

Aus dem Tropen-Institut der Justus Liebig-Universität Gießen
Abteilung Bodenkunde und Bodenerhaltung
Leiter: Professor Dr. L. Jung

Böden des ägyptischen Niltals und ihre Charakterisierung durch das Rißbild

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Fahmy Mohammed Habib Hassan
aus
Al Ehraz, Kaliobia / VAR (Ägypten)

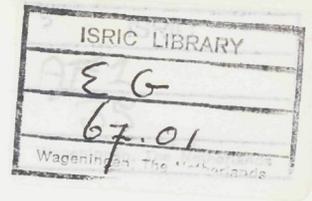
Gießen 1967

ISRIC LIBRARY

EG - 1967.01

Wageningen
The Netherlands

Scanned from original by ISRIC – World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.



Aus dem Tropen-Institut der Justus Liebig-Universität Gießen
Abteilung Bodenkunde und Bodenerhaltung
Leiter: Professor Dr. L. Jung

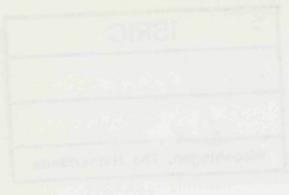
Böden des ägyptischen Niltals und ihre Charakterisierung durch das Rißbild

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Fahmy Mohammed Habib Hassan
aus
Al Ehraz, Kaliobia/VAR (Ägypten)

Gießen 1967

LSN 1943



Fachbereich Landwirtschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen
Abteilung Bodenkunde und Bodenverbau
Leiter: Professor Dr. L. Jung

Dekan: Prof. Dr. Brune

1. Berichterstatter: Professor Dr. L. Jung
2. Berichterstatter: Professor Dr. E. Schönhals

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Februar 1967



+

Gießen 1967

1967

Böden des ägyptischen Niltals und ihre
Charakterisierung durch das Rissbild

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Böden des ägyptischen Niltals	6
2.1 Niederschlag, Temperatur und Grundwasser in den Untersuchungsgebieten	6
2.2 Das Nilalluvium	10
2.21 Der Nilschlamm	10
2.22 Die tonmineralogische Zusammensetzung von Niltalböden	11
2.23 Die Salzföhrung und Salzanreicherung in den Niltalböden	15
2.3 Die untersuchten Böden	23
2.31 Untersuchungsmethoden	23
2.32 Beschreibung der untersuchten Boden- entnahmestellen (Profile)	23
2.33 Untersuchungsergebnisse	37
2.4 Das Rißbild	56
2.41 Der Vorgang der Rißbildung	56
2.42 Kohäsion und Adhäsion	57
2.43 Quellung und Schrumpfung	58
2.5 Untersuchungen an Rißbildern der Niltalböden	61
2.51 Methodik	61
2.52 Versuchsausstellung	63
2.6 Auswertung der Rißbilder	65
2.61 Beschreibung der Rißbilder	65
2.62 Quantitative Betrachtung der Rißbilder	84
2.7 Diskussion	111
2.71 Diskussion der Ergebnisse der Ver- suchsreihen	111
2.72 Vergleich mit Rißbildern der ent- nommenen Bodenproben	115

	Seite
3. Schluß	129
4. Zusammenfassung	132
5. Schrifttumsverzeichnis	135

1. Einleitung

In vorliegender Arbeit soll versucht werden, die Auswirkung von reinen Salzen auf die Rißbildung von Tonen zu zeigen und diese Rißformen mit Rißbildern der in ihrer Salzzusammensetzung unveränderten ägyptischen Salzkalkaliböden zu vergleichen.

Um Abweichungen erklären zu können, war es notwendig, einen Einblick in einige chemische und physikalische Eigenschaften der Niltalböden zu gewinnen.

Besondere Beachtung wurde den Unterschieden zwischen Rohböden und benachbarten meliorierten Kulturböden geschenkt.

Es soll ferner versucht werden, aus der Art der Rißbildung eines Bodens die Grenzkonzentrationen für bestimmte Rißbildungen zu erkennen.

Die Untersuchungen lehnen sich in der Methodik an die Arbeiten von WOLKEWITZ (67) an.

Als Versuchsböden dienten Salzböden aus dem Niltal (V.A.R.). Es wurde daher zunächst auf die Entstehung dieser Böden, ihre tonmineralogische Zusammensetzung und auf die Versalzungsvorgänge eingegangen.

2. Böden des Niltals

2.1 Niederschlag, Temperatur und Grundwasserverhältnisse

Der Niederschlag spielt in Ägypten keine bedeutende Rolle. Lediglich in einem schmalen Streifen entlang des Mittelmeeres, vor allem im westlichen Teil Alexandriens fällt eine jährliche Regenmenge von 100 - 150 mm im Jahr. Die Niederschlagsmenge nimmt von Norden nach Süden relativ schnell ab. Wie die Klimadiagramme (Darst. 1 u. 2) zeigen, sind die Niederschläge südlich Kairos nur noch sehr spärlich. Die Regenverteilung ist ungünstig und beschränkt sich auf das Winterhalbjahr.

Südlich von Kairo kann das Klima als absolut arid bezeichnet werden, während man im nördlichen Teil noch gerade von einem semiariden mediterranen Klima sprechen kann.

Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen schwanken zwischen 19 und 22°C. Sie nehmen nach Süden hin zu.

Folgende Klimadaten sind für die Entnahmeorte der Bodenproben anzugeben (nach WALTER und LIETH 66).

Station	Jahresniederschlag Ø mm	Jahrestemperatur Ø °C
Sakha (nächste Station bei Schalma)	88	19,0
Tanta (Gemysa)	49	19,8
Zagazig (Talelkeber)	28	19,9
Kairo (Bahtim)	26	20,8
Naghammadi	0	21,9

Da Schalma etwa 30 km nördlich von Sakha liegt, sind etwas höhere Niederschlagswerte zu erwarten.

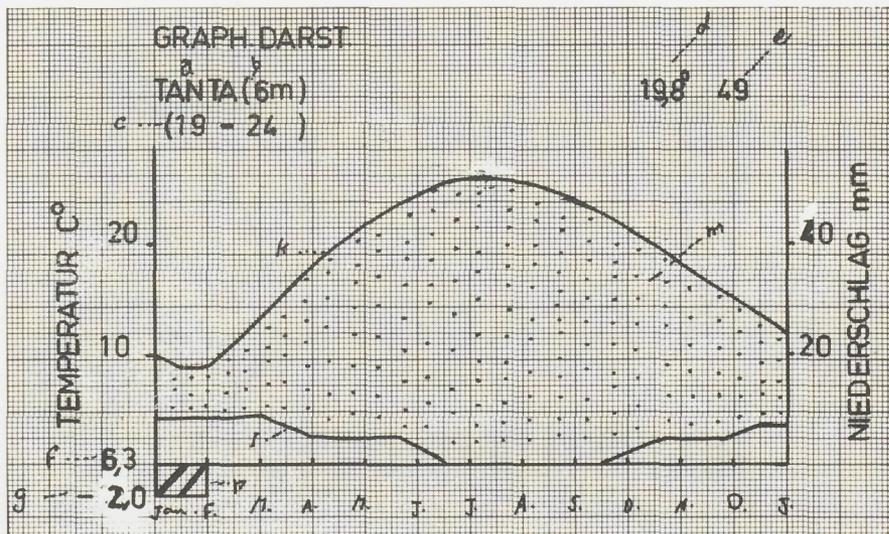
K L I M A D L A G R A M M

nach H. Walter und H. Lieth (66)

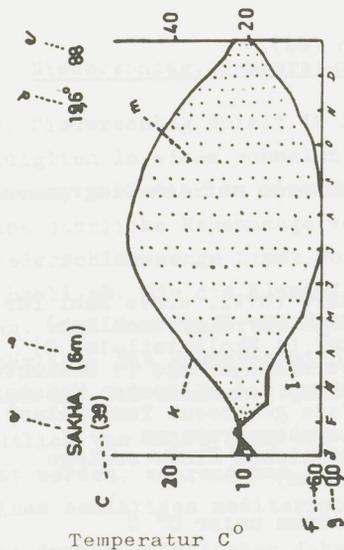
Erläuterung der Symbole

Die Bezeichnungen und Zahlenwerte auf den Diagrammen bedeuten:

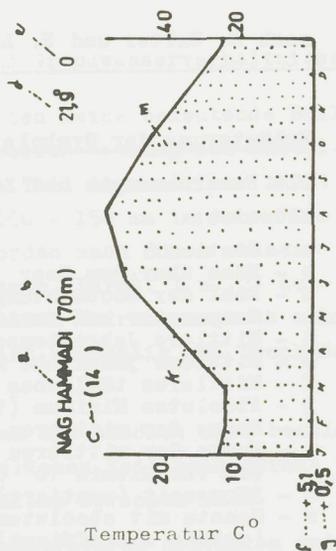
- a - Station
- b - Höhe über dem Meer
- c - Zahl der Beobachtungsjahre (evtl. erste Zahl für Temperatur und zweite Zahl für Niederschläge)
- d - Mittlere Jahrestemperatur (1 Skalenteil=10° C)
- e - Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (1 Skalenteil.=20 mm)
- f - Mittleres tägliches Minimum des kältesten Monats
- g - Absolutes Minimum (Tiefste gemessene Temperatur)
- k - Kurve der mittleren Monatstemperaturen
- l - Kurve der mittleren monatlichen Niederschläge (im Verhältnis 10° C = 20 mm)
- m - Dürrezeit (punctiert)
- r - Monate mit absolutem Minimum unter 0° C (schräg schraffiert)



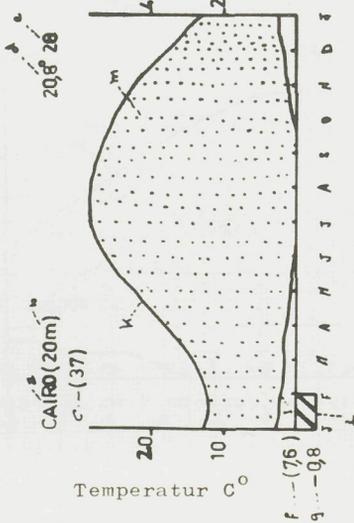
Niederschlag mm



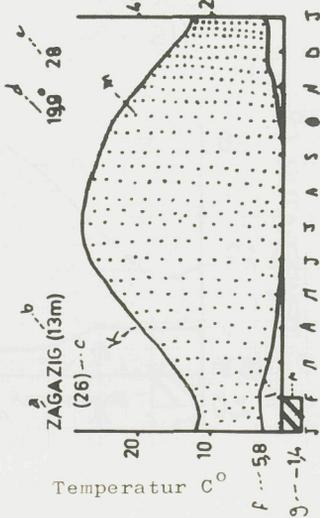
Niederschlag mm



Niederschlag mm



Niederschlag mm



Darst. 2

Die Grundwasserverhältnisse

Der Grundwasserstand wird in Ägypten durch 2 Faktoren beeinflusst:

1. Höhe der Böden über N.N.
2. Änderung des Nilwasserstandes während des Jahres.

Auf Grund seiner sehr niedrigen Lage ist im Delta ein höherer Grundwasserstand festzustellen als in Oberägypten. Infolgedessen treten im Delta leicht Versalzungen infolge kapillaren Aufstiegs auf.

Während der Flut steigt sowohl der Nilwasser- als auch der Grundwasserstand an.

Einige Zeit nach dem Absinken des Nilwassers sinkt auch das Grundwasser im Tal. Nach den Untersuchungen der Bodenphysikalischen Abteilung der Universität Kairo verändert sich der Grundwasserstand nach Z. ABEDIN (71) folgendermaßen:

	während der Flut	bei Sinken des Nils
Naghammadi	6,0 m	9,0 m
Kairo (Bahtim)	2,5 m	5,0 m
Tanta (Gemysa)	1,5 m	2,5 m
Schalma	1,5 m	2,0 m

Die Abbildung nach Z. ABEDIN (71) zeigt im Längsschnitt den Grundwasserspiegel des Niltals im Vergleich zum Meeresspiegel. Assuan liegt etwa 100 m über N.N. Die Entfernung Assuan - Mittelmeerküste (Nilmündung) beträgt etwa 1000 km, so daß sich ein Gefälle von 1/100 % ergibt. Ein Querschnitt durch das Niltal zeigt bei Flut ein Abfallen des Grundwasserspiegels vom Fluß zum Talrand, beim Sinken des Flußes macht das Grundwasser am Talrand diese Bewegung nicht so schnell mit wie in Flußnähe, daher steigt der Grundwasserspiegel nunmehr nach den Talrändern an. Er wird in gleicher Weise von den Hauptkanälen beeinflusst. Hiermit hängt auch die Versalzung in Wadi Tumailat zusam-

men. Die Hauptkanäle sind stets mit Wasser gefüllt und verhindern daher in ihrer Nähe ein Absinken des Grundwasserspiegels (BALLS u. ZAGLOUL 9).

2.2 Das Nilalluvium

2.21 Der Nilschlamm

Die alluvialen Böden Ägyptens sind vorwiegend aus Verwitterungsmaterial der eruptiven Gesteine des äthiopischen Hochlandes entstanden.

Der Nil brachte während seiner Flut in jedem Jahr den Schlamm aus diesen Gebieten. Die heutige Form des Niltals und des Deltas ist durch diese Ablagerung während der Hochwasserführung entstanden.

Die gesamte Tiefe von im ganzen Niltal verteilten Querprofilen erreichte etwa 10 - 12 Meter. Wenn man die Berechnungen von BALL (8) zugrunde legt, nach denen 0,9 mm Nilschlamm jährlich auf die Bodenoberfläche sinken, sind die Alluvialböden des Niltals und des Deltas in den letzten 10 000 Jahren entstanden.

Bei dem heutigen Bewässerungssystem beträgt die Schlammschichtauflagerung der Beckenböden in Oberägypten jährlich 1,03 mm und im normal bewässerten Land 0,31 mm, im normal bewässerten Deltagebiet nur 0,06 mm im Jahr.

Die Mengen des suspendierten Materials sind während des Jahres und von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich.

In der folgenden Tabelle 1 zeigen HAMDI und NAGA (33) die Mengen der suspendierten und der in Lösung befindlichen Stoffe während des Jahres.

Tabelle 1

Stoffführung des Nilwassers

Jahreszeit	in Lösung in Tonnen	in Suspension in Tonnen
insgesamt	10.700.000	56.890.000
Menge in 4 Monaten der Flutzeit	7.230.000	55.200.000
Menge in den übrigen Monaten	3.470.000	1.690.000
Tagesmenge während der Flutzeit	59.000	452.000
Tagesmenge in den übrigen Monaten	14.300	6.500

Eine schlämmanalytische Charakterisierung durch MOSSERI (zit. 35) ergab folgende Durchschnittswerte: Grobsand 0,2%, Feinsand 12,7 %, Schluff 25,3 % und Ton 61,8 %.

An mineralischen Bestandteilen wurden im Nilschlamm folgende Minerale nachgewiesen: Quarz, Feldspäte, Hornblende, Glimmer, Apatit, Magnetit, Ilmenit neben weiteren aus eruptiven oder metamorphen Gesteinen stammenden Mineralien (HAMDI und NAGA, 35).

Die von HAMDI und FATHI (32) durchgeführte Bauschanalyse des suspendierten Materials (Nilflut 1954) zeigte folgende Werte in % (Tabelle 2).

HAMDI und FATHI (32) führten Tonuntersuchungen durch und klassifizierten den suspendierten Ton im Nilwasser als Illit (Röntgenaufnahmen, elektronenmikroskopische Aufnahmen, Differential-Thermo-Analyse und Umtauschkapazitäts-Bestimmung).

2.22 Die tonmineralogische Zusammensetzung der Niltalböden

Von 100.000.000 ha Gesamtfläche Ägyptens sind nur 2.610.000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (ATANASIU, 4). Davon sind 2.437.000 ha (5.800.000 Feddan) Nilalluvium (HAMDI, 25). Die Ergebnisse der Bauschanalysen der alluvialen Tone des Nilalluviums von HAMDI und BARADA (29) sind in Tabelle 3 aufgezeigt.

Tabelle 2

Bauschanalyse des im Nilwasser suspendierten Materials

SiO ₂	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	org. C	org. N	C: N	CO ₃
44,94	14,81	13,99	3,98	1,60	1,77	1,38	8,37	8,57	3,21	1,14	0,09	14,5	0,99

Tabelle 3

Bauschanalyse der alluvialen Tone des Nilalluviums

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %	H ₂ O ⁺ %	H ₂ O ⁻ %
43,22	17,45	14,0	0,65	1,49	1,46	1,02	9,25	11,84

Mit Hilfe von Röntgenaufnahmen und D.T.A.-Kurven fanden HAMDI und EPPRECHT (30) in der Tonfraktion einer Probe des Nilalluviums Illit, geringe Mengen Quarz und amorphe, Fe-haltige Gele.

