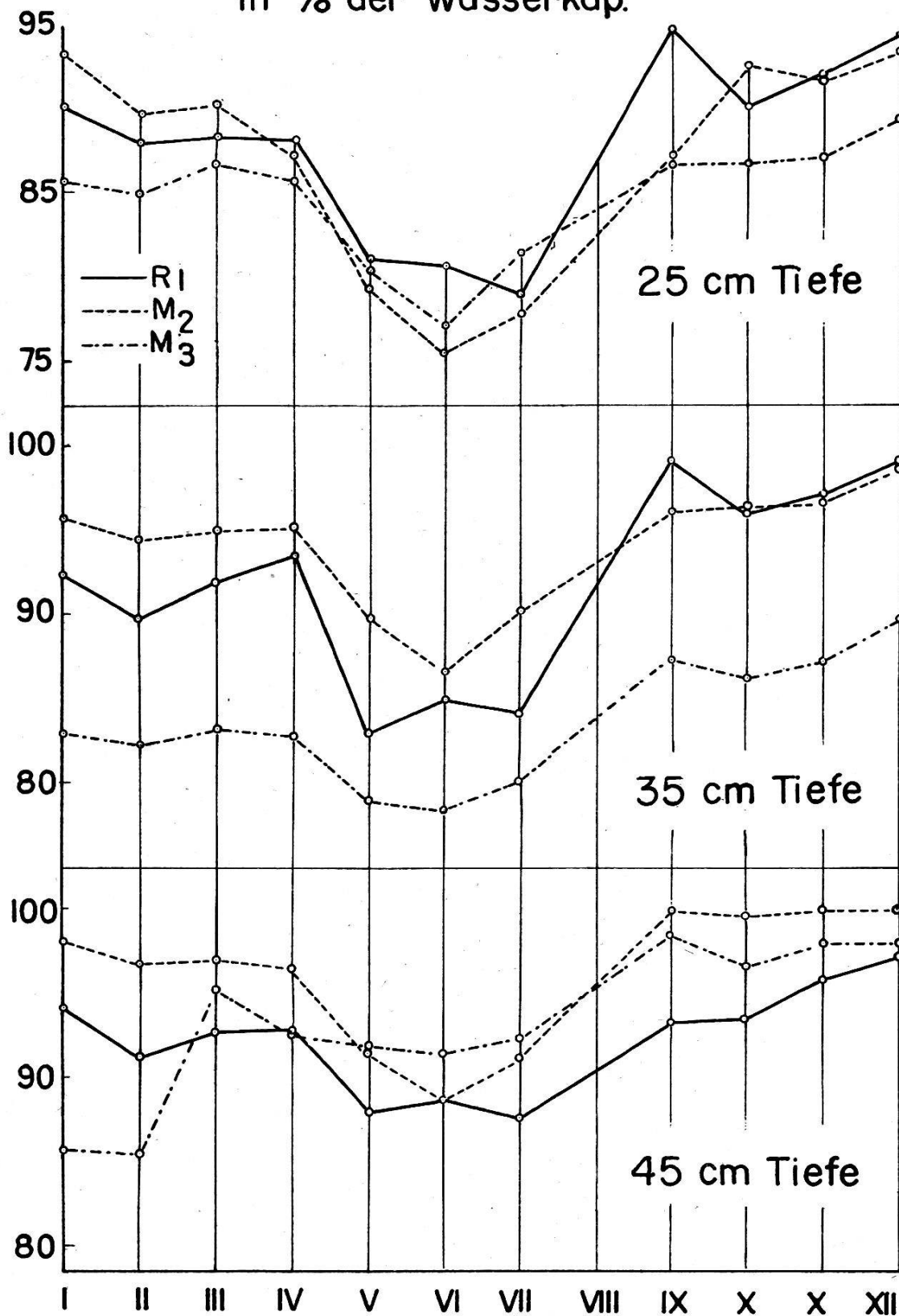
Es war unsere Absicht, auch den Einfluß der Kulturbedeckung auf die Bodenfeuchte und -temperatur zu untersuchen sowie Ernteertragsmessungen durchzuführen, was sich leider nicht als möglich erwies. *Diese wichtigen Fragen können nur dann abgeklärt werden, wenn ein Versuchsfeld zur Verfügung steht, auf dem das Kulturtechnische Institut nach seinen Bedürfnissen schalten und walten kann.*

Da die Sandwichelektroden ein temperaturmessendes Element besitzen, haben wir damit auch die so einflußreichen Bodentemperaturen bis auf 0,1 °C genau bestimmt. Es waren die überaus kleinen Streuungen derselben, die uns die Zuverlässigkeit dieser amerikanischen Elektroden bestätigten. Der Temperaturverlauf während des Jahres 1954 in den drei Entwässerungsgebieten ist in Tafel 5 dargestellt.

In der obersten Schicht von 25 cm Tiefe sind die Bodentemperaturen des moledrainierten Gebietes M_2 während der Monate Juni bis Oktober höher als diejenigen der Normaldrainage; die größte Spitze der erstern