In einer Untersuchung von HAMDI und NAGA (34) zeigten auch Elektronenmikroskop-Aufnahmen, daß der Ton des Nilalluviums zu den glimmerähnlichen Mineralien vom Illit-Typ gehört (Hydroglimmer). Eine andere Untersuchung von HAMDI (28) mit dem Elektronenmikroskop ergab das gleiche Resultat.

HAMDI und EPPRECHT (31) stellten fest, daß das im frischen Nilschlamm vorhandene Tonmineral Illit in den tieferen Schichten mehr und mehr in Montmorillonit übergeht.

Diese Umwandlung beruht offenbar auf dem Einfluß des Bewässerungswassers, da im Laboratoriumversuch eine Behandlung von frischem Nilschlamm mit CO_2 -haltigem Wasser dieselbe Wirkung hatte.

Die Röntgenaufnahmen zeigen ferner, daß mit zunehmender Verwitterung (Schichttiefe, resp. Behandlung mit CO_2 -Wasser) auch Chlorit (ev. Vermikulit) gebildet wird. Offenbar kommt entsprechend der Hydroanalyse von Illit auch die Bildung von Böhmit zustande. In der von HAMDI (26) durchgeführten Arbeit wurde folgendes festgestellt.

Mit Hilfe der drei Untersuchungsmethoden Röntgenanalyse, Differentialthermoanalyse und Elektronenmikroskopie zeigt sich eine Veränderung der Illittone in den Bodenschichten des Nils, die mit Wasser überstaut sind in der Natur ebenso, wie eine starke Auslaugung mit CO_2 -haltigem Wasser im Labor. Es entstehen dabei Böhmit und ein Tonmineral mit einem dehnbaren Gitter vom Montmorillonittyp. Es ergibt sich, daß 1000-jährige natürliche Überstauung von Illiten in gleicher Weise wie eine achtmonatige Auslaugung im CO_2 -haltigen Wasser die Bindekräfte auflockert, welche die 10-Å-Schichten zusammenhalten. Dabei werden K-Ionen herausgelöst. In die Schichtpaketzwischenräume

treten Wassermoleküle ein, wodurch die Gittererweiterung erfolgt. Aluminium wird hierbei durch Hydrolyse herausgelöst und wird gleichzeitig als Aluminiumhydroxyd gefällt. Es kann zu Böhmit kristallisieren.

Allgemein kann gesagt werden, daß der Anfang der Verwitterungsfolge im Umbau der Minerale der Eruptivgesteine des äthiopischen Plateaus in der Bildung von Illittonen besteht. Die Erosion wäscht den Boden in den Nil, welcher das suspendierte Material über Hunderte von Meilen in das Niltal transportiert. Die Tone sedimentieren im stagnierenden Wasser und wandeln sich im Laufe von Tausenden von Jahren durch Überstauung langsam in montmorillonitartigen Ton um.

Die verschiedenen Untersuchungsmethoden haben die Veränderung des Illit-Tonminerals in ein gequollenes Gitter vom Montmorillonittyp durch die Entfernung von K-Ionen ergeben.

In einer anderen Arbeit von HAMDI (27) über die Mineralogie der ägyptischen Böden wurde folgendes gefunden. An der Oberfläche findet sich hauptsächlich Illitton, welcher sich in einer Tiefe von etwa 12 Meter zum Teil in Montmorillonit umwandelt. Der Illitton an der Oberfläche wurde mit CO₂-haltigem Wasser zwei Jahre lang behandelt. Es konnte nach dieser Zeit eine teilweise Umwandlung des Illittones in Montmorillonit nachgewiesen werden.

In einer Untersuchung von ELGABALY und KHADR (17) wurde festgestellt, daß das Nilalluvium als Haupttonmineral Montmorillonit enthält.

KHADR (42) hebt in einer anderen Arbeit den Illit als hervortretendes Tonmineral des Nilalluviums neben Montmorillonit und Kaolinit hervor. Er sagt weiter, daß diese Tonminerale Verwitterungsprodukte der Gesteine sind und bereits mit dem Nil transportiert wurden; d. h., daß diese Tonminerale nicht im ägyptischen Nilalluvium entstanden sind.

In einer Untersuchung von HASHAD und MADY (36) wurde ebenfalls in erster Linie Illit auf Grund von Untersuchungen mit der D.T.A. gefunden. Aus der Kurve wird ferner auf Anwesenheit von Montmorillonit in tieferen Schichten geschlossen.

2.23 Die Salzführung und Salzanreicherung in den Nil- talböden

Nach Untersuchungen von BALL (8) hat das Nilwasser eine gute Qualität mit geringem Gehalt an freien löslichen Salzen, und es enthält genügend Mengen von Calcium und Magnesium im Verhältnis zu Natrium.

Dagegen kommt EATON (15) bei seinen Untersuchungen zu folgendem Ergebnis:

Das Nilwasser enthält genügend Mengen Bikarbonat um alles Calcium und Magnesium bei stärkerer Verdunstung zu fällen. Die übrigen löslichen Salze können 100 % Natrium sein. Etwa die Hälfte davon kann während der Flutmonate an Karbonat oder Bikarbonat gebunden sein, in den übrigen Monaten ungefähr 75 %.

EATON nennt das "das bleibende Na_2CO_3 " und bezeichnet das Nilwasser als wichtigen Alkalisierungsfaktor.

Die von EATON nochmals berechneten Ergebnisse BALLs (8) sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt in mval/l.

Tabelle 4

Kationen und Anionen in mval/l im Nil bei Hoch- u. Niedrigwasser

Zeit	Jahre	Kationen		Anionen			bleibende	
		Ca	Mg	Na	HCO_3	SO_4	Cl	Na_2CO_3
In den Flutmonaten	1906-1936	0,64	0,57	0,50	1,44	0,16	0,14	0,23
In den übrigen 8 Monaten	1906-1936	0,87	0,72	2,04	3,03	0,23	0,46	1,44

SCHOONOVER, ELGABALY und HASSAN (62) berichten über die zwei Bewässerungssysteme in Ägypten und ihren Einfluß auf die Versalzung und Alkalisierung. Sie sehen im Beckenbewässerungssystem die beste und idealste Art der Bewässerung. Das Wasser bleibt während der Flutzeit jedes Jahr lange über der Bodenoberfläche stehen. Die Qualität des Wassers ist gut. Wenn nur einmal überstaut wird und dann während der Trockenperiode laufend mit Wasser durchgewaschen wird, welches 32 % Na enthält, können die 0,23 mval/l im Flutwasser bleibenden Na_2CO_3 - Anteile kaum eine hohe Alkalisierung verursachen.

In normalen Bewässerungssystemen werden die Böden während der Flut nicht so stark bewässert, da in diese Periode die Haupterntezeit fällt. Wird die Bewässerung mehrmals wiederholt, kommt es zur Anreicherung von Na_2CO_3 , da das Bewässerungswasser in den übrigen Monaten des Jahres 55 % Na und bis 1,44 mval/l bleibendes Na_2CO_3 enthält.

SCHOONOVER, ELGABALY und HASSAN (62) rechnen mit 6.000 - 6.500 m³ Wasser pro Feddan (ein Feddan = 4.200 $\frac{5}{6}$ m²). Diese Wassermenge gewährleistet in schweren Böden bei heißem trockenem Klima keinen effektiven Wascheffekt. Infolgedessen sind Versalzung und Alkalisierung sehr häufig. Daraus folgt, daß die Ernte in Gebieten mit mehrmaliger Bewässerung geringer wird, seitdem gestautes Wasser zur Bewässerung benutzt wurde. Die größten Flächen Ägyptens mit Salz- und Alkaliböden liegen im Nord-Delta, wo das Land unter Meerwassereinfluß stand.

GRACIE (23) teilt die ägyptischen unfruchtbaren Alkaliböden in zwei Formen ein:

Schwarzalkaliböden sind hoch dispergiert mit viel austauschbarem Natrium und Calcium in Form von Karbonaten, Magnesium in Form von Silicaten. Die löslichen Salze sind gering mit Ausnahme von CO_3 und HCO_3 .

Böden mit Gipschicht. Diese Böden sehen dispergiert aus, sind oben oft undurchlässig über einer gipshaltigen Schicht mit guter Struktur. Man konnte nachweisen, daß die disper-

gierte undurchlässige Schicht eine hohe Magnesiumsilikatmenge enthält.

Nach KADDAH (39) enthält das Nilwasser während der Flut 135 p.p.m. lösliche Salze und 300 p.p.m. in der übrigen Jahreszeit. Das Bewässerungswasser in Ägypten enthält in vielen Fällen so viel Bikarbonate, daß das Verhältnis $\text{Na} : (\text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$ viel größer als das Verhältnis $\text{Na} : \text{Ca} + \text{Mg}$ ist.

Nach KELLEY, BROWN und LIEBIG (41) soll dieses Verhältnis den Wert 1 : 1 nicht überschreiten, um zu verhindern, daß das Natrium Ca und Mg austauscht.

In einer Untersuchung von BALBA (7) wurde mit verschiedenen Konzentrationen des Natriums und des Karbonats bewässert. Das Ergebnis war folgendes:

1. Die löslichen Na-, Ca- und Mg-Anteile nahmen nach der Bewässerung mit salzhaltigem Wasser ohne Karbonat alle zu.
2. Die löslichen Ca- und Mg-Anteile haben nach der Bewässerung mit karbonathaltigem Wasser abgenommen.
3. Das austauschbare Na nimmt nach der Bewässerung mit Na-haltigem und mit karbonathaltigem Wasser zu.

Das Nilwasser wurde im Jahre 1957 - 1958 auf lösliche Salze von ABD EL BAR (1) untersucht. Folgende Ergebnisse wurden gefunden in p.p.m.:

Tabelle 5

Lösliche Salze im Nilwasser 1957/58 in p.p.m.

Gesamt Lösl. Salze	Cl	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K
152 - 181	7,5-15,4	13-14,5	55-66	22-25,3	8-9	15-22	4

Die wichtigsten Salzquellen der ägyptischen Salzböden sind nach ABD EL BAR (1):

1. Mittelmeer- und Seesalze der tiefliegenden Gebiete an der Küste im Norden.

2. Das Wasser der Hauptabflußkanäle, das die tief liegenden Böden beeinflusst, wie bei Talelkebir.
3. Der vom Meer her wehende Wind, z. B. im Sarw-Gebiet.
4. Höher liegende Salzböden, die tiefer liegende beeinflussen.
5. Starke Winde, die Salzteilchen auf fruchtbare Böden wehen (besonders im nördlichen Deltabereich).

Die Versalzung der Böden in Unterägypten wird durch den Kanalbau ohne Drainagesystem und durch das trockene Klima verursacht. Dadurch steigt der Grundwasserspiegel bis nahe an die Bodenoberfläche.

FINCK (20) meint, daß das Wasser des Blauen Nils qualitativ besser als das des Weißen Nils ist. Er schreibt: "Während jedoch der aus dem Hochlande Äthiopiens stammende Blaue Nil nicht nur wenig Salz mit sich führt, sondern auch einen geringen Na-Anteil aufweist, enthält der Weiße Nil wegen seiner Herkunft aus tropischen Verwitterungsgebieten relativ viel Natrium." Salzschäden sind demnach im Kulturland am weißen Nil eher zu erwarten als am Blauen Nil. Für die Bewässerungskulturen Ägyptens ist es von grossem Vorteil, daß die alljährliche fruchtbarkeitsbringende Überschwemmung im wesentlichen mit dem Wasser vom Blauen Nil stattfindet.

Nach ABD EL BAR (1) bekommt der Nil von dem aus dem Hochlande Äthiopiens stammenden Blauen Nil und dem Atbarafluß in der Flutzeit 86 % seines Wassers, aber in der übrigen Jahreszeit nur 18 %. Dagegen liefert der Weiße Nil in der Flutzeit nur 14 %, aber 82 % in den übrigen Monaten.

Das ist von großer Bedeutung wenn man bedenkt, daß nach dem Hochstaudammbau im Laufe des Jahres nur gemischtes Wasser von beiden Quellen geliefert wird. Es ist bekannt, daß mit dem Bewässerungswasser jährlich beachtliche Salzmengen zugeführt werden.

RICHARDS (58) hat die Ansicht vertreten, daß mit der Zeit die Salze der Bewässerungskulturen sich in der Wurzelzone anreichern werden bis die Pflanzen nicht mehr wachsen können. Nur in durchlässigen Böden mit starker Auswaschung der Salze kann das nicht passieren.

JANITZKY (38) hat bemerkt, daß mit der Intensivierung der Bewässerungsmethoden, mit dem Bau von Staudämmen sowie modernen Schöpf- und Zuleitungssystemen infolge schnelleren Grundwasseranstiegs und mangelnder Entwässerung zuerst einzelne Flecken, dann ganze Felder wegen Versalzung der Krume ausfallen.

Nach EGOROV (16) sind bis 1930 aus einer Million ha Jahrtausende fruchtbarer Böden durch plan- und hemmungslose Bewässerung unter den ariden Klimaverhältnissen Ägyptens Salzböden geworden.

KELLY (40) ist mit vielen anderen Autoren der Meinung, daß im Niltal das Salzproblem erst akut wurde, als man das alte Beckenbewässerungssystem der jährlichen einmaligen Überstauung durch ganzjährige Bewässerung mittels Dammbauten an verschiedenen Stellen des Flusses ersetzte. Über die Versalzungsprobleme im Nildelta berichtet ferner KOVDA (44). Früher hat das Beckenbewässerungssystem die Salze aus den Böden ausgewaschen. Mit der Anwendung des Dauerbewässerungssystems im zwanzigsten Jahrhundert trat das Versalzungsproblem auf. Die natürliche Entwässerung ist sehr gering. Die Grundwasserbewegung in Richtung Mittelmeer ist sehr langsam und manchmal hört sie ganz auf. Der Grundwasserspiegel liegt sehr hoch (0,5 - 2 m). Durch die Flut- und Ebbebewegungen des Mittelmeeres ergibt sich eine Versalzung der Seen und des Grundwassers.

Der hydrostatische Druck der Nilarme und der Kanäle verursacht die Erhöhung des Grundwasserspiegels bis nahe an die Oberfläche. Durch Verdunstung des salzhaltigen Grundwassers kommt es zur Anreicherung von Salzen im Oberboden und an der Oberfläche.

Nach GANSSEN (22) trat in Ägypten keine Versalzung der bewässerten Böden auf, trotz des mehrere 1000 Jahre alten Beckenbewässerungssystems. Der Nil sedimentierte mit jeder Überschwemmung neues fast salzfreies, zur raschen Bodenbildung neigendes Feinmaterial auf die Bewässerungsfläche.

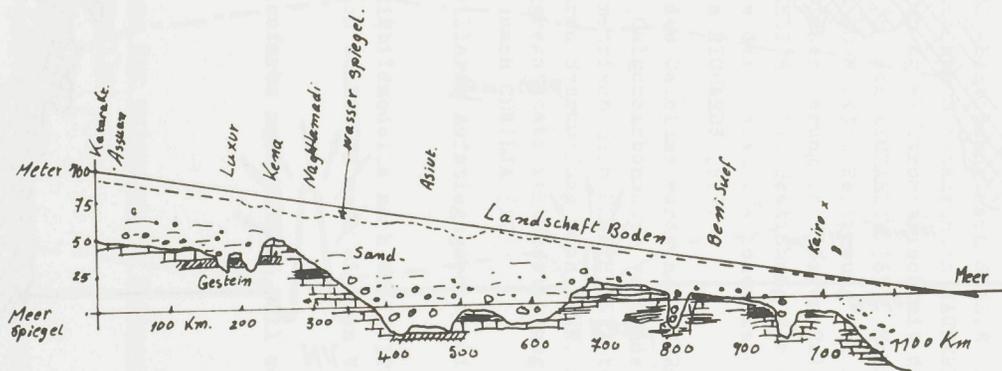
Ferner überströmte und durchspülte das Wasser die Böden und nahm etwas ausgeschiedenes Salz oder natronhaltig gewordene Bodenfeinteile wieder mit sich fort.

Da der Bevölkerungszuwachs sehr stark ist, ist man bemüht, neues Kulturland zu gewinnen. Daher muß das Nilwasser gestaut werden. Alte Beckenbewässerungssysteme sind somit nicht mehr wirtschaftlich. Umsomehr muß man bei Bewässerung für eine gute Entwässerung sorgen, damit der Grundwasserspiegel nicht ansteigt und gelöste Salze abgeführt werden.

Die Darstellungen 3 und 4 zeigen einen Längsschnitt und einen Querschnitt des Niltals (ZEIN EL ABEDIN, 71).

Darst. 3

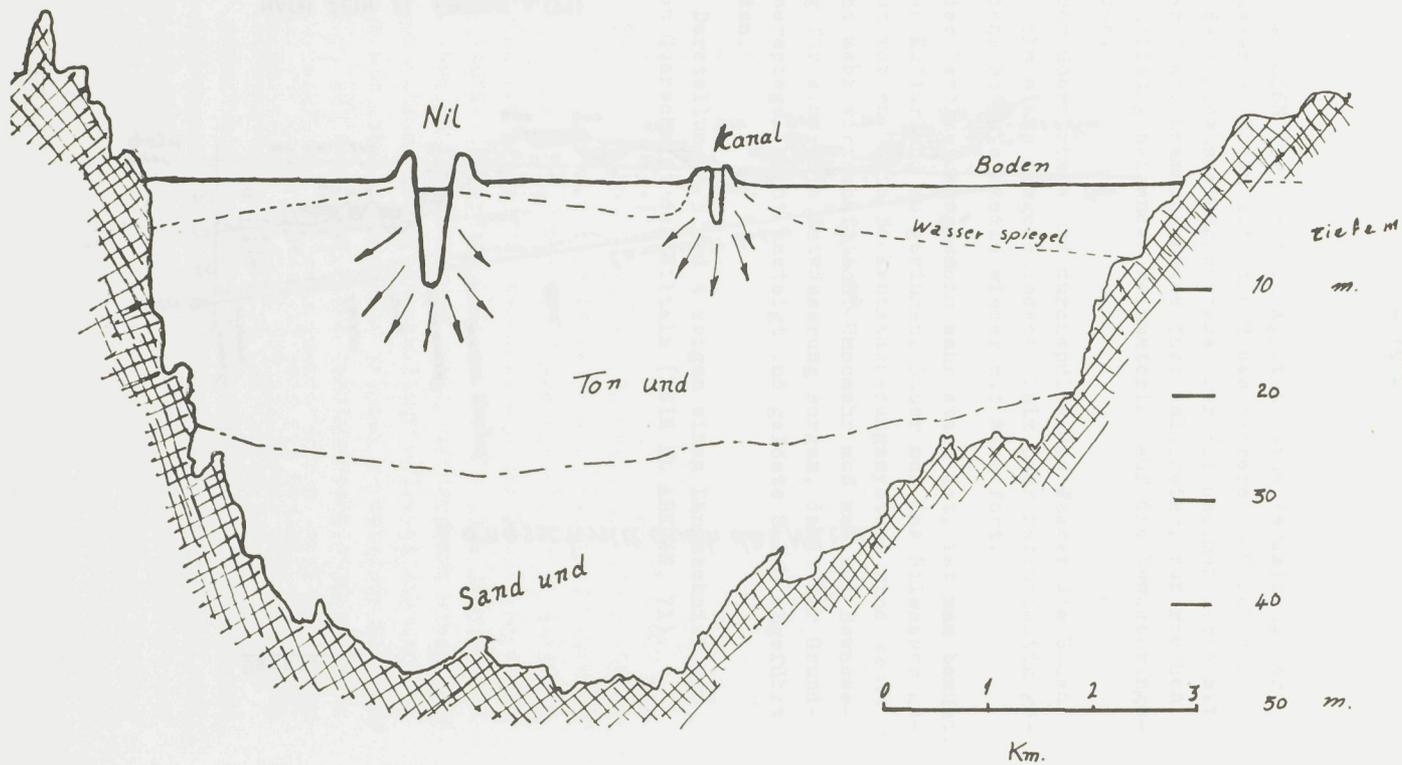
Längsschnitt durch das Niltal.



NACH ZEIN EL ABEDINE, A. (71)

Darst. 4

Querschnitt durch das Niltal



NACH ZEIN EL ABEDINE A. (71)

2.3 Die untersuchten Böden

2.31 Untersuchungsmethoden

Zur chemischen und physikalischen Kennzeichnung der Böden wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:
Gasvolumetrische CO₂-Bestimmung nach SCHEIBLER (60). Bestimmung der organischen Substanz nach RAUTERBERG, KREMKUS (56). PH-Wert-Bestimmung elektrometrisch mit der Glaselektrode in H₂O 1 : 2,5 nach MICHAELIS (65). Schlämmanalyse, Pipettmethode nach KÖHN (43). Bestimmung der Bodenart nach KURON (46). Dispergierung in 5 %igem Calgon. T-Wert-Bestimmung nach MEHLICH (50). Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit sowie der freien löslichen Kat- und Anionen im Bodenauszug nach RICHARDS (57).

Für die Titration des Calciums wurde nach MERCK und SCHWARZENBACH (65) Calgoncarbonsäure verwendet. Die Sulfate wurden kolorimetrisch nach NÉMETH (53) bestimmt. Bestimmung der linearen Schrumpfung nach THUN, HERRMAN u. KNICKMANN (67). Aggregatstabilitätsbestimmung WILLIAMS-FADEJEV abgeändert nach CHWILJA (12).

Bestimmung der kapillaren Aufstiegsgeschwindigkeit nach ENSLIN (18).

Tongewinnung für Rißbildmodelle nach WOLKEWITZ (67).
Rißbildmethodik nach WOLKEWITZ nach eigenen Vorschlägen abgeändert.

Bestimmung der Bodenfarbe nach MUNSELL Soil color charts (52).

2.32 Beschreibung der untersuchten Bodenentnahmestellen (Profile)

Schalma

Die ersten fünf Bodenproben wurden aus Profilen im Norddelta etwa 25 km südlich des Burullussees und 20 km

nördlich von Kafrelscheich in Schalma entnommen. Die Fläche liegt 3 - 4 Meter über N.N. und fällt allmählich zum Burullussee ab. 4200 ha dieses Gebietes werden seit einem Jahr melioriert. Es kamen je ein Profil auf der meliorierten Fläche und eines auf Rohboden in unmittelbarer Nachbarschaft zur Untersuchung. (Darst. 5 zeigt die Lage der untersuchten Profile.)

Profil I (Bild 1)

Es handelt sich um einen steinfreien schluffigen Lehm, der seit einem Jahr melioriert wird. Infolge Salzauswaschung entspricht der Boden hier bereits einem Alkaliboden, auf dem zur Zeit alkaliresistente Gräser angebaut werden.

An der Oberfläche sind starke Rißbildungen zu beobachten (Bilder 2, 3). Auf die Form dieser Risse soll später zurückgekommen werden.

Tiefe 0 - 20 cm dunkelgraubrauner (10yR,4/2) schluffiger Ton bis toniger Schluff, kantige polyedrische Struktur mit Gipskristallen.

35 - 50 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Lehm, polyedrische Struktur.

Der Gehalt an freien löslichen Salzen ist durch die Salzauswaschung wesentlich erniedrigt.

Die T-Werte sinken mit zunehmender Tiefe. Im Gegensatz zum Rohboden überwiegen hier die Sulfate vor allem des Natriums gegenüber den anderen Salzen. Das Natriumbikarbonat erhöht den pH-Wert (8,75). Die Werte und die Mengen der löslichen Salze sind der Tabelle 7 zu entnehmen. Tabelle 6 zeigt die Werte der Schlämmanalyse des Feinbodens.

Bild 1
Profil I
bei Schalma

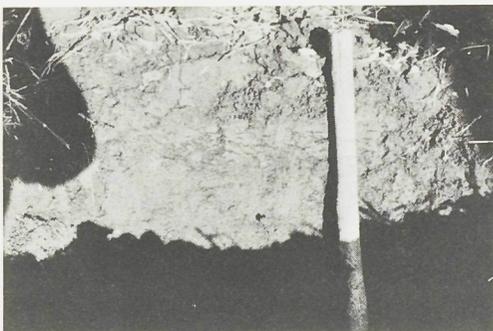
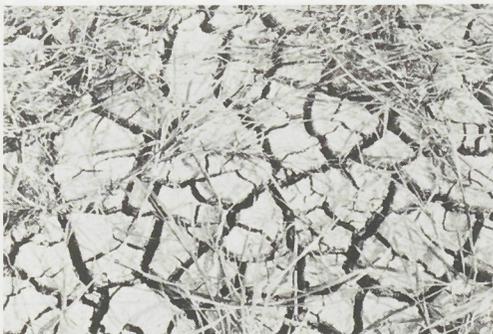


Bild 2
Rißbildung
bei Schalma
(Profil I)
neugewonne-
ner Boden



Bild 3
Rißbildung
bei Schalma
(Profil I)



Lage der untersuchten Profile.

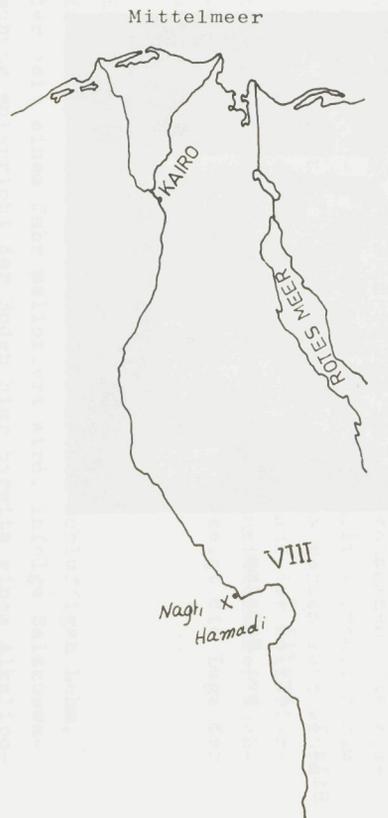
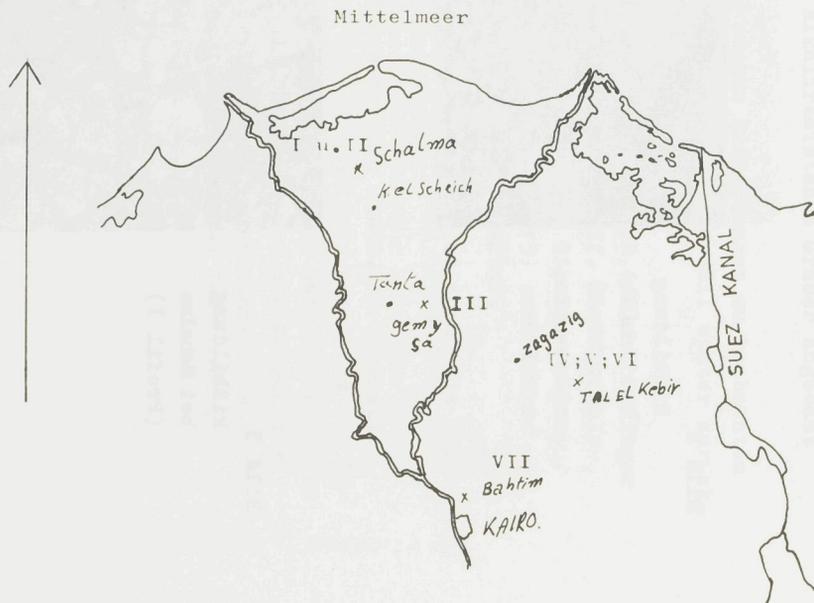


Tabelle 6

Korngrößenverteilung in % des Feinbodens (2 mm)

Profil Nr.	Nr.d.Bo- denprobe	Tiefe cm	Ton 0,002mm	Schluff 0,002 - 0,06 mm	Feinsand 0,06 - 0,2 mm	Mittel-u. Grobsand 0,2-2,0mm
1	1	0 - 20	40	39,8	20	0,2
	2	35 - 50	19,3	53,02	27,5	0,18
	3	0 - 25	15,1	59,04	25,7	0,16
2	4	40 - 50	23	54,4	22	0,6
	5	50 - 60	19	53,3	27	0,7
	6	0 - 10	25,4	66,9	7,5	0,2
3	7	20 - 35	37,5	57,55	4,5	0,45
	8	60 - 80	51	46,5	2	0,5
	9	0 - 15	28	16,7	8,7	46,6
4	10	20 - 40	36	18	5,5	40,5
	11	0 - 10	53	28,3	5,2	13,5
5	12	10 - 20	45	23,1	7,4	24,5
	13	0 - 5	54	32,1	8,5	5,4
6	14	10 - 20	71,5	14,5	11,8	2,2
	15	0 - 20	45,5	38,5	10,5	5,5
	16	25 - 60	48,8	42,9	3	5,3
7	17	60 - 90	50	42,6	2,5	4,9
	18	0 - 30	40	55,2	3,7	1,1
8	19	30 - 60	14	75,8	7,5	2,7

Profil II (Bild 4)

In dem benachbarten Rohboden erscheint die gleiche Bodenart, jedoch sinkt der Tongehalt etwas mit der Tiefe. Es findet sich hier keinerlei Vegetation mehr (Bild 5).

Tiefe 0 - 25 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Lehm, scharf kantige polyedrische Struktur mit Gipskristallen.

40 - 50 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Lehm, kantige polyedrische Struktur mit Gipskristallen.

50 - 60 cm sehr dunkelbrauner (10yR,3/2) schluffiger Lehm, polyedrische Struktur mit Gipskristallen.

Der Gehalt an freien löslichen Salzen liegt ungewöhnlich hoch (8,5 % - 9,5 %), wobei Natriumchlorid und Magnesiumchlorid im ganzen Profil überwiegen, dann folgt das Sulfat. Es handelt sich um einen Salzalkaliboden. Lange Zeit nach dem Regen bleiben die tiefliegenden Teile dieser Flächen noch feucht infolge Hygroskopizität des Magnesiumchlorids (Bild 6). Der T-Wert (28 mval/100 g.Boden) nimmt nach der Tiefe zunächst zu (32,5 mval/100 g.B.), um dann in 50 - 60 cm etwas abzunehmen (31,5 mval/100 g.B.).

Gemysa

Profil III

Diese Fläche befindet sich schon sehr lange in Kultur (Bild 7). Sie liegt nahe bei Tanta im Mitteldelta in 14 Meter über N.N. Der Boden ist infolge kapillaren Grundwasseraufstiegs vor einigen Jahren versalzt und wurde erneut durchgewaschen. Es wurde zur Zeit der Probeentnahme Klee als Vorfrucht für Baumwolle angebaut. Im Herbst waren erneut Salzkristalle an der Oberfläche zu erkennen.

Bild 4

Profil II
Rohboden bei
Schalma
(Salzboden)

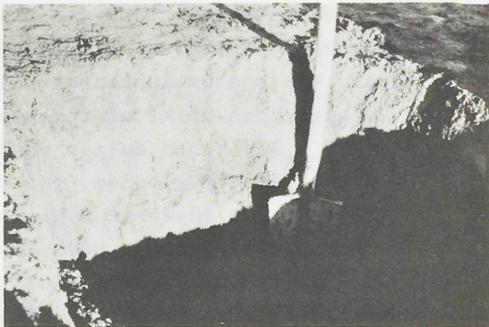


Bild 5

Rohboden bei
Schalma
(Salzboden)



Bild 6

Schalma
Naßflecken
beim Rohboden



Die Vorflutverhältnisse und die Drainage werden weiter verbessert. Ebenso wird laufend Gips zur Strukturverbesserung und zum Na-Austausch zugegeben. Die Melioration kann hier noch nicht als abgeschlossen angesehen werden. Bei 1,3 % löslichen Salzen handelt es sich im Oberboden um einen Salzalkaliboden, bei dem das Natriumchlorid überwiegt. Die pH-Werte nehmen mit der Tiefe zu und sind für Niltalverhältnisse noch als normal zu bezeichnen (7,8 - 8,7). Die T-Werte sind im Profil gleichbleibend (Tabelle 7). Der Tongehalt nimmt mit der Tiefe zu. Der tonige Schluff des Oberbodens geht in schluffigen Ton über. Bis 35 cm Tiefe herrscht Ca bei den sorbierten Kationen vor. Es folgen Mg, Na und K. In größerer Tiefe sind die Kolloide vorwiegend mit Mg abgesättigt.

Bild 7

Kulturböden
bei Gyimesa
Vorbereitung
für Baumwoll-
anbau



- Tiefe 0 - 10 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) toniger Schluff, kantige polyedrische Struktur mit Gipskristallen, gut durchwurzelt.
- 20 - 35 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Ton, kantige polyedrische Struktur.
- 60 - 80 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Ton, kantige polyedrische Struktur mit Kalkbröckel.