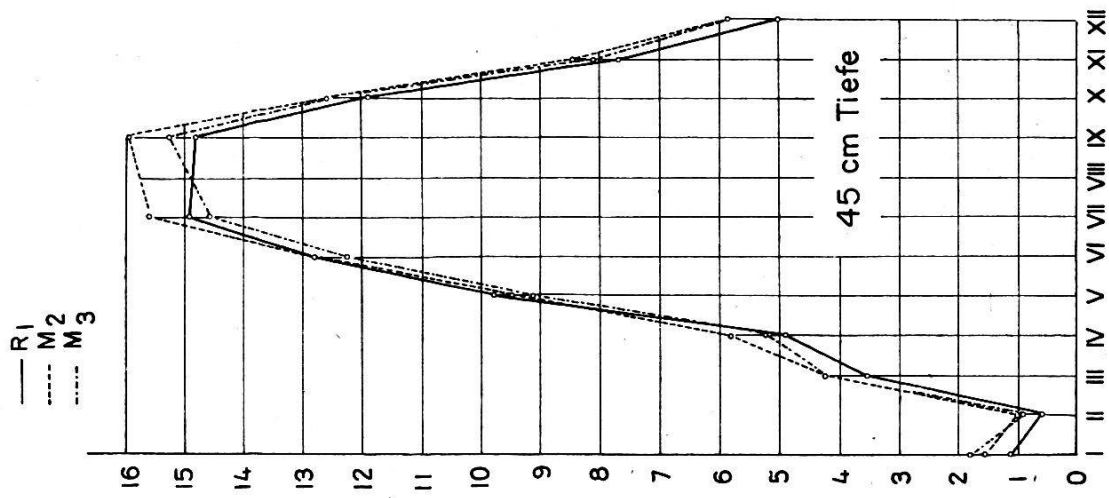
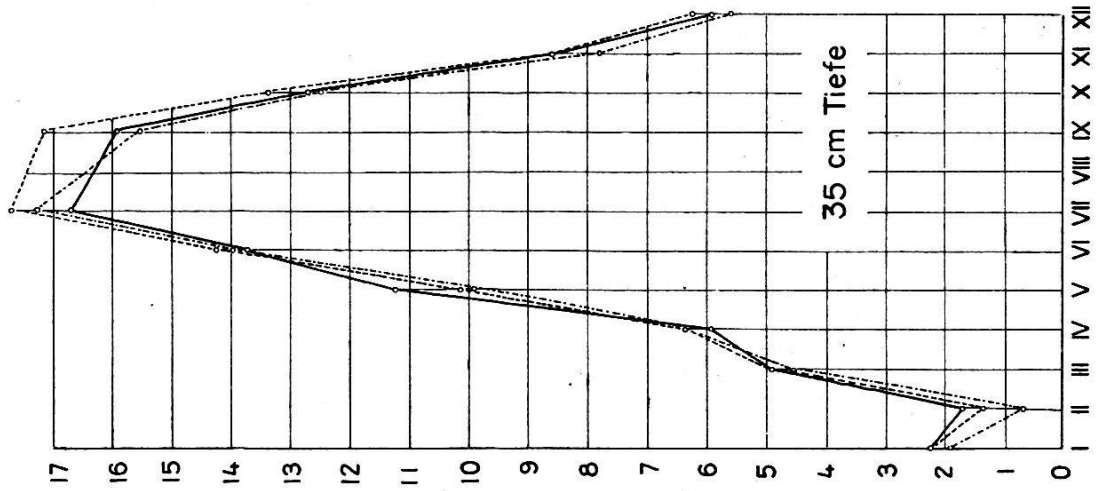
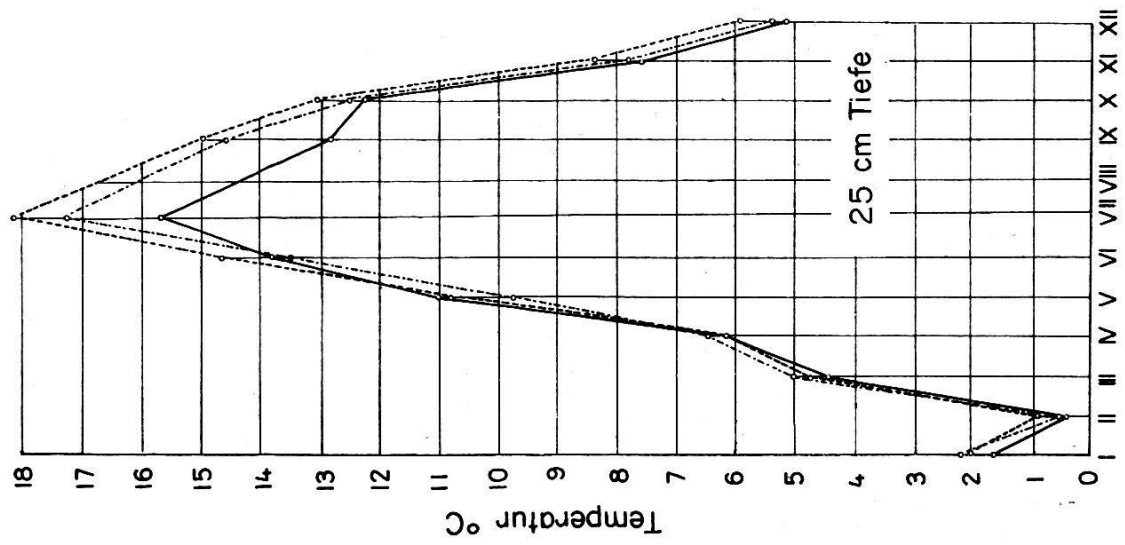
Feuchtigkeitsverlauf 1954

in % der Wasserkap.