Tabelle 7

Ortsbezeichnung	Profil Nr.	Nr. der Bodenprobe	Tiefe in cm	Bodenart	pH	CaCO ₃ %	Humus %	Kapillarer Aufstieg (nach EWSLIN, 18)				Ton % des Feinbodens	Lineare Schrumpfung	
								bei Std.	H ₂ O Min.	bei 2 n CaCl ₂ Std.	Min.			
Schalma	I	1	0 - 20	Schluffiger Ton bis toniger Schluff	8,75	0,46	0,51	92	-	1	24	40	16,90	
"	I	2	35 - 50	Schluffiger Lehm	9,1	0,21	0,51	53	-	-	15	19,3	8,24	
"	II	3	0 - 20	Schluffiger Lehm	7,55	1,18	1,06	-	48	-	29	15,1	1,10	
"	II	4	40 - 50	Schluffiger Lehm	7,70	1,34	1,12	2	34	-	49	23	9,54	
"	II	5	50 - 60	Schluffiger Lehm	7,70	1,34	1,01	1	11	-	26	19,0	7,69	
Gemysa	III	6	0 - 10	Toniger Schluff	7,80	3,78	2,19	2	15	1	5	25,4	14,20	
"	III	7	20 - 35	Schluffiger Ton	8,50	3,11	1,08	8	24	3	25	37,5	13,89	
"	III	8	60 - 80	Schluffiger Ton	8,70	2,35	1,08	52	-	3	-	51,0	14,44	
Talelkebir	IV	9	0 - 15	Lehm	8,50	4,03	1,41	1	15	1	13	28,0	10,44	
"	IV	10	20 - 40	Lehm	9,30	4,79	0,61	201	-	8	25	36,0	13,74	
"	V	11	0 - 10	Lehmiger Ton	8,50	7,39	2,72	48	-	25	15	53	17,03	
"	V	12	10 - 20	Toniger Lehm	8,80	9,86	1,36	53	-	23	5	45	16,02	
"	VI	13	0 - 5	Schluffiger Ton	10,25	19,2	1,16	295	-	9	-	54,0	17,8	
"	VI	14	10 - 20	Ton	9,05	11,76	0,64	15 Tage ohne Bewegung	1	56	72	30	71,50	19,23
Bahtim	VII	15	0 - 20	Schluffiger Ton	7,9	3,53	1,96	1	56	3	7	45,5	15,3	
"	VII	16	25 - 60	Schluffiger Ton	8,55	2,68	1,06	22	-	6	35	48,8	15,5	
"	VII	17	60 - 90	Schluffiger Ton	8,65	1,18	0,91	47	-	6	56	50,0	14,9	
Naghamadi	VIII	18	0 - 30	Schluffiger Ton	7,90	2,52	1,61	3	15	2	39	40,0	13,19	
Lehnalluvium bei Giessen	IX	19	30 - 60	Lehmiger Schluff bis schluffiger Lehm	5,70	-	1,61	1	3	1	53	14,0	5,49	

Fortsetzung Tabelle 7

Ortsbezeichnung	Profil Nr.	Nr. der Bodenprobe	Freie Kationen und Anionen (1:5 Extr.) mval/100 g Boden							Gesamt-Kationen mval/100 g Boden				T-Wert	Austauschbare Kationen (Gesamt-freie Kationen) mval/100 g Boden				
			Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	Mg		Ca	Na	K	Mg	Ca
			Schalma	I	1	10,00	0,40	0,24	0,80	1,40	-	2,50	7,50		11,00	6,25	19,60	13,00	38,50
"	I	2	4,50	0,20	0,10	0,10	1,10	-	1,50	2,00	12,00	5,65	15,20	4,40	33,00	7,50	5,45	15,10	4,30
"	II	3	91,30	3,20	45,60	20,30	0,45	-	135,00	23,40	101,30	6,10	57,60	23,80	28,00	10,00	2,90	12,00	3,50
"	II	4	101,70	4,50	34,40	14,00	0,50	-	126,20	25,10	113,20	6,85	47,00	20,00	32,50	11,50	2,35	12,60	6,00
"	II	5	93,30	3,40	33,80	11,78	0,40	-	119,50	20,50	103,30	5,50	51,60	14,00	31,50	10,00	2,10	17,80	2,22
Gemysa	III	6	11,00	0,50	4,00	5,00	1,10	-	13,00	5,70	15,50	4,50	16,60	26,40	42,00	4,50	4,00	12,60	21,40
"	III	7	2,00	0,20	0,26	6,00	0,70	-	0,70	1,40	3,40	3,35	12,80	26,20	42,00	1,40	3,15	12,54	20,20
"	III	8	1,50	-	0,04	0,16	0,70	-	0,50	0,50	5,70	1,85	22,00	20,00	48,00	4,20	1,85	21,96	19,84
Talelkebir	IV	9	2,00	0,40	0,16	0,68	1,60	-	1,00	0,70	2,45	4,50	12,00	8,80	24,00	0,45	4,10	11,84	8,12
"	IV	10	3,00	0,20	-	0,36	1,95	-	0,70	0,50	5,00	3,85	14,00	8,80	28,00	2,00	3,65	14,00	8,44
"	V	11	2,00	0,20	0,36	0,60	1,70	-	0,70	0,50	3,30	2,30	26,00	16,80	45,00	1,30	2,10	25,64	16,20
"	V	12	2,00	0,30	0,54	0,46	1,50	-	1,20	0,50	2,70	2,50	16,80	14,00	32,50	0,70	2,20	16,26	13,54
"	VI	13	56,00	0,30	0,10	0,40	8,10	19,40	17,00	11,60	88,00	6,40	1,60	3,20	42,50	32,00	6,10	1,50	2,80
"	VI	14	6,00	0,20	1,22	0,30	3,35	-	2,00	2,20	35,70	3,85	11,20	6,60	49,00	29,70	3,65	9,98	6,30
Bahtim	VII	15	1,50	0,20	0,10	1,00	1,20	-	1,00	0,50	1,60	2,60	13,80	29,00	44,00	0,10	2,40	13,70	28,00
"	VII	16	1,00	0,20	-	0,40	0,80	-	0,70	0,30	4,00	1,13	14,40	26,50	44,00	3,00	0,93	14,40	26,10
"	VII	17	1,00	0,20	-	0,28	0,70	-	0,70	0,30	6,00	0,75	20,00	21,50	47,00	5,00	0,55	20,00	21,22
Naghamadi	VIII	18	9,60	0,30	2,90	4,60	0,80	-	12,20	5,00	16,30	2,20	15,00	25,60	42,50	6,70	1,90	12,10	21,00
Lehnalluvium bei Giessen	IX	19	-	0,10	-	0,10	-	-	-	-	-	1,55	-	12,10	18,00	-	1,45	-	12,00

Wadi Tumailat bei Talelkebir

Dieser Boden liegt in einer engen Senke am Ismailiakanal, südöstlich von Zagazig am Übergang zur Wüste neben der Straße Ismailia - Kairo in 13 Meter über N.N.

Entlang dem natürlichen Rand dieses Tales wurde 1858 der Ismailiakanal erbaut.

Erhebliche Wassermengen sickern durch die poröse Sohle des Kanals und treten als Druckwasser an den tiefliegenden Stellen des Tales zutage. Durch hohe Verdunstung wurde die ursprünglich niedrige Salzkonzentration dieses Wassers erhöht, bis der Anbau von Kulturpflanzen unmöglich wurde. Im Jahre 1858 waren 50 % der gesamten Fläche nicht mehr nutzbar. Teils waren die Flächen überflutet, teils mit Salzausblühungen überdeckt (ABD EL BAR, 1).

Meliorationsarbeiten wurden mittlerweile in Angriff genommen. Es wurden Drainanlagen gebaut und der sehr schwere Boden mit Sand der nahen Wüste vermischt. In unmittelbarer Nähe des Kanals wurde mit der Verbesserung begonnen. Daher werden die Böden mit zunehmendem Abstand vom Kanal schlechter. In diesem Gebiet kamen drei Bodenprofile zur Untersuchung.

Profil IV Bahari 14

Das Profil wurde in dem am längsten meliorierten besten Kulturboden am Kanal aufgegraben. Zur Zeit der Probenahme war die Bodenoberfläche zur Baumwollbestellung in Vorbereitung. Es handelt sich um Lehm, wobei der Sandgehalt an der Oberfläche durch die Sandzugabe beim Pflanzen höher ist als im Unterboden. Die löslichen Salze sind hier zwar geringer als in den vorher beschriebenen Profilen (2-3 mval/100 g.B. fr. Na), aber durch das Vorherrschen des Natriumbikarbonats weist dieser Boden immer noch einen mittleren pH-Wert auf (8,5 - 9,3).

Tiefe 0 - 15 cm dunkelgraubrauner (10yR,4/2) Lehm, gut krümliges Gefüge mit rund gewaschenen Kieseln.

Tiefe 20 - 40 cm olivgrauer (5y,5/2) Lehm, krümliges Gefüge mit runden Kieseln.

Profil V Bahari 15 (Bild 8)

Das Profil liegt in etwas schlechterem Kulturboden. Die Fläche war mit Klee bestellt, wodurch der Gehalt an organischer Substanz erhöht war. Es handelt sich um einen lehmigen Ton mit sinkendem Tongehalt im Unterboden, der zu den Salzalkaliböden zu rechnen ist. Das Überwiegen von Natriumbikarbonat war hier besonders deutlich.

Tiefe 0 - 10 cm olivgrauer (5y,4/2) lehmiger Ton mit kantiger polyedrischer Struktur.

10 - 20 cm olivgrauer (5y,5/2) toniger Lehm, etwas vergleht, kantige Polyeder.

Profil VI Bahari 14 (Bild 9)

Das Profil liegt am weitesten vom Kanal entfernt auf einer noch nicht meliorierten Fläche. Der Oberboden ist zwar etwas leichter als die vorher beschriebenen, der Unterboden ist aber sehr tonig. Natriumkarbonat ist hier stark angereichert; infolgedessen liegen die pH-Werte extrem hoch (10,25 u. 9,05). Es handelt sich um einen typischen Sodaboden mit keinerlei Horizontierung. Der Boden ist strukturlos und dichtgelagert. Der Gehalt an löslichen Salzen nimmt mit der Tiefe ab (56 mval-6 mval/100 g. Boden), wobei NaHCO_3 und Na_2CO_3 vorherrschen.

Tiefe 0 - 5 cm olivgrauer (5y,5/2) schluffiger Ton, Salzausblühungen.

10 - 20 cm olivgrauer (5y,5/2), vergleiter Ton, keinerlei Gefüge.

Im Ober- und Unterboden sind in erster Linie Natrium, Kalium bzw. Magnesium sorbiert. Im Gegensatz dazu dominierte bei den meliorierten Flächen Mg, gefolgt von Calcium. Die T-Werte liegen bei 42,5 - 49,0 mval. Der Gehalt an freiem CaCO_3 (CO_2) betrug 19,2 %.

Bahim

Bahim liegt unmittelbar nördlich von Kairo in einer Höhe von 20 Metern über N.N. Es sind Flächen, auf denen die besten Böden Ägyptens angetroffen werden.

Profil VII (Bild 10)

Das Feld war z. Zt. der Probeentnahme mit Weizen bestellt. Es handelt sich um einen typischen schweren Schwemmlandboden des Niltales, der durch seinen hohen Ton- und niedrigen Sandgehalt zur Gruppe der schluffigen Tone zählt. Bei mittleren pH-Werten (7,9 - 8,65) und T-Werten von 44 - 47 mval/100 g. B. herrschen Calcium und an zweiter Stelle Magnesium an den Bodenkolloiden vor. Die Gehalte an freien löslichen Salzen sind niedrig und nehmen mit der Tiefe ab.

An Salzen sind Natriumkarbonat (1,2 - 0,7 mval/100 g. Boden) und Natriumchlorid (1,0 - 0,7 mval/100 g. B.) vorherrschend. Dieser Boden zeigte gut krümlige Struktur.

- Tiefe 0 - 20 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Ton, gut krümlige Struktur mit wenig runden Kiesel, gut durchwurzelt.
- 25 - 60 cm sehr dunkelgraubrauner (2,5y,3/2) schluffiger Ton, kantige polyedrische Struktur.
- 60 - 90 cm dunkelgraubrauner (2,5y,4/2), schluffiger Ton, kantige Polyeder mit einigen runden Kiesel.

Naghamadi

Profil VIII

Die Fläche liegt am Mittellauf des Nils nahe Quena. Die Böden werden hier noch im Beckenbewässerungssystem überstaut. Das Profil VIII liegt in einer Höhe von 70 m über

Bild 8

Profil V bei
Talelkebir



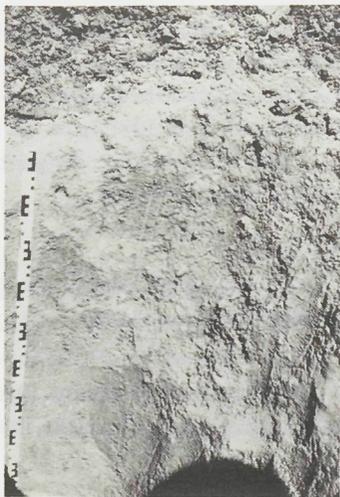
Bild 9

Profil VI bei
Talelkebir
(Sodaboden)



Bild 10

Profil VII bei
Bantim



N.N. Die Bewässerung wird dort folgendermaßen durchgeführt:

Nach Ansteigen des Nilwassers in Flutungsmonaten (August, September und Oktober) können alle hochliegenden kultivierten Flächen im Niltal überflutet werden. Das Wasser bleibt auf den Böden stehen bis der Nilspiegel wieder sinkt und das überschüssige Wasser zum Nil zurückfließt. In diesem System liegt eine Kette von Becken hintereinander, welche durch Dämme getrennt sind. In diese Dämme sind Tore eingebaut, welche nach einem bestimmten System geöffnet und geschlossen werden. Das Wasser steigt im Durchschnitt auf 1,80 m. Ein Drittel dieser Menge verdunstet, ein weiteres Drittel wird vom Boden aufgenommen und das letzte Drittel läuft wieder zum Fluß zurück. Dieses System läßt genügend Wasser im Boden, um Winterfrüchte ohne zusätzliche Bewässerung anschließend anzubauen. Es handelt sich ebenfalls um schluffigen Ton mit sehr hohem T-Wert (40 mval/100 g.B.), wobei das Natrium im Komplex vorherrscht. Der Gehalt an freien löslichen Salzen liegt bei 1,19 % des Feinbodens. Natriumchlorid ist am stärksten vertreten. Dies ist durch die hohe Verdunstung und die damit verbundene Konzentrationserhöhung des Wassers bedingt.

Tiefe 0 - 30 cm dunkelbrauner (10yR,3/3) schluffiger Ton, kantige Polyeder, sehr gut durchwurzelt.

Lahnschwemmlandboden

Profil IX

Um einen Vergleich mit einem Alluvialboden des gemäßigten Klimas durchführen zu können, wurde eine letzte Probe eines Lahnschwemmlandbodens genommen. Sie stammt aus dem Lahntal bei Giessen. Die Probe wurde aus einer Tiefe von 30 - 60 cm genommen. Hierdurch wurde der hohe Humus-

gehalt des Oberbodens nicht mehr erfaßt. Wie zu erwarten war, zeigen die Ergebnisse große Unterschiede zum Nilschwemmlandboden.

Tiefe 30 - 60 cm dunkelgelbbrauner (10yR,4/4) lehmiger Schluff bis schluffiger Lehm, scharfkantiger Polyeder gut durchwurzelt.

Die beiliegende Tabelle 7 zeigt eine Profilübersicht.

2.33 Untersuchungsergebnisse

Ergebnisse der chemischen Untersuchungen (CaCO_3 , Humus und pH-Wert):

Bei Betrachtung der Tabelle 7 fällt auf, daß die CaCO_3 -Gehalte der beiden Profile I und II von Schalma (Nord-delta) sehr niedrig liegen (0,21 - 1,34 %).

Durch die Auswaschung in dem bereits meliorierten Schlemmlandboden des Profils I tritt der CaCO_3 -Gehalt noch stärker zurück. In den Profilen III, VII und VIII liegt der CaCO_3 -Gehalt für ägyptische Verhältnisse normal um 2,5%. In Talelkebir (Profile IV, V und VI) ist mit zunehmender Melioration eine Abnahme zu beobachten. Da es sich bei dem Rohboden (Profil VI) jedoch noch um einen Salzkalkiboden handelt, ist es in diesem Falle richtiger, nur den CO_2 -Wert zu berücksichtigen, da ein Teil der bestimmten Karbonate in Form von Na- und Mg-Karbonat vorliegt.

Im Lahnschwemmlandboden ist infolge Auswaschung kein CaCO_3 vorhanden.

Der gleichmäßige CaCO_3 -Gehalt in allen Schichten der ägyptischen Profile ist durch die fehlende Auswaschung bedingt.

Der Humusgehalt der ägyptischen Schwemmlandböden ist klimabedingt niedrig und schwankt zwischen 0,51 und 2,72 %.

Infolge mehrjährigen Kleebaues liegt der Gehalt an organischer Substanz in Profil V am höchsten (2,72 %). Profil I wird erst seit einem Jahr melioriert und weist daher die niedrigsten Werte auf. Profil II zeigt noch eine unveränderte gut entwickelte Salzvegetation mit etwas höheren organischen Substanzwerten. Profil III ist seit langer Zeit melioriert und hat einen normalen Humusgehalt (1,08 - 2,19 %). In den Profilen IV, V, VI und VII nimmt mit zunehmender Tiefe der Humusgehalt ab, so wie dies auch im Lahnschwemmlandboden der Fall ist.

Die pH-Werte steigen in allen ägyptischen Schwemmlandböden infolge zunehmender Salzkonzentration mit der Tiefe an.

Im Rohboden von Schalma (Profil II) sind die pH-Werte relativ niedrig durch die Anwesenheit neutraler Salze (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SO_4 und MgSO_4).

Jedoch nach der Auswaschung (Profil I) bildeten sich vielfach die stark alkalischen Salze (NaHCO_3 , Na_2CO_3).

Durch starke Anreicherung des Natriumkarbonats bei Profil VI liegen die pH-Werte extrem hoch (10,25 u. 9,05).

Die Bestimmung der linearen Schrumpfung wurde nach THUN, HERRMANN und KNICKMANN (65) folgendermaßen durchgeführt: Etwa 100 g Feinboden (1 mm) werden bis zur Knetgrenze (80 % der minimalen Wasserkapazität) angefeuchtet, kräftig durchgeknetet und in geschlossener wassergesättigter Atmosphäre 12 Stunden sich selbst überlassen. Dann wird der Boden in Aluminiumschalen von 10 cm Durchmesser und senkrechten Wänden fest eingepreßt und die Oberfläche glattgestrichen. Vor dem Füllen werden die Schalen leicht eingefettet. Die Schalen bekannten Gewichts werden bei 105° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dann gewogen.

Berechnung:

- a. 100 - Durchmesser der trockenen Scheibe in mm =
1. Schrumpfung %.

$$b. \text{ Vol.}\% \text{ feste Substanz} = \frac{\text{Gewicht d. trockenen Scheibe} \times 100}{\text{Schälchenvolumen} \times \text{spez. Gewicht}}$$

$$c. \text{ Vol.}\% \text{ H}_2\text{O} = \frac{\text{Gewicht der eingeknet. Feuchtmasse} - \text{Gew. d. trock. Scheibe} \times 100}{\text{Schälchenvolumen}}$$

$$d. \text{ Vol.}\% \text{ Luft} = 100 - (\text{Vol.}\% \text{ feste Substanz} + \text{Vol.}\% \text{ Wasser.})$$

Wie Tabelle 7 zeigt, schwanken die Werte in einem Bereich zwischen 1,1 % und 19,2 %. Mit steigendem Tongehalt gleicher Zusammensetzung, mit dem auch die Menge an austauschbaren Ionen wächst, nimmt die Schrumpfung stetig zu. Es zeigte sich eine enge Korrelation zwischen Tongehalt und linearer Schrumpfung. Wie Tabelle 8 zeigt, tritt bei Na-reichen Böden (Profil VI) stärkere Schrumpfung auf als bei solchen, welche vorwiegend Magnesium sorbiert haben (Profil III). Die mit Ca belegten Tone zeigten die geringste Schrumpfung.

Die Aggregatstabilität in Wasser

Die nach der Methode von CHWILJA (12), abgeändert nach FAUST (19), durchgeführte Untersuchung brachte die in den Tabellen 8 - 9 wiedergegebenen Werte. Die dazugehörigen Kurven wurden in den Darstellungen 6 - 14 aufgezeichnet.

Profil I zeigt demnach sehr schlechte Aggregatstabilität. In Profil II sind die Aggregate etwas stabiler. Jedoch nach 2 Minuten ist auch hier ein schneller Zerfall zu beobachten. Die Stabilität läßt mit zunehmender Tiefe nach. Das Profil III in Gemysa zeigt eine bessere Aggregatstabilität, die ebenfalls mit der Tiefe nachläßt.

Bei Talelkebir in dem am besten meliorierten Boden (Profil IV) ist zwar zunächst innerhalb der ersten 3 Minuten der Behandlung ein Absinken der Aggregatstabilität zu beobachten. Dies hält aber auf Grund des zugeführten Sandanteils nicht an, und die Stabilität bleibt relativ gut. Im Unterboden ist auch hier die Stabilität geringer.

Tabelle 8

Durchlaufmethode zur indirekten Bestimmung der Aggregatstabilität

Zeit Minuten	Profil Nr.	1		2			3		4		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		3,5	3,2	30	9,5	12	40,5	33	10,5	170	11
2		2	2,5	19	5,5	6	32	22	7,5	121	8,5
3		1,5	1	15	5	3,5	28	20,5	6,5	92	7
4		0,5	0,3	13,5	3	2	27,5	20	6	72	7
5		0,5	0,3	12,5	3	2	27,0	19	5	62	6
6		0,3	0,2	11,5	2	1,7	26	18	5	54	6
7		0,1	0,1	11	1,5	1,5	25	17	5	50	5,5
8		0,1	-	10,5	1,3	1,5	24	17	5	45	4,5
9		-	-	10,5	1	1,5	24	16,5	5	42	4,5
10		-	-	10,5	1,0	1	23	16,5	4,5	38	4
11		-	-	10	1	1	22	16,5	4,5	37	4
12		-	-	10	1	1	21,5	16,5	4,5	35	4
13		-	-	10	1	1	21,5	16	4	34	4
14		-	-	10	1	1	21	15,5	4	32	4
15		-	-	10	1	1	21	15	4	31	4
Endwert		0,1	0,1	11	1	1,5	21,5	15,5	4	45	4

Tabelle 9

Zeit Min.	Profil	5		6		7		8		9
	Nr. Nr.d.Bo- denprobe	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1		130	35	7	50	44	21	10,5	31	145
2		79	25	4	110	36	17,5	7	23	86
3		56	22	3	145	32	15	6	22	70
4		46	20	2,5	175	30	14	4,5	21	55
5		38	18	2	180	28	13	4,5	20,5	50
6		34	17,5	1	174	27	13	3	20	45
7		30	17	1	190	26	13	3	19	43
8		28	16	1	220	24,5	13	2,7	19	41
9		26	16	0,7	214	24,5	12	2,5	19	39
10		25	15	0,4	192	23	12	2,5	19	37
11		24,5	15	0,4	200	22	12	2,5	18	35
12		23	14	0,3	198	21,5	12	2,2	17	34
13		22,5	14	0,3	190	20,5	12	2	17	33
14		21,5	13,5	0,2	190	20,5	12	2	17	31,5
15		20	13	0,2	190	19,5	12	2	17	31
Endwert		24,5	14,5	0,15	160	20,5	13,5	2,3	18,5	38,5

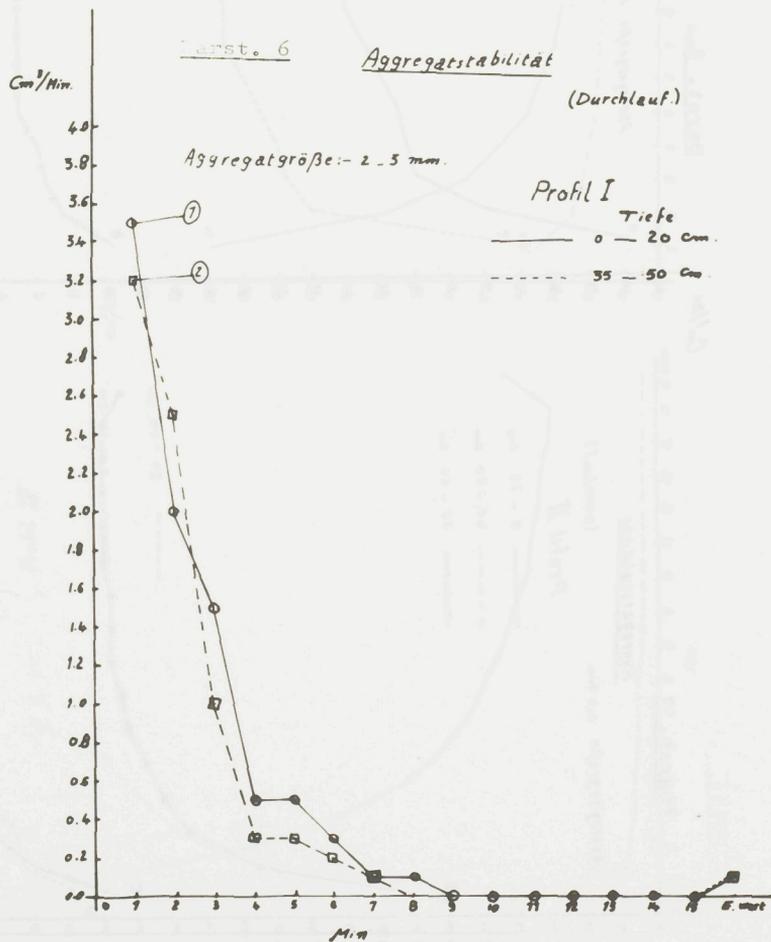
Das gleiche ist in Profil V zu beobachten, jedoch sind im Unterboden (sehr flach) die Aggregate etwas stabiler.

Im Profil VI (Sodaboden) zeigt die Kurve des Oberbodens auf Grund ihrer Lage im Koordinatensystem eine ausgesprochene Instabilität der Aggregate. Im Unterboden ergaben sich schlechte Meßwerte infolge hohen Tonanteils (71,5 %) und der Anwesenheit von Kieseln in den Aggregaten.

Der Oberboden des Profils VII hat stabile gut krümlige Aggregate mit wenig runden Kieseln. Mit zunehmender Tiefe ist auch hier wieder eine Abnahme der Aggregatstabilität zu beobachten. Das ist in allen Fällen auf zwei Ursachen zurückzuführen. Einmal sinkt der Gehalt an organischer Substanz, vor allem aber wird die Aggregatstabilität im Oberboden durch häufiges Austrocknen und Anfeuchten erhöht.

Der Boden aus Naghammadi (Profil VIII) ist längeren Perioden ständiger Durchfeuchtung ausgesetzt und seine Aggregate haben nur eine mittelmäßige Stabilität.

Der Boden aus dem Lahntal (Profil IX), der vergleichsweise mit in die Versuchsreihe einbezogen wurde, zeigt gute Widerstandsfähigkeit der Aggregate gegen Wasser und gleicht in seinem Verhalten den Oberböden der Profile IV und V.



Darst. 7

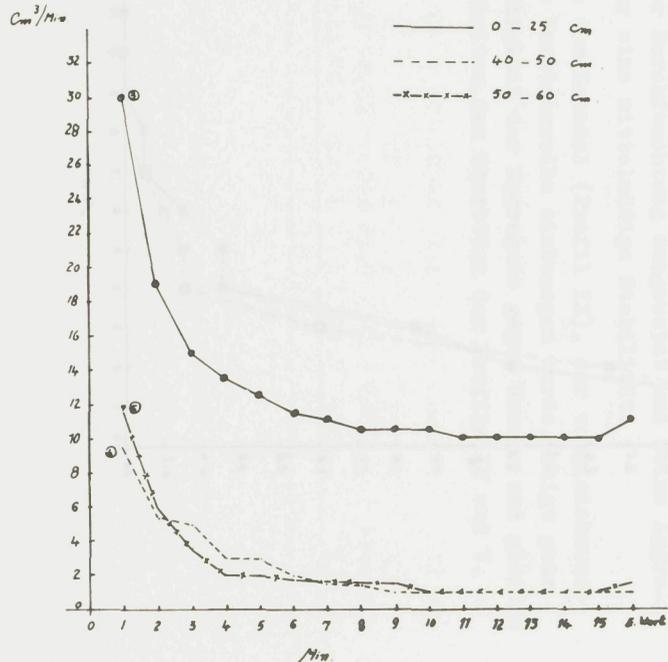
Aggregatstabilität

Aggregatgröße 2-3 mm

(Durchlauf)

Profil II

- 0 - 25 Ccm
- - - 40 - 50 Ccm
- x-x-x- 50 - 60 Ccm



C_{cm}^3/Min

Darst. 8

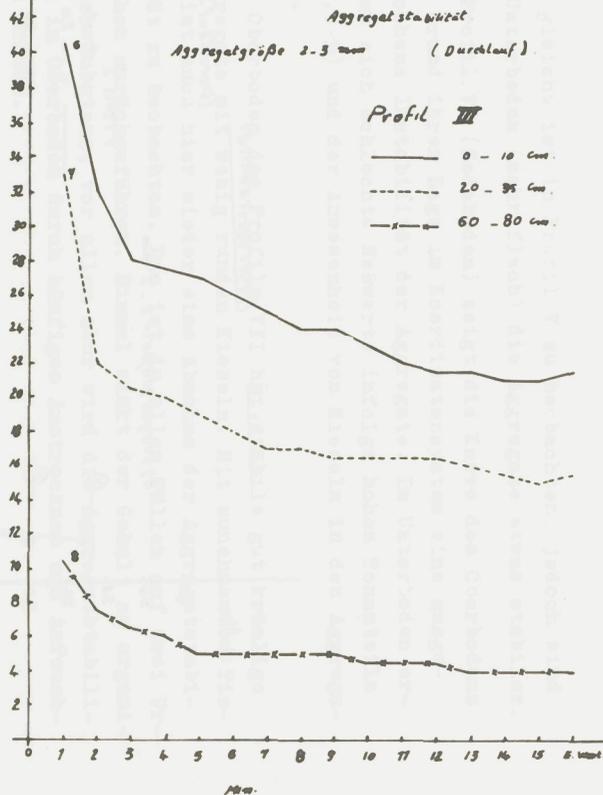
Aggregatstabilität

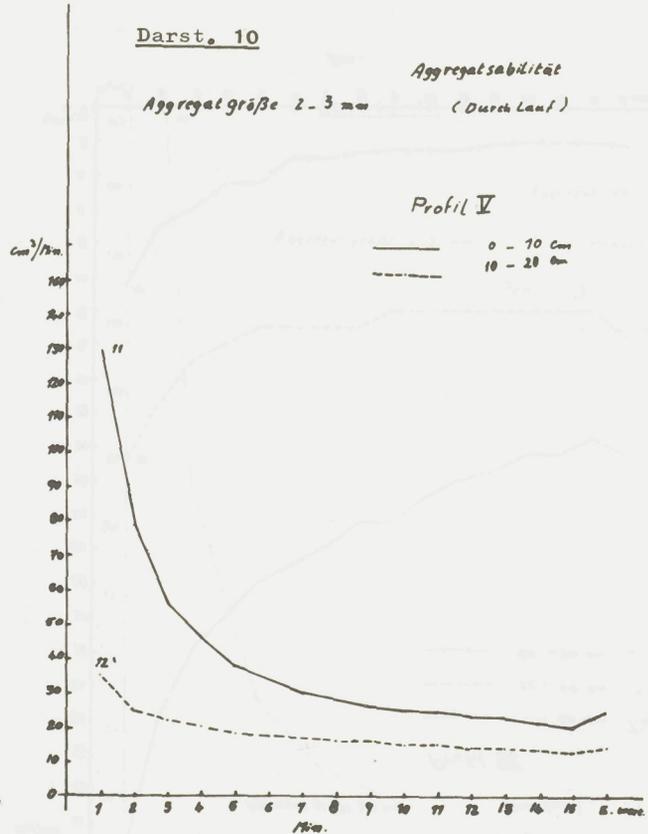
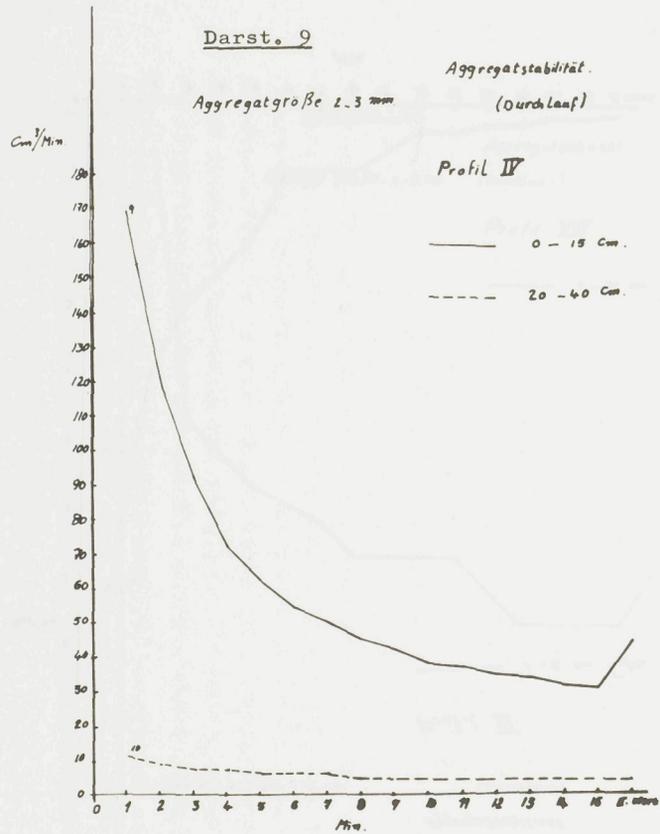
Aggregatgröße 2-3 mm