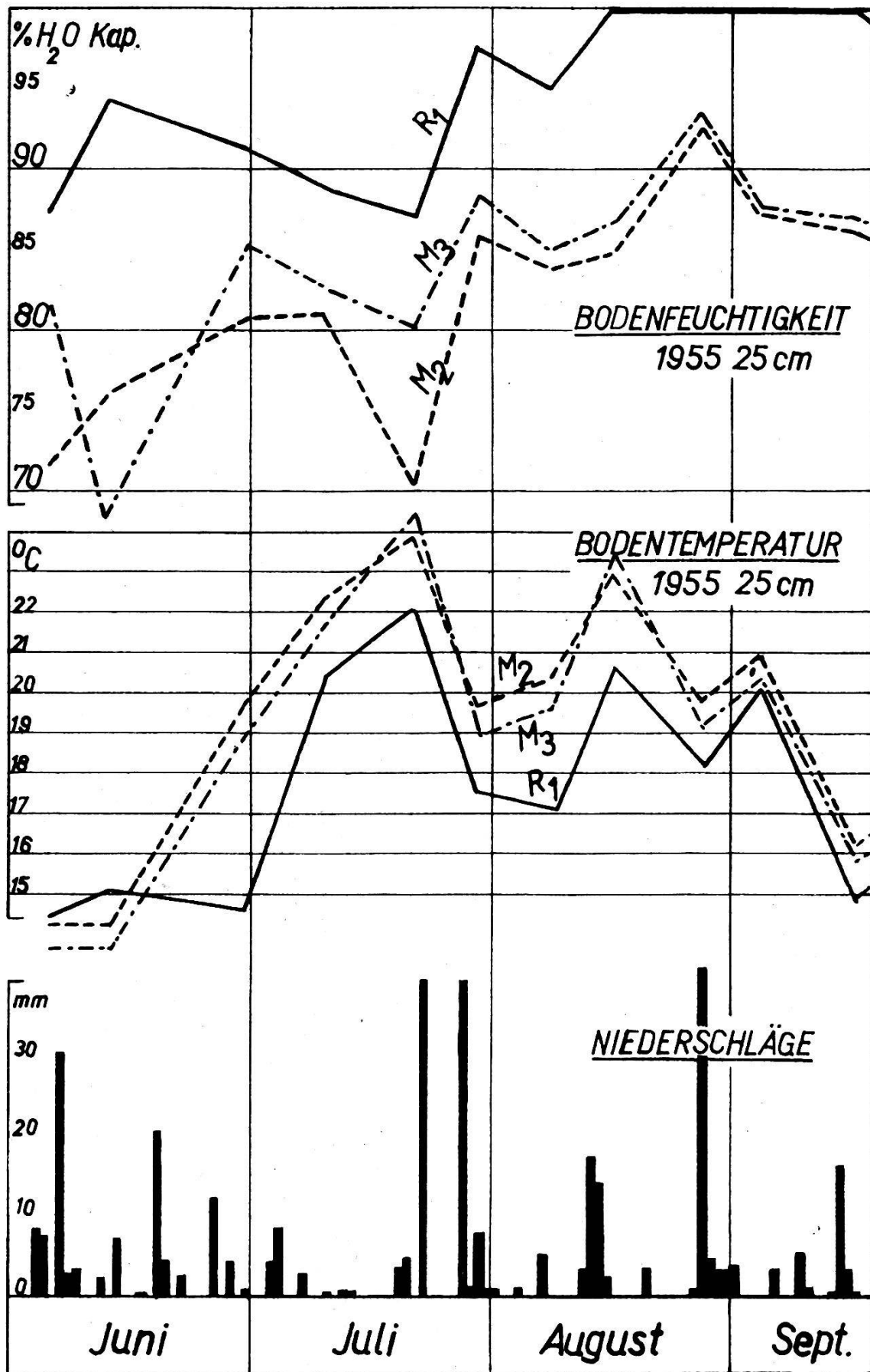
Tafel 4

Temperaturverlauf 1954



— R1
 - - - M2
 ····· M3

Tafel 5



Tafel 6

erreicht im Juli gegenüber der letztern eine Differenz von rund 2,5 °C, die sich in den Tiefen von 35 und 45 cm auf etwa 1,2 beziehungsweise 1,13 °C im September ermäßigt (Tafel 5). Die Spitzen werden mit zunehmender Tiefe abgebaut, und zwar in allen entwässerten Flächen gleichzeitig.

Tafel 6 zeigt uns den Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte, -temperatur und Niederschlagshöhe in einer Tiefe von 25 cm während der Zeit von Anfang Juli bis Mitte September 1955, die niederschlagsreicher waren als dieselben Monate des Vorjahres. Aus diesem Graphikon erkennt man, daß die Feuchte des moledrainierten Bodens um etwa 10 %, im Juni sogar mehr als 20 % (M_3) unter derjenigen des röhrendrainierten liegt. Umgekehrt verhält es sich mit der Bodentemperatur, die im Durchschnitt um 1 bis 2 °C, Ende Juni sogar um ungefähr 5 °C in der Mole-
drainage M_2 höher steigt. Man erkennt aus diesen Unterschieden der Feuchte und Temperatur, wie wertvoll gleichzeitige Ertragsmessungen gewesen wären, um sich ein sicheres Urteil darüber zu erlauben, welchem Entwässerungsverfahren der Vorzug zu geben wäre. Interessant ist die Feststellung, daß die moledrainierten Böden Ende August nur eine kurzfristige Spitze von 93 % Feuchte zeigten, währenddem die röhrendrainierten von Mitte August bis Mitte September eine volle Sättigung aufweisen.

Sehr deutlich ist der Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte und -temperatur zu erkennen, fallen doch Spitzen der letzteren mit Tiefstwerten der Feuchte zusammen.

Diese geringere Feuchte und höhere Temperatur in der obersten Bodenschicht des moledrainierten gegenüber dem normal entwässerten Gebiet ist offensichtlich eine Folge der Bearbeitung mit dem Molepflug, dessen gewaltsames Eingreifen durch Maulwurf, Preßkopf und Schwert die Entstehung radial vom Molegang aus nach oben verlaufender Bodenrisse bewirkt, die ein rascheres Versickern und eine stärkere Verdunstung ermöglichen. Deshalb wird in den USA die Moledrainage als Maßnahme der Bodenbearbeitung betrachtet. Auf die Änderung der Bodenstruktur soll im nächsten Kapitel noch näher eingetreten werden.

In diesem Zusammenhang sei auf die praktische Beobachtung mehrerer Grundbesitzer hingewiesen, wonach die moledrainierten Felder im Frühjahr um 5 bis 6 Tage früher als die normaldrainierten bestellt werden können.

3. Ermittlung der strukturellen Bodenveränderung

3.1. Ermittlung durch die sogenannte Entwässerbarkeit

Diese Methode wurde vom Berichtstatter im «Schweizerischen Baublatt» (Nr. 41, Jahrgang 1954) geschildert. Als Maßstab für die Beurteilung der Bodenstruktur kann die Wassermenge dienen, ausgedrückt in Prozenten der Wasserkapazität, die dem gesättigten Boden in natürlicher Lagerung durch Wassersaugspannungen von 50, 100 und 150 cm entzogen werden kann. Diese Wassermenge oder Entwässerbarkeit ist

um so größer, je kleiner die Kapillarkraft ist, mit der das Wasser in den Bodenhohlräumen festgehalten wird, je größer also deren Durchmesser sind. Für den Nachweis der abnehmenden Entwässerungswirkung mit zunehmender Draindistanz sowie für die Beweisführung der Entstehung abdichtender Bodenhorizonte bei Verwendung schwerer landwirtschaftlicher Maschinen genügten diese kleinen Saugspannungen vollkommen. Nach einer Wirkungsdauer der Normal- und Moledrainage von drei Jahren stellten wir beispielsweise fest, daß die Entwässerbarkeit der ersten in einer Tiefe von 45 cm und einer Saugspannung von 150 cm um 1,7%, diejenige der letztern um 2,5% zugenommen hatte. Nach der intensiven Bodenbearbeitung und Änderung der Kulturbedeckung erhielten wir

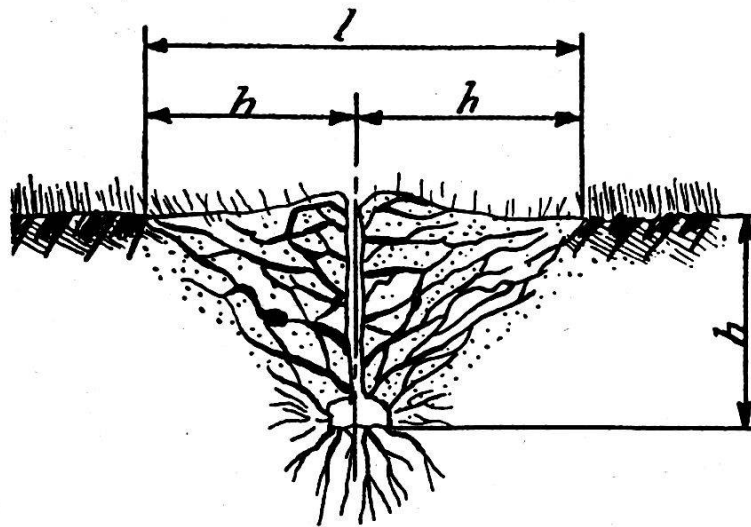


Bild 1

später ganz unterschiedliche Resultate. Gültige Vergleiche sind nur dort möglich, wo die natürliche Umwandlung der Bodenstruktur über längere Zeit durch keinerlei Eingriffe von außen gestört wird, wie auf Naturwiesen oder Brache.

Als Beispiel zur Ermittlung eines abdichtenden Horizontes als Folge des Pflügens oder der Verwendung schwerer Maschinen sei angeführt, daß auf einer ebenen Ackerfläche eine Furchensohlenverdichtung in einer Tiefe von 25 bis 30 cm festgestellt wurde. Hier betrug die Entwässerbarkeit 16,3% der Wasserkapazität, in der darüberliegenden Schicht von 15 bis 25 cm und in der unterliegenden Schicht von 30 bis 40 cm, beide von gleicher Körnung, 19,15 beziehungsweise 19,85%. (Auch diese Untersuchungen wurden bereits mit den kleineren Zylindern von 100 cm³ durchgeführt.)

Da eine Bewirtschaftung mit schweren landwirtschaftlichen Maschinen heute meistens die Regel bildet, soll dafür gesorgt werden, daß die dadurch entstandenen abdichtenden Bodenhorizonte in gewissen Zeitabständen aufgerissen, geschnitten oder gelockert werden, was am zweckmäßigsten durch den Maulwurfspflug oder Untergrundslockerer geschieht, bei welchem letzterem der Maulwurf durch einen schmalen, schiefgestellten

und geschärften Bodenmeißel ersetzt wird. Der Eingriff mit diesen beiden Maschinen wird durch die bereits erwähnten, radial vom Maulwurfs- oder Auflockerungsgang nach oben entstehenden Risse bedeutend größere Änderungen in der Bodenstruktur verursachen als die normal ausgehobenen und wieder eingefüllten Draingräben. Die Wirkungsbreite der Risse nehmen die Franzosen als das Doppelte der Pfluggangtiefe an und wählen deshalb die Entfernung der Bodenschnitte zu $2 \times h$.

3.2. Darstellung der Bodenstruktur durch Dünnschliffe

Die bedeutend größere Änderung der Struktur bei der Mole- gegenüber der Normaldrainage sowie die Abnahme des Einwirkens auf das Gefüge mit zunehmendem Abstand vom Erdgang oder Drain zeigen sich deutlich in den Bodendünnschliffpräparaten der Bilder 2 bis 7. Nachdem ein verdichteter Horizont in einer Tiefe von 25 bis 30 cm festgestellt worden war, wurden die Bodenproben für die Dünnschliffe aus einer Tiefe von 40 cm, beidseitig und in gleichen Entfernungen von den Drains, entnommen. Die von jeder Stelle hergestellten und photographierten drei Dünnschliffe wiesen neben guten Übereinstimmungen der Strukturbilder auch größere Abweichungen auf, was ganz natürlich ist, da jeder Schliff nur eine sehr kleine Fläche umfaßt, die nicht immer einem allgemeinen Zustand entspricht. Die Charakterisierung des Gefüges auf Grund dieses zeitraubenden Verfahrens erfordert daher eine große Zahl von Dünnschliffen. Immerhin erlaubten unsere wenigen Präparate, den Einfluß der beiden Entwässerungsverfahren auf das Bodengefüge sicher zu beurteilen.

Der Vergleich der Bilder 2, 3 und 4 der Moledrainage gegenüber den Bildern 5, 6 und 7 der Normaldrainage illustriert eindrücklich den gewaltvollen Eingriff des Maulwurfspfluges und dessen starke Auswirkung auf das Bodengefüge durch Bildung von großen Hohlräumen und durchgehenden Rissen, die in den Bildern 5 und 6 der Röhrendrainage in viel kleinerer Ausdehnung und viel geringerem Maße auftreten. Bild 4 in der Mitte zwischen zwei Erdgängen, also 1,25 m von diesen entfernt, zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit Bild 7 zwischen zwei Drains, weist aber doch eine stärkere strukturelle Änderung auf.

Durch die Bewirtschaftung mit schweren landwirtschaftlichen Maschinen werden diese Risse und Hohlräume kleiner und kleiner, so daß auch die entwässernde und durchlüftende Wirkung der Moledrainage allmählich abnimmt, weshalb innerhalb gewisser Zeitabstände, je nach Konsistenz des Bodens, die Bearbeitung mit dem Molepflug oder Untergrundlockerer wiederholt werden muß. Der Boden wird aber nicht mehr auf die Primitivstruktur zurückfallen, wie sie vor der Moledrainage bestand.

4. Wirkungsdauer der Molegänge

Nicht nur die Bodenhohlräume und -risse sind für die wirtschaftliche Lebensdauer einer Moledrainage maßgebend, sondern in erster Linie die