(Durchlauf)

Profil III

- 0 - 10 Ccm
- - - 20 - 35 Ccm
- x-x-x- 60 - 80 Ccm





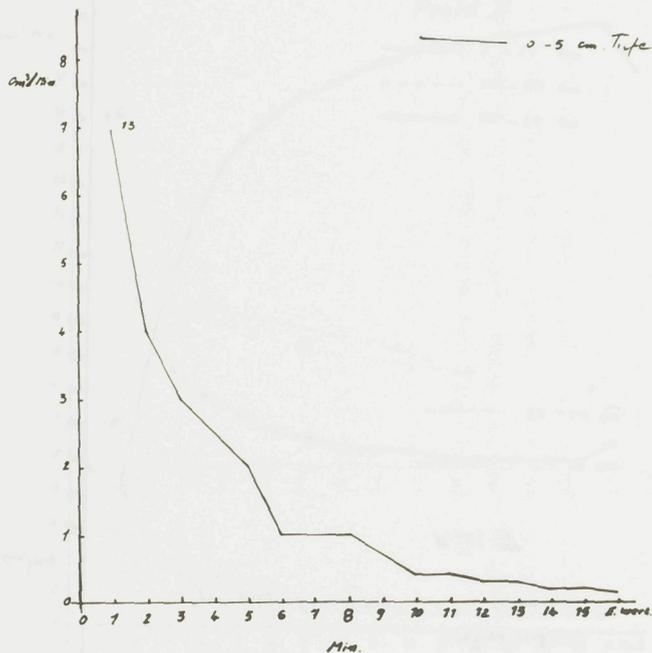
Darst. 11

Aggregatgröße 2-3 mm

Aggregatsabilität
(Durchlauf)

Profil VI

— 0-5 cm Tiefe



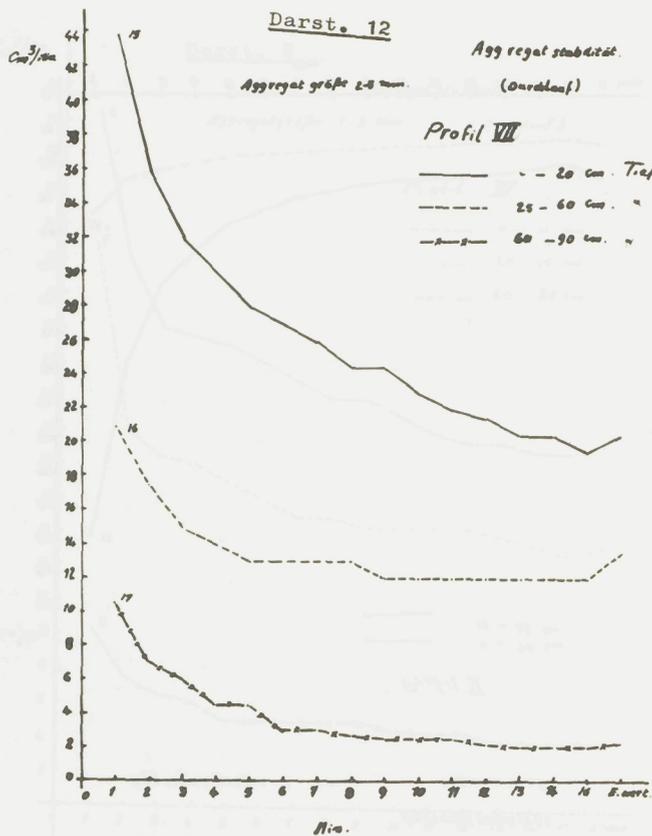
Darst. 12

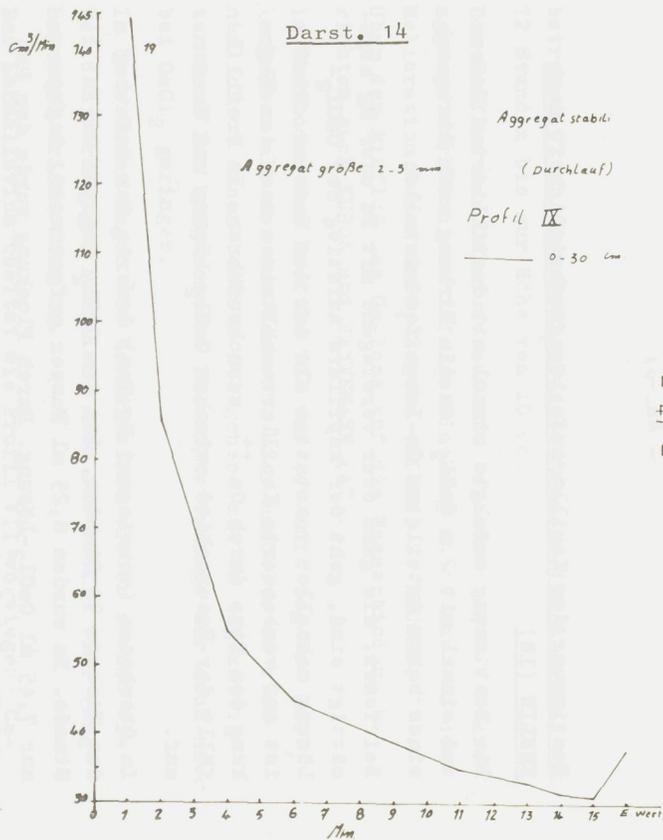
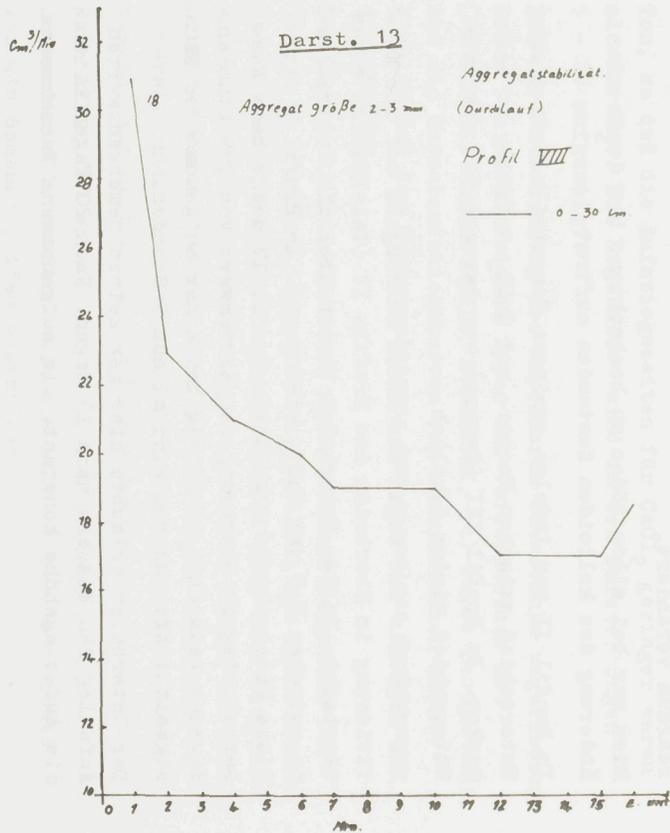
Aggregatgröße 2-3 mm

Aggregat stabilität
(Durchlauf)

Profil VII

— 20 cm Tiefe
- - - 25-60 cm. "
- · - · 60-90 cm. "





Bestimmung der Kapillaraufstiegsgeschwindigkeit nach
ENSLIN (18)

Die Bestimmung erfolgte einmal mit destilliertem Wasser und einmal mit 2 n CaCl_2 , um die Wirkung nach Eintausch eines hohen Anteils an Ca-Ionen festzustellen.

Bei Tonen, die ganz oder vorwiegend mit Na oder Mg abgesättigt sind, geht der kapillare Aufstieg der CaCl_2 -Lösung schneller vonstatten als der des Wassers. Dies ist auf verbesserte Kapillarverhältnisse nach der Flockung des Tons durch Ca^{++} - zurückzuführen. In Profil I fällt der Unterschied zwischen CaCl_2 -Lösung und Wasser auf.

Im Oberboden (vorwiegend Mg-Ton) dauerte der Aufstieg des Wassers 92 Stunden, der des CaCl_2 dagegen nur 1 Stunde. Es wurden 8,25 ml Wasser aufgenommen, dagegen nur 7,45 ml CaCl_2 -Lösung. Durch Flockung wurde der Porenraum verändert.

Dies war bei allen Böden zu beobachten, bei denen eine Änderung des kolloiden Zustandes auftrat.

In Profil II war infolge geringen Tonanteils kein großer Unterschied zwischen Wasser- und CaCl_2 -Aufstieg zu bemerken. In Profil III (Gemysa) war dagegen der erwähnte Unterschied wieder deutlich.

Das Ergebnis ist wegen der hohen Sandzugabe bei der Kultivierung im Oberboden des Profils IV (Talelkebir) etwas verwischt. In dem Unterboden treten aber die Unterschiede zwischen H_2O und CaCl_2 wieder auf. In Profil V sind diese Unterschiede verstärkt. Profil IV zeigt beim Wasseraufstieg im Oberboden den Extremwert von 295 Stunden, dagegen beim CaCl_2 -Aufstieg bei einer aufgenommenen Flüssigkeitsdifferenz von 2,55 ml nur 9 Stunden.

Der Unterboden erlaubte hier gar keinen bemerkenswerten Aufstieg des Wassers nach 15 Tagen. Nach 20 Tagen blieb die Aufstiegshöhe konstant, die aufgenommene Wassermenge

betrug 4,97 ml. Bei CaCl_2 -Zugabe dauerte der Aufstieg nur 72 Stunden bis zur Höhe von 10 cm.

Den Einfluß des Calciums auf die Verbesserung der Mikroaggregatverhältnisse infolge Flockung nutzt man bei der Melioration durch CaSO_4 -Zugabe (ALLAM, 2; HEUSER, 37). Über den Einfluß des Ca-Ions auf die Wasserbindung berichten auch KURON und HANNEMANN (47).

Im Oberboden des Profils VII war der Aufstieg des CaCl_2 langsamer als der des Wassers. Hier handelte es sich nämlich um einen bereits weitgehend mit Ca abgesättigten Ton. Die aufgenommene Flüssigkeitsmenge war auch hier bei CaCl_2 geringer.

Im Unterboden lagen die Verhältnisse wieder ebenso wie bei den vorherigen Profilen. Auch für Profil VIII (Naghamadi) trifft dies zu.

Das Lahnalluvium besitzt wie Profil VII vorwiegend Ca-Ton, so daß die Aufstiegszeiten für CaCl_2 geringer waren als für H_2O . Die Ergebnisse sind in den Darstellungen 5 - 23 aufgezeigt.

Bei der Untersuchung des kapillaren Wasserhubs ungarischer Böden von verschiedenem Typus und verschiedener Art (DI GLERIA, KLIMES-SZMIK, DVORACSEK, 14) wurde festgestellt, daß die Wasseraufstiegskurven von mineralischen Nicht-Alkaliböden der Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen entsprechen.

Die Kurven für Lehmböden mit verschiedenem Tongehalt werden um so steiler, je größer in denselben die Tonfraktion ist, deren Wasserhubkurve mit der Zeit sich über diejenigen der anderen Kornfraktionen erhebt. DI GLERIA und Mitarbeiter meinen deshalb, daß der kapillare Wasserhub in mineralischen Böden in einem entsprechenden Zeitpunkt gemessen, zur Bestimmung der Bodenart geeignet ist.

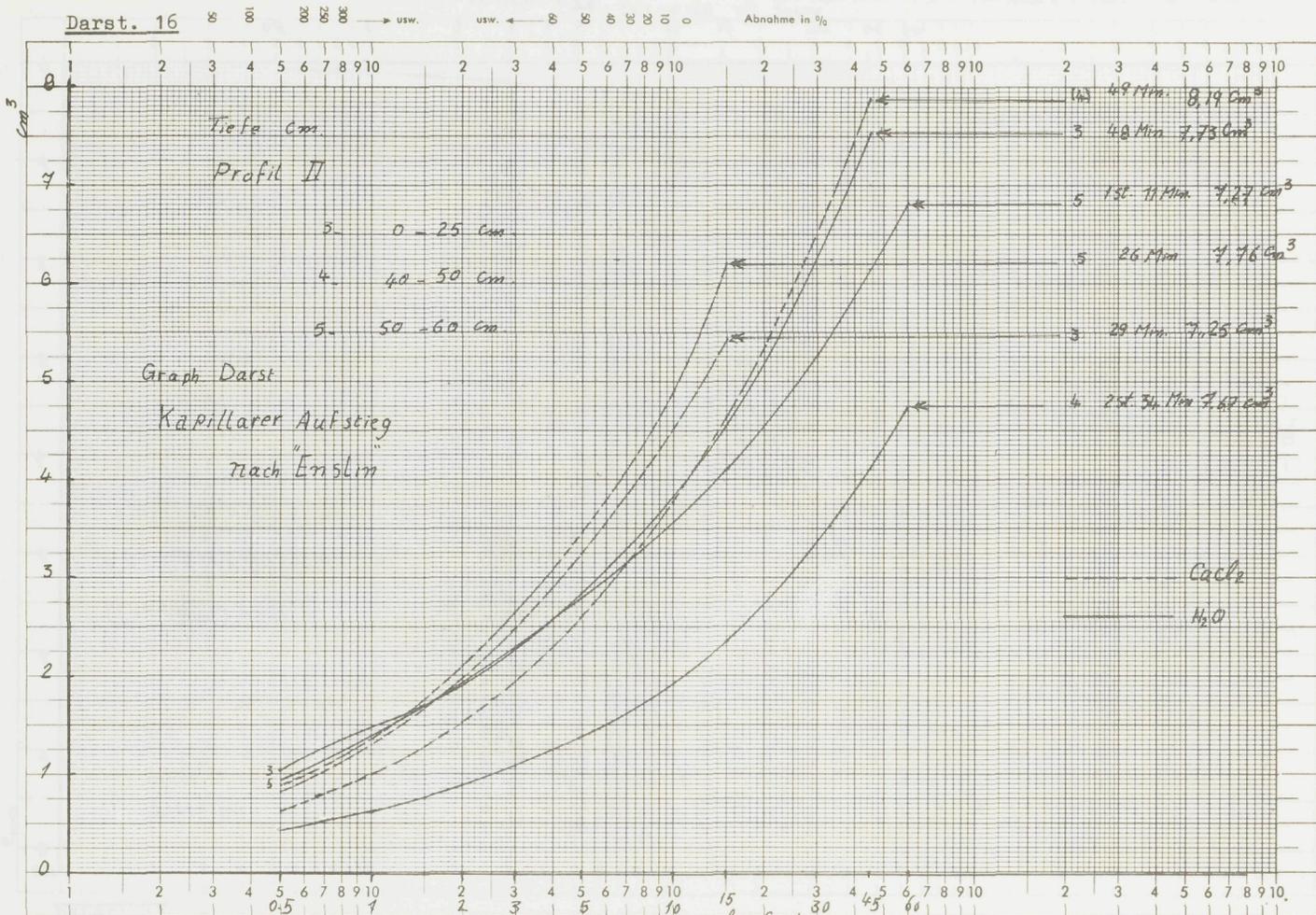
Nach AYERS (6) wird nicht nur die kapillare Steiggeschwindigkeit, sondern auch die Endhöhe des Wasserhubs von den Bodenkolloiden beeinflusst.