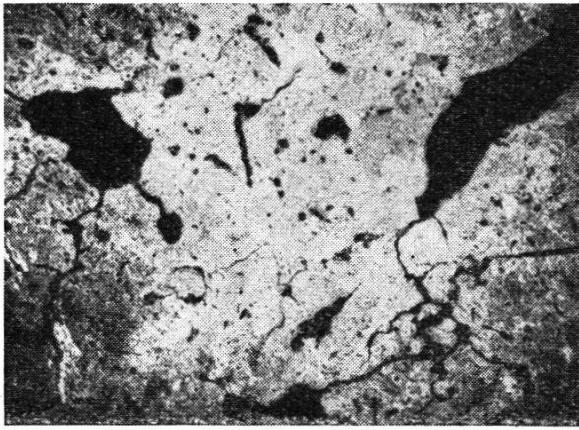


Bild 2. Struktur nach 4 Jahren,
direkt neben dem Molegang

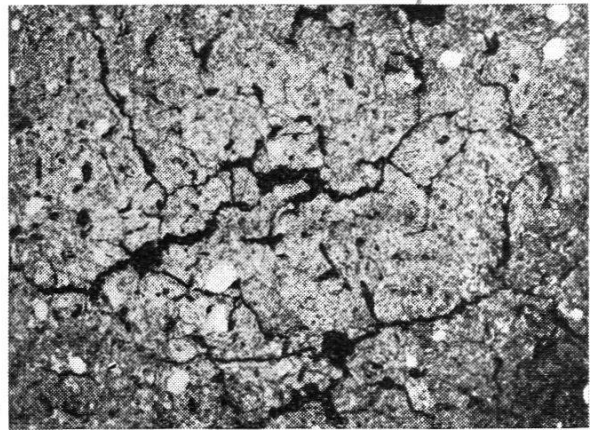


Bild 3. Struktur nach 4 Jahren,
50 cm vom Molegang entfernt

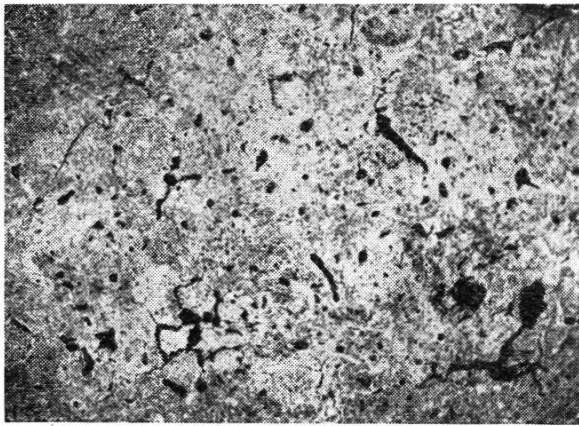


Bild 4. Struktur nach 4 Jahren,
in der Mitte zwischen zwei Molegängen

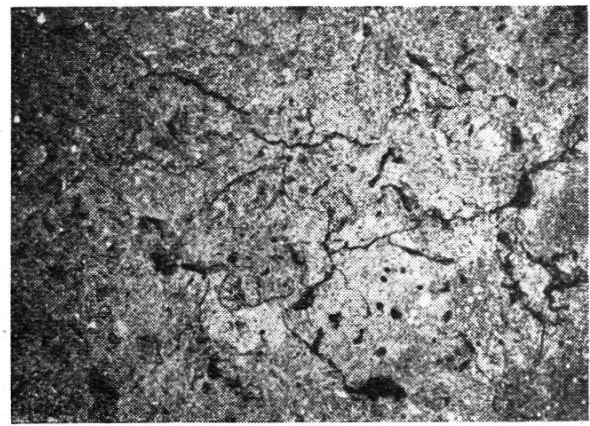


Bild 5. Struktur nach 4 Jahren,
50 cm vom Rohrdrain entfernt

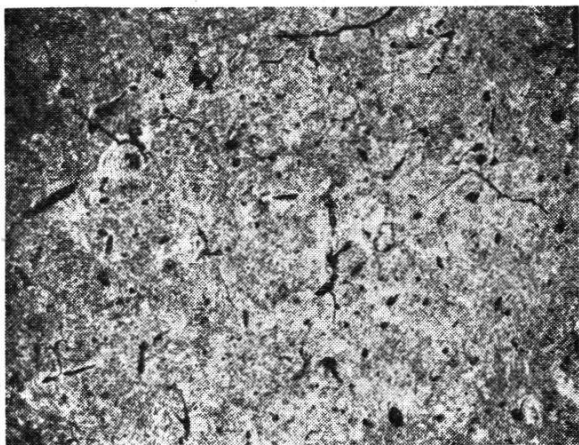


Bild 6. Struktur nach 4 Jahren,
2 m vom Rohrdrain entfernt

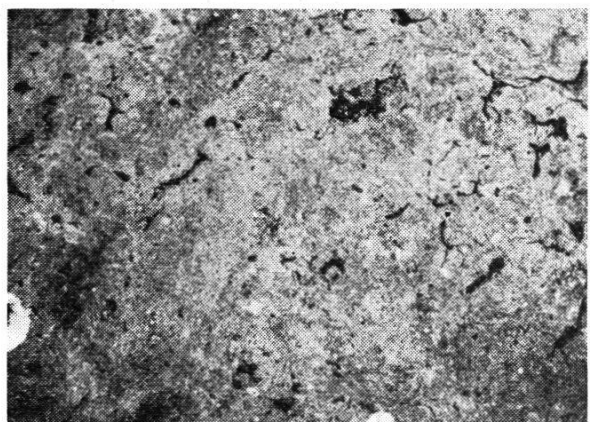


Bild 7. Struktur nach 4 Jahren,
in der Mitte zwischen zwei Drains

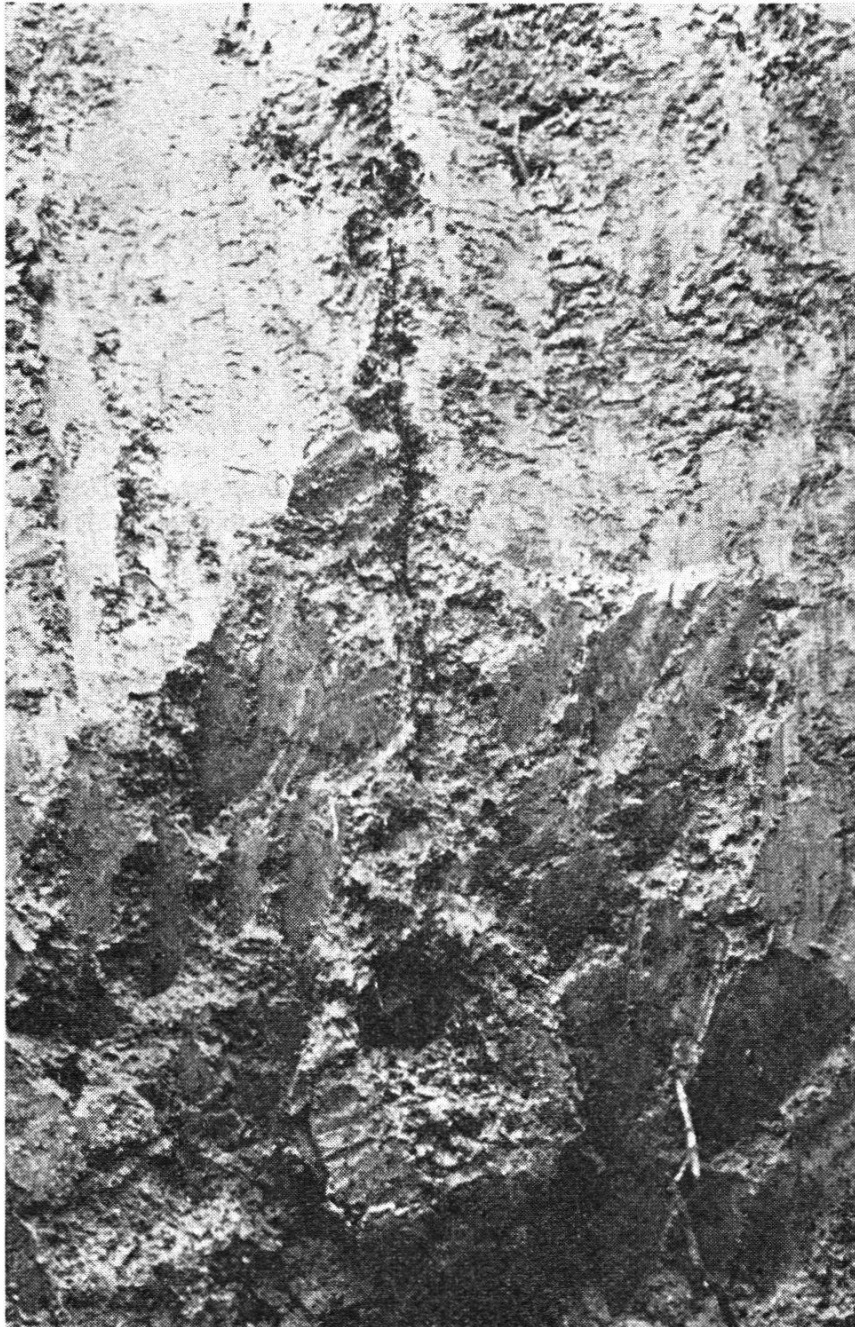


Bild 8. Molegang und Schwertrieb nach 6 Jahren

Haltbarkeit des wasserführenden Querschnittes der Erdgänge. Diese Haltbarkeit wird größer bei zunehmendem Gehalt an Ton und Schluff, die als abschlämmbare Teilchen zusammengefaßt werden. Bei unseren Untersuchungen mußten wir uns auf diese Korngrößenbestimmung beschränken. Wie bereits erwähnt, variierte dieser Gehalt einer Fraktion zwischen 62 und 69% und charakterisiert den Boden als gewöhnlichen Ton. Nach dem deutschen «Merkblatt 83 für die Anlage von Maulwurfdränungen» vom Jahr 1956 wird die erreichbare Lebensdauer in einem solchen Boden bis zu 15 Jahren angegeben, was für unsere Verhältnisse etwas hoch erscheint.

Nach zwei-, vier- und sechsjähriger Funktionsdauer haben wir die Molegänge auf ihren Zustand untersucht und hiervon Gipsabgüsse erstellt. Von zahlreichen Photographien aus je 10 Erdgängen seien hier nur drei Bilder angeführt. Bild 8 zeigt, daß Molegang und Schwertriß nach sechsjähriger Wirksamkeit noch sehr gut erhalten sind. Freilich illustrieren nicht alle Bilder diesen idealen Zustand. Vielenorts wurde der Schwertriß durch die Grabarbeit des Untersuchs zum Teil verschmiert, so daß er nicht mehr so deutlich zum Ausdruck kommt; immerhin erkennt man ihn an der dunklen Farbe, als Folge der aus dem Obergrund eingeschwemmten Humuserde, die zweifellos auch eine bessere Versickerung und Durchlüftung gestattet.

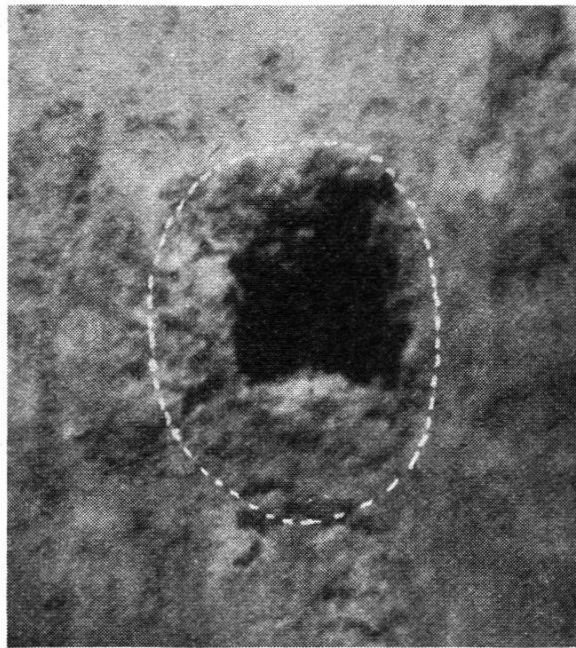


Bild 9. Molegang nach 6 Jahren

Im allgemeinen weisen die Erdgänge, analog Bild 9, nicht mehr kreisförmige, sondern ovale Querschnitte auf, die in der unteren Hälfte mehr oder weniger hoch mit sehr lockerem Material mineralischen und organischen Ursprungs aufgefüllt sind. Erosionserscheinungen in der Sohle der Gänge wurden in diesem bindigen Boden nicht oder nur in sehr geringem Maße festgestellt. Der größte Anteil dieser Ablagerungen rührt von Bodentieren her. (Auffallend sind die typischen Exkreme der Regenwürmer.) Es ist zu erwähnen, daß die Aktivität der Bodentiere im Moledrainagegebiet von Therwil eine überaus rege ist. – Das mineralische Ablagerungsmaterial besteht aus rundlichen Krümeln mit großen Hohlräumen, so daß der Brei der Gipsabgüsse nicht nur den oberen Hohlraum der Gänge ausfüllt, sondern auch in die groben Poren des Ablagerungsmaterials eindringt, so daß wir einen Abguß des ganzen Querschnitts erhalten. Wenn wir bedenken, daß dieser dickflüssige Gipsbrei mit einer Viskosität von > 1

bei dem gegebenen Gefälle der Erdgänge ohne weiteres in deren Ablagerungsmaterial eindringt, so muß das für reines Wasser noch in größerem Maße der Fall sein. Es ist demnach anzunehmen, daß die Gänge auch nach vollständiger Füllung noch eine gewisse Zeit wasserführend bleiben und ihre entwässernde Wirkung noch beibehalten.

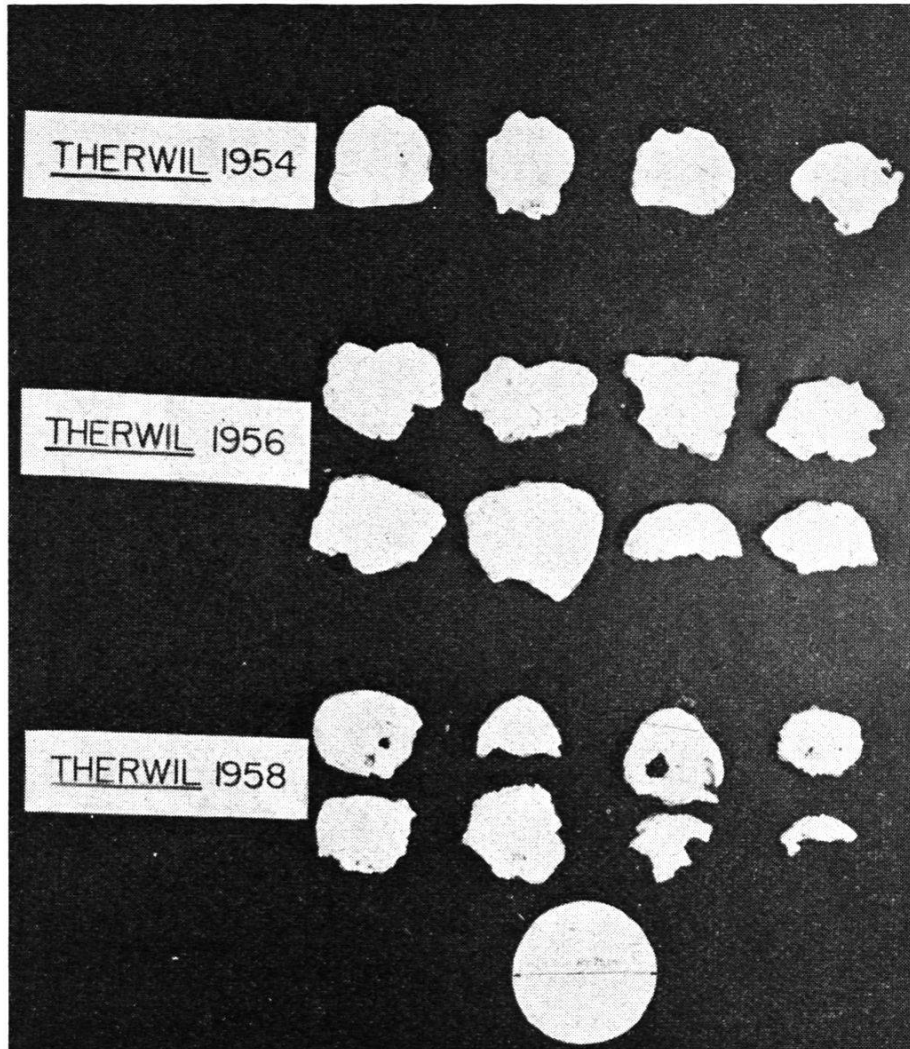


Bild 10

Dieses mit Gips durchsetzte Ablagerungsmaterial konnte nach der Abtrocknung des Gipsabgusses leicht von Hand abgebröckelt werden, so daß der eigentliche Hohlraum des Moleganges mühelos herausgeschält wurde. Erwartungsgemäß wechselt dieser im Laufe der Jahre sehr oft und nimmt die verschiedensten Formen an, wie sie im Bild 10 illustriert sind. Die vier Querschnitte vom Jahr 1954 sind nach zweijähriger Funktion nur wenig verändert und entsprechen dem allgemeinen Zustand. Mit wenigen, gegenüber der anfänglichen Form und Größe noch gut erhaltenen Ausnahmen zeigen die Abgüsse von 1956 und 1958 eine deutliche, ja zum Teil starke Verkleinerung des noch ganz offenen Durchflußprofils. (Der weiße Kreis am unteren Bildrand entspricht dem ursprünglichen

Erdgang bei der Erstellung der Anlage.) Die in den drei Jahren gewählten Untersuchungsstellen wurden immer gewechselt, um die Möglichkeit auszuschalten, unter Umständen schon früher gefundene und gut erhaltene Gänge wieder anzutreffen.

Mit dem Jahr 1958 wurden diese Kontrollen abgeschlossen. Eine visuelle Prüfung der Kulturbedeckungen und deren Vergleich in den Feldern der zwei Entwässerungsverfahren im Spätsommer 1960 ergab absolut keine sichtbaren Unterschiede. Hierüber hätten uns nur Ertragsmessungen sichere Anhaltspunkte gegeben, die leider, wie früher erwähnt, nicht möglich waren. *Grundsätzlich sollten kulturtechnische Versuche auf Gebieten von Bodenverbesserungen, im Sinne des Wortes, immer mit pflanzenbaulichen Beobachtungen und Ertragsmessungen verbunden werden.*

5. Kostenvergleich zwischen kombinierter Mole- und normaler Röhrendrainage

Die Aufsicht über die Ausführung der Entwässerungsarbeiten unterstand dem Meliorationsamt des Kantons Baselland. Dieses stellte dem Kulturtechnischen Institut nur eine kurze Zusammenstellung der Kosten ohne Belege zu. Der Vergleich der Endsummen beider Anlagen, auch nach Abzug der Beträge für die Vorflutleitungen, ergäbe ein falsches Bild, da in der kombinierten Moledrainage von 11,30 ha 14 Schächte erstellt und verrechnet wurden, in der Normaldrainage von 1,96 ha dagegen keine. Wenn die letztere auch eine Fläche von 11,30 ha umfaßt hätte, so wären bestimmt auch mehrere Schächte notwendig geworden. Zum Vergleich der eigentlichen Drainagekosten muß deshalb der Betrag für die Schächte in Abzug gebracht werden. Dementsprechend fallen folgende Positionen in Betracht:

Maulwurfdrainage für 11,30 ha

Sammler: 1840 m'; Drainageröhren, Durchmesser 8–15 cm	Fr. 10 461.—
Pflügen in Abständen von 2,50 m	Fr. 2 664.—
	Fr. 13 125.—
Für Projekt und Bauleitung 10%	Fr. 1 315.—
Zusammen:	Fr. 14 440.—

Durchschnittliche Kosten pro Hektare = Fr. 1278.—.

Besonders interessant sind in dieser Zusammenstellung die Kosten für das Pflügen allein im Betrage von Fr. 2664.—. Sie stellen sich im Durchschnitt pro Hektare auf Fr. 235.75 und sind damit etwas höher als das Mittel von 210.— DM, das im deutschen «Merkblatt 83 über die Anlage von Maulwurfdrainagen» im Jahr 1956 errechnet wurde. Da das Kulturtechnische Institut bei der Arbeitsausführung nicht vertreten war, haben wir keine Anhaltspunkte über eventuelle Erschwernisse der Pflugarbeit durch größere Steine und Baumwurzeln.

Normaldrainage für 1,96 ha

Sauger und Sammler: 1124 m';	
Drainageröhren, Durchmesser 8–25 cm	Fr. 4 802.—
Für Projekt und Bauleitung 10%	Fr. 480.—
	<hr/>
Zusammen:	Fr. 5 282.—

Durchschnittliche Kosten pro Hektare = Fr. 2700.—.

In Therwil stellt sich also die eigentliche Entwässerung pro Hektare kombinierte Moledrainage um Fr. 1422.— oder um rund 56% billiger als die Normaldrainage.

Für die Melioration der Linthebene würde dieser Unterschied, unter Verrechnung derselben Pflügekosten, aber unter Anwendung der damals geltenden Einheitspreise für die übrigen Positionen, rund 59% betragen.

Mit den Minderkosten von Fr. 1422.— in Therwil ließen sich, unter Voraussetzung gleichbleibender Pflugkosten und in der Annahme, daß die Wirkungsdauer der Sammler dieselbe ist wie bei einer normalen Röhrendrainage, sechs Wiederholungen mittels Pflugbearbeitung durchführen.

Wertvoll zum Vergleich wäre auch eine eingehende Schilderung der umfangreichen kombinierten Moledrainage im Alluvionsboden der Aare in der Gemeinde Rüti bei Büren an der Aare, die das Meliorationsamt des Kantons Bern vor einigen Jahren mit dem kräftigen englischen Miles-Pflug ausführte.

6. Schlußbetrachtungen

Unsere sechsjährigen Beobachtungen haben ergeben, daß die Wirkung der Moledrainage derjenigen der Normaldrainage vollkommen ebenbürtig ist. Die Lebensdauer der beiden Anlagen kann erst in den kommenden Jahren abschließend beurteilt werden.

Eine Aussage der Grundbesitzer darf festgehalten werden, wonach die Bodenbearbeitung der erstern auch nach intensiven Regenperioden rasch wieder einsetzen kann.

Für die Entwässerung bindiger und schwerer Böden bildet die kombinierte Moledrainage das zweckmäßigste Verfahren, weil durch den Pflug oder den Untergrundslockerer verdichtete Bodenhorizonte und Pflugsohlen aufgebrochen und die frühere Primitivstruktur in gut geformte Krümel, umgeben von großen Hohlräumen, umgewandelt wird. Die Kosten für die eigentlichen Drainagearbeiten einer solchen Anlage sind auch, wie wir erfahren haben, um 50 und mehr Prozent billiger als diejenigen der Normaldrainage, unter der Voraussetzung natürlich, daß die Abstände der Nebensammler der Maulwurfdrainage zu 50 bis 60 m gewählt werden.

Bei Anwendung der normalen Röhrendrainage, wo 12 bis 14 m Drainerntfernung vielfach die Regel bilden, werden ungenügende Entwässerungswirkungen gewöhnlich auf zu große Drainabstände zurückgeführt. Um das Übel zu beheben, greift man dann zu der nächstliegenden Maßnahme, indem Zwischendrains in der Mitte zweier Sauger eingelegt werden, wodurch dem Grundbesitzer Mehrkosten erwachsen, die als unwirtschaftlich zu bezeichnen sind. Trotz diesen Zwischendrains und den minimalen Abständen zeigen sich auch hier nach wenigen Jahren Bewirtschaftung wieder oberflächliche Tümpelbildungen, die durch eine wenig tief liegende verdichtende Schicht verursacht werden. Nachdem sich also ein Aufbrechen dieser Verdichtungshorizonte in gewissen Zeitabständen, trotz sehr engmaschigem Drainnetz, als notwendig erweist, ist es bestimmt auch finanziell vorteilhafter, sich der kombinierten Maulwurfdrainage zu bedienen. In bezug auf dieses Verfahren gegenüber der normalen Tonröhrendrängung in bindigen und schweren Böden sei an einen Ausspruch von Prof. Dr. Zunker selig, einer Autorität im Entwässerungswesen, erinnert, *wonach die Maulwurfdrängung mit weit gespannten Tonrohrsammlern und mit Erddrängen als seitliche Zubringer in Abständen von 2 bis 4 m wirksamer und wirtschaftlicher ist.*

In neuerer Zeit wird die Moledrainage auch häufig zur Verbesserung beziehungsweise Verlängerung der Entwässerungswirkung früherer Normaldrainagen verwendet, indem senkrecht oder leicht schief zu den bestehenden Saugern die Erddrains gezogen werden, wo deren Wasserabfluß im Kreuzungspunkt des Füllmaterials der alten Tonrohrgräben versichert. Da unsere Drainagen am Hang sozusagen ausnahmslos als Querdrainagen ausgebildet werden, kämen also die Schwertgänge in die Falllinie oder etwas schräg dazu zu liegen.

Das deutsche Merkblatt 83 erwähnt, daß der Abfluß aus kombinierten Maulwurfdrängungen das Zwei- bis Dreifache von Röhrendrängungen betragen könne und daß bei der Berechnung der Rohrweiten von entsprechend größeren Abflußspenden auszugehen sei. Bei unseren Messungen in Therwil war das umgekehrt, da die dortige Röhrendrainage noch mit Fremdwasser belastet war. Bezügliche Beobachtungen wären auf einem Gebiet mit Eigenwasser allein zu wiederholen. Gleichzeitig sollten auch Untersuchungen angestellt werden, ob und wie die Wasserspende bei Erddrains in der Fallrichtung gegenüber derjenigen quer dazu ändert. Vermutlich wird bei einem Quergang mehr Wasser versickern. Der spezifische Abfluß wird auch ändern je nach der Quelfähigkeit des Bodens und je nach dem Alter der Anlage.