Bei den hier vorliegenden Na-Böden bildet sich um die Teilchen der Kolloide eine dicke Hydrosphäre (Wasserhaut), die die Wasserbewegung in einigen Poren ausschaltet oder hemmt. Die hemmende Wirkung des Na auf die Wasserbewegung hängt nicht allein von der relativen Menge des sorbierten Na, sondern auch von der Menge des Tons ab. Bei gleicher Menge an sorbiertem Na wird die hemmende Wirkung mit steigendem Tongehalt größer (DI GLERIA, KLIMES-SZMIK, DVORACSEK, 14).

Nach BAYER (10) beträgt der dispergierte Anteil bei Beidellite-Ton 100 μ 62,2 %, wenn der Ton mit Na-Ionen gesättigt ist und nur 4,9 %, wenn er mit Ca-Ionen belegt ist.

Eine Kurve von LOTZE (48) zeigt, daß die Durchlässigkeit des Ca-Tons viel größer ist als die des Na-Tons. Nach 60 Minuten hat der Ca-Ton etwa 38 ccm Wasser durchgelassen, während der Na-Ton nur etwa 13 ccm durchließ. Nach 160 Minuten wurden 100 ccm Wasser bei Ca-Ton und nur etwa 33 ccm bei Na-Ton durchgelassen. Auch WOLKEWITZ (70) stellte in seinen Untersuchungen fest, daß in dem Na-Boden durch die starke Quellung sowohl die Steighöhe als auch die Steiggeschwindigkeit erheblich gehemmt ist. Die Untersuchungen nach ENSLIN (18) bestätigen diese Befunde, die besonders am Profil VI und VII deutlich werden (Darstellungen 20 und 21).

Darst. 16

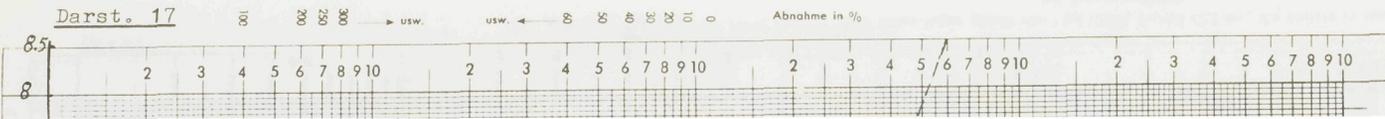


Nr. 369 1/2:6

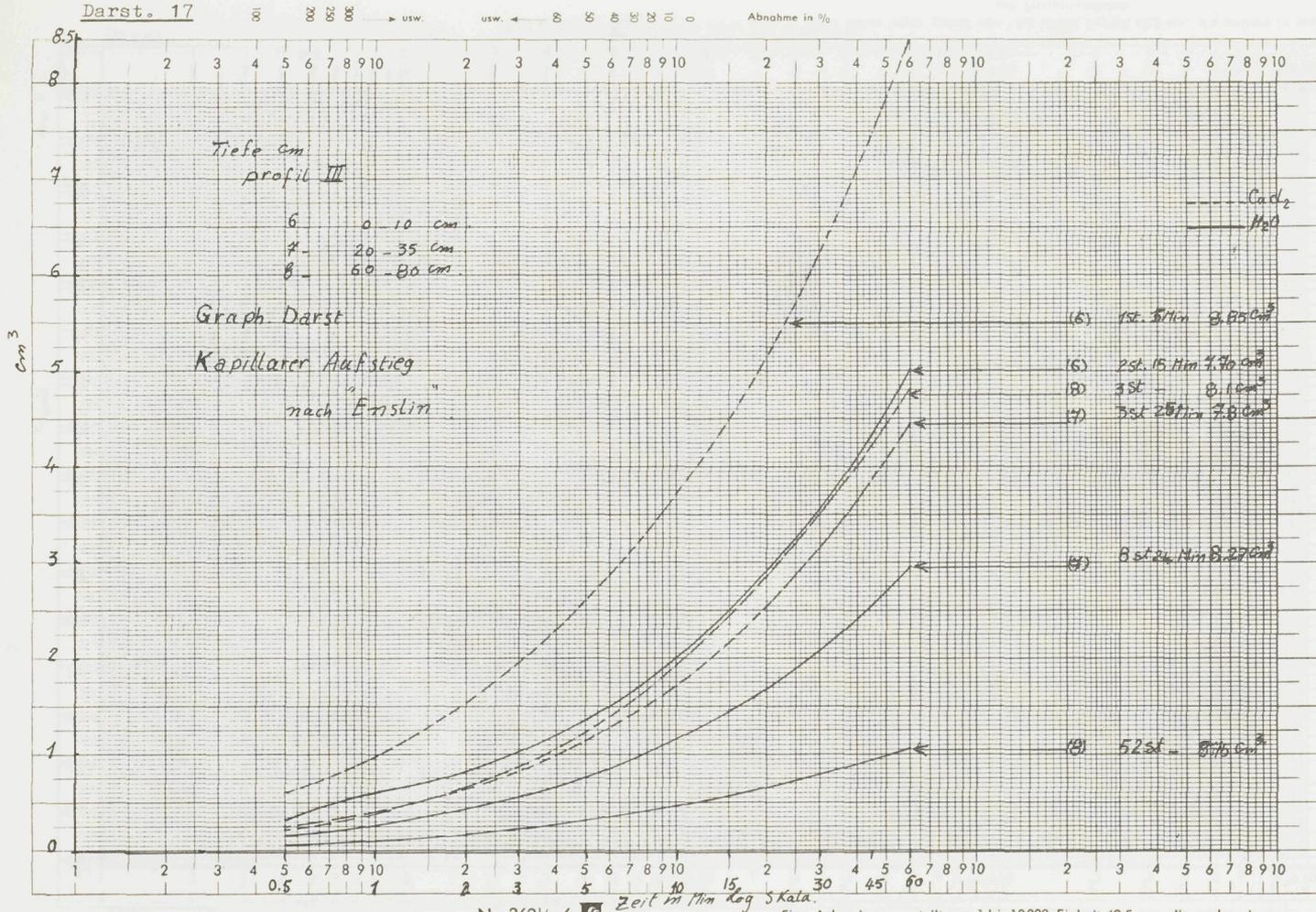
Zeit in Min Log Scala.

Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm. mit Prozentmaßstab

Darst. 17

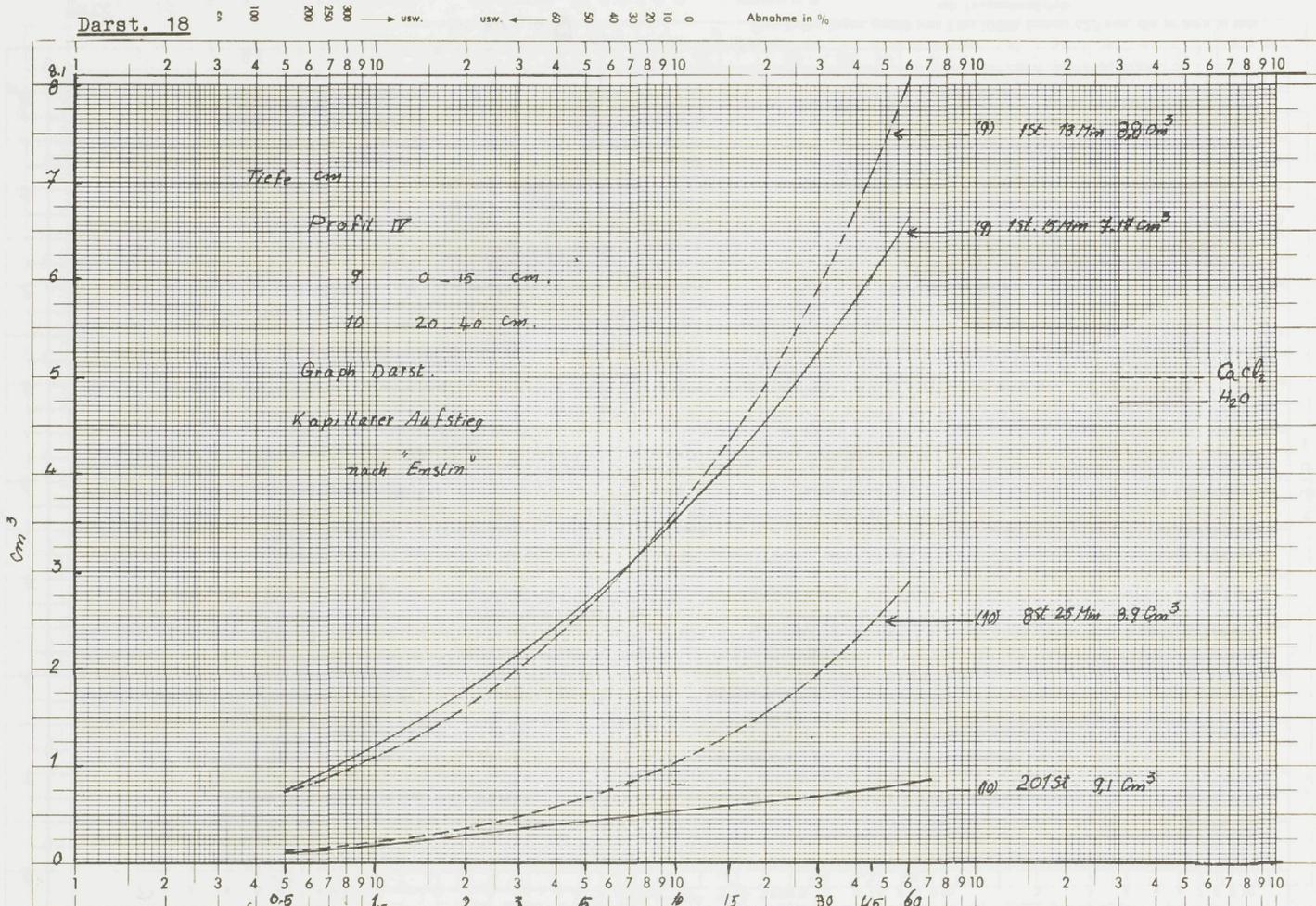


Darst. 17



- 51b -

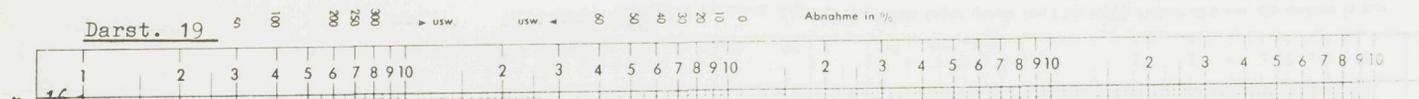
Darst. 18



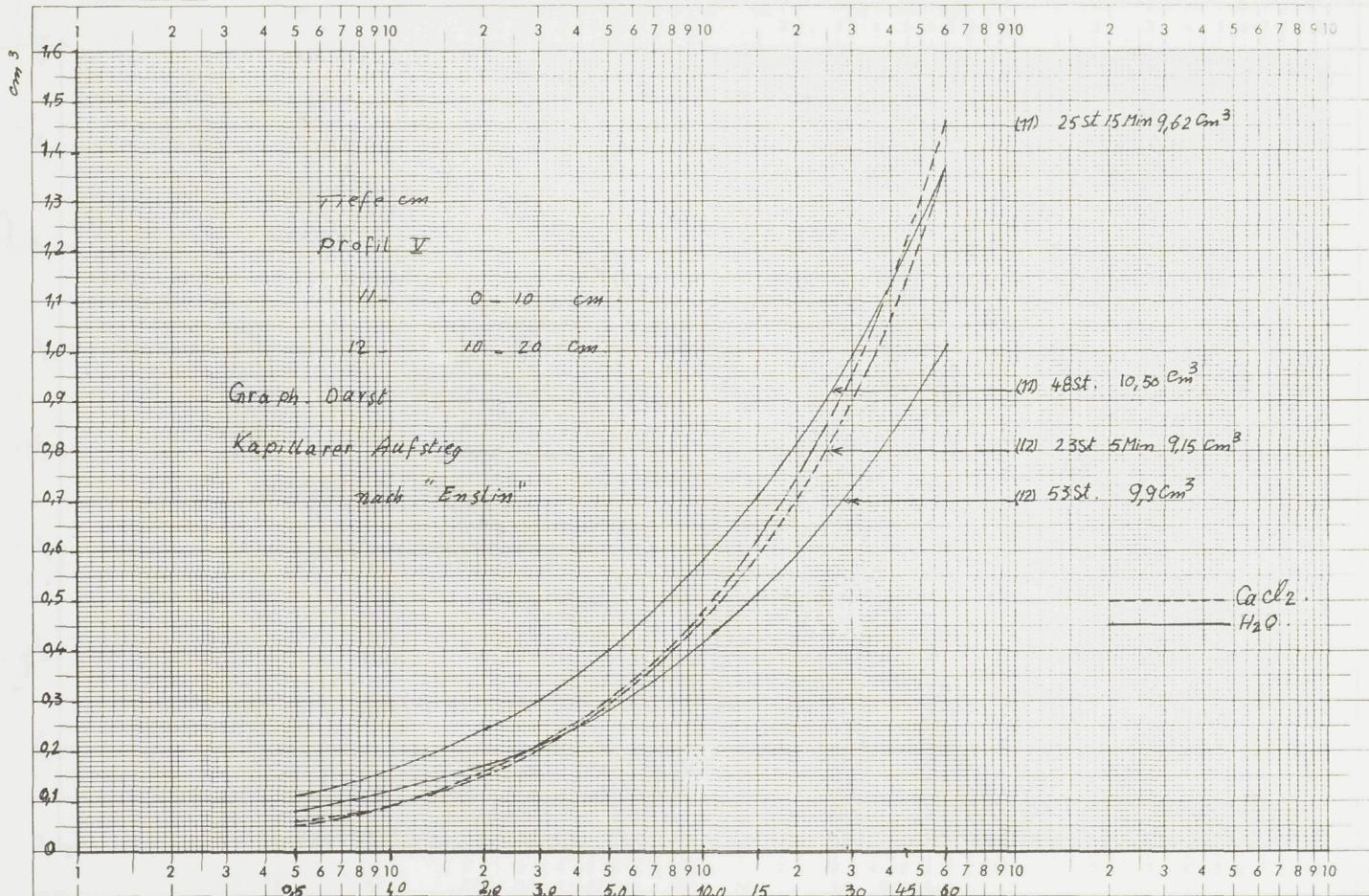
Nr. 369 1/2:6 Zeit in Min Log Skala
 Eine Achse logar geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab

- 510 -

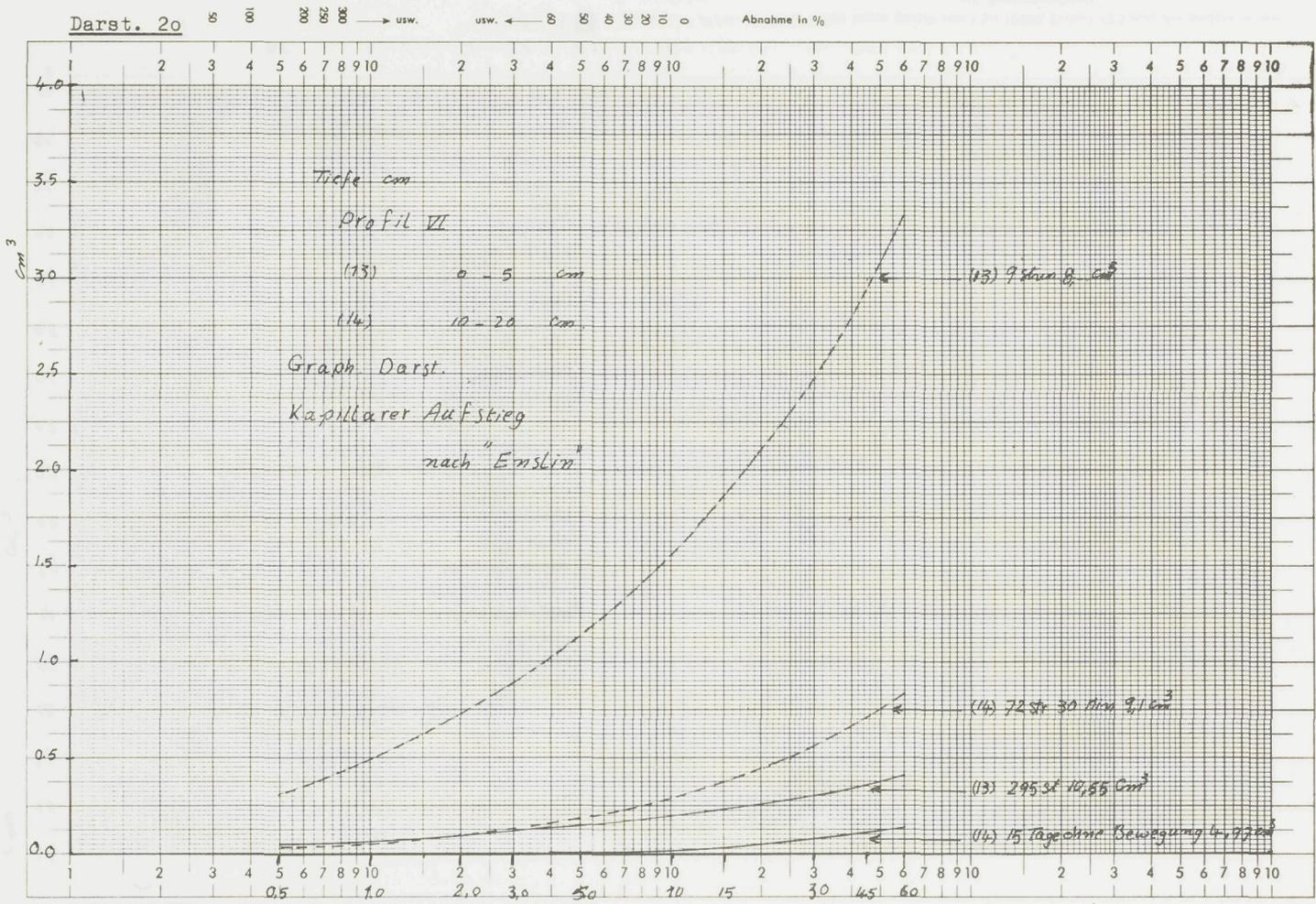
Darst. 19



Darst. 19



Darst. 20



Nr. 369 1/2:6 $\frac{1}{2}$ Zeit in min. Log SK-Achse geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab

- 52 -

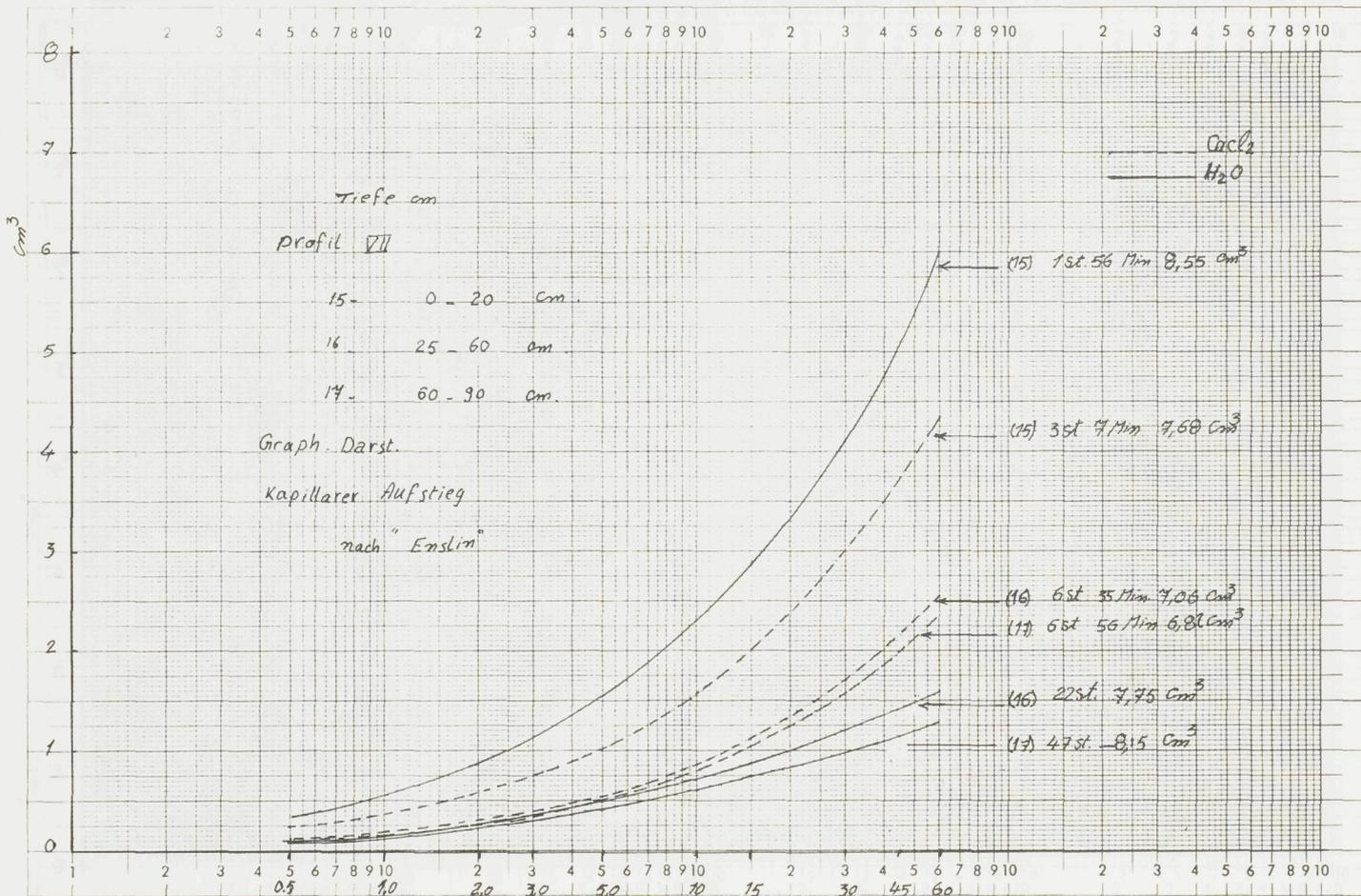
Darst. 21



B+

Darst. 21

Abnahme in %



Tiefe cm
 Profil VII
 15 - 0 - 20 cm
 16 - 25 - 60 cm
 17 - 60 - 90 cm

Graph. Darst.
 Kapillarer Aufstieg
 nach "Enslin"

Darst. 22

05 100

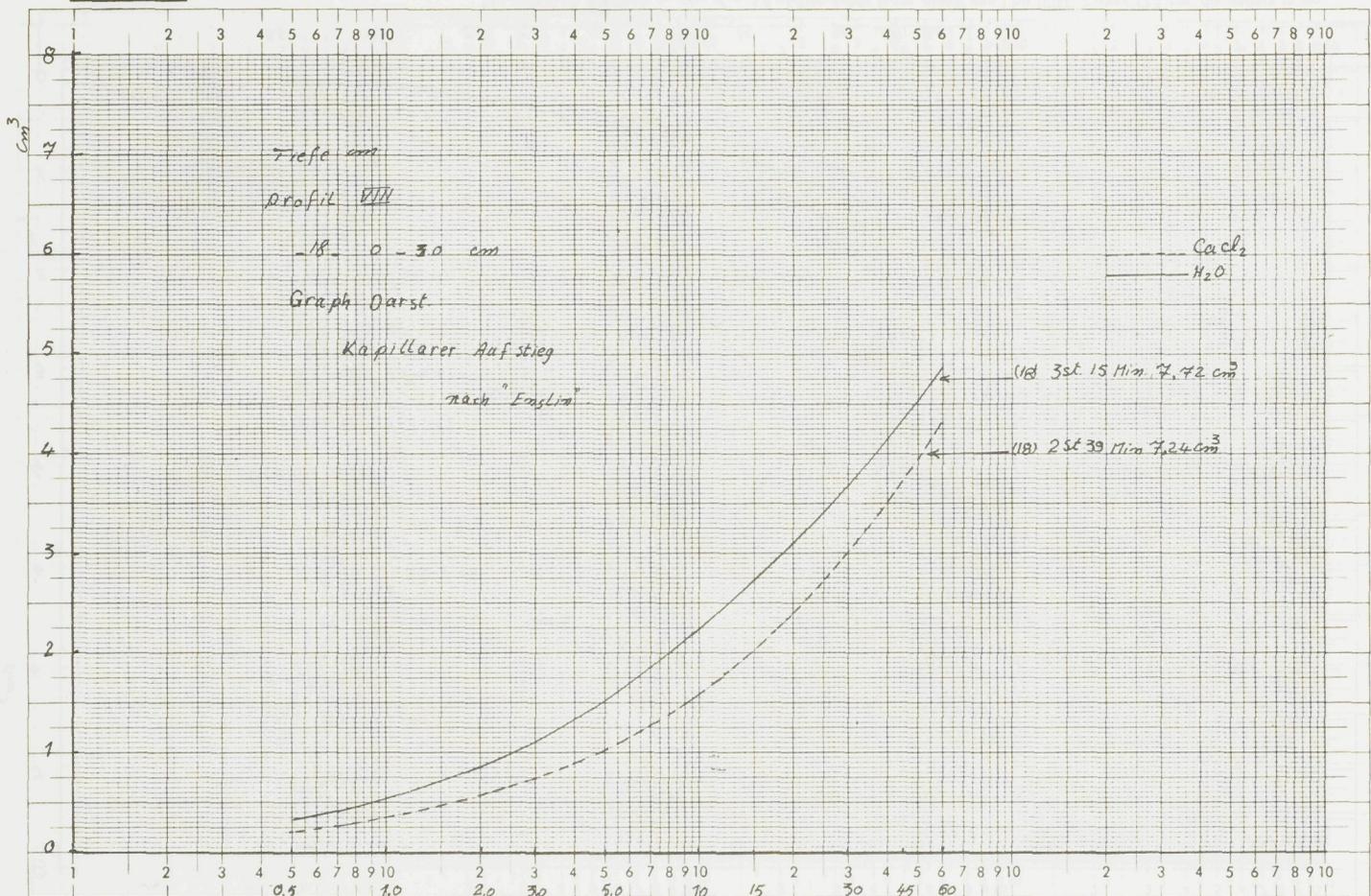
200 250 300

→ usw.

usw. ←

0 10 20 30 40 50 60 80

Abnahme in %



Nr. 369¹, :6 Zeit in Min Log Skala. Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab

- 54 -

Darst. 23

05 100

200 250 300

→ usw.

usw. ←

0 10 20 30 40 50 60 80

Abnahme in %

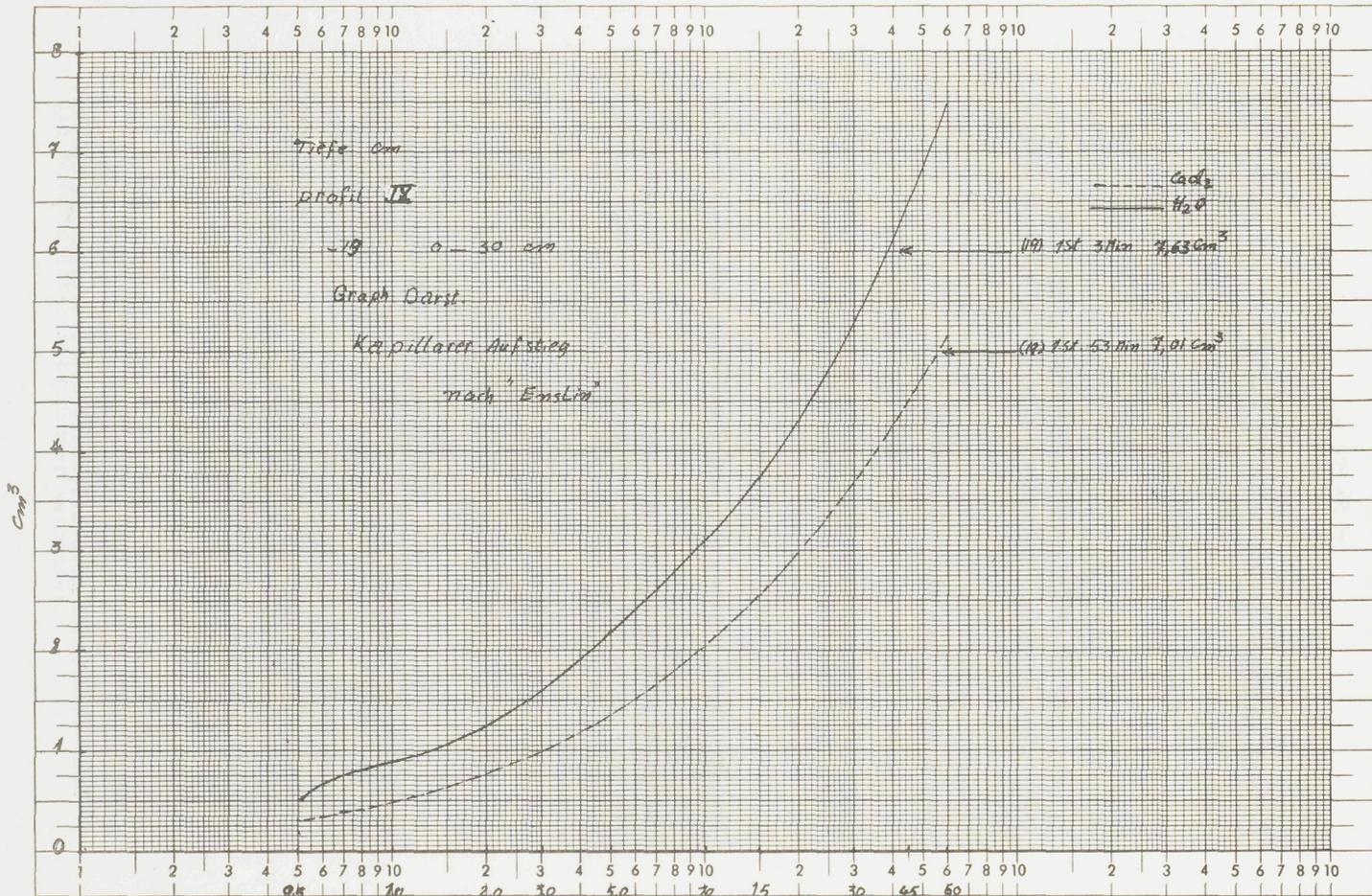


Darst. 23

00 00 00 00 → usw.

usw. ← 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Abnahme in %



2.4 Das Rißbild

2.41 Der Vorgang der Rißbildung

Der plastische Ton nimmt in feuchtem Zustande mehr Raum ein als trockener Ton. Die Überwindung der bei Trocknung und Schrumpfung auftretenden Spannungen führt zum Zerreißen der Masse. Im Anfangsstadium durchziehen primäre Risse die Schlammfläche, die beim Fortschreiten des Austrocknungsprozesses in ein immer engmaschigeres Netz von Rissen aufgeteilt wird (SCHERBUR, 61).

Bei seinen Beobachtungen an Tuschekleckschen, die er auf der Gelatineschicht photographischer Platten eintrocknen ließ, um Rückschlüsse auf die Rißbildung in feuchtem Ton bei Wasserverlust zu erhalten, hat LOTZE (48) (siehe auch SCHWARZ, 62 a) folgendes gefunden:

Die Trocknung beginnt von der Oberfläche und gleichzeitig vom Außenrand. Am Rand beginnt daher auch die Rißbildung, und senkrecht zu ihm wachsen die Klüfte zunächst in das Innere hinein. Auf diese, dem Außenrand parallele Rißzone, baut sich erneut ein System von Sprüngen auf, das einwärts wächst. Der regelnde Einfluß des Randes geht nach und nach verloren.

Häufig ist die Austrocknung kolloidhaltiger Böden mit der Entwicklung eines Rißsystems verbunden. Die Grundlage der Gefügesystematik ist die Ausbildung der Gefügeaggregate. Es ist daher zweckmäßig, die Gefügeelemente nach der Größe, der Form der Ecken und Kanten und dem Längsverhältnis der Achsen zu untersuchen.

NIKOFFOROF (54) hat auf diese Weise die erste Systematik gebracht. Später wurde auch von MÜCKENHAUSEN, KOEPF und ALTMÜLLER (51) auf dieser Grundlage eine Systematik des Gefüges für deutsche Böden aufgestellt.

In kolloidreichen Böden entsteht durch Quellung und Schrumpfung, d. h. durch Rißbildung ein Aggregatgefüge je nach chemischer Beschaffenheit des betreffenden Solums.

Folgendes hat WOLKEWITZ (70) festgestellt:

Wenn der Tongehalt weniger als 20 % beträgt, treten keine Risse auf. Bis zu einem Tongehalt von 35 % ist die Rißbildung sehr schwach ausgeprägt. Da die Tonteilchen kolloidchemischen Gesetzen gehorchen, haben sie die Fähigkeit, als Bindemittel zu wirken. Aus der Teilchengröße ergibt sich die Oberflächengröße eines Systems. Je höher dispers das System ist, um so größer ist die Gesamtoberfläche (OSTWALD, 55).

2.42 Kohäsion und Adhäsion

Mit zunehmender Oberflächengröße steigen die Oberflächenkräfte. Das Haftvermögen aneinandergelagerter gleichartiger Teilchen wird als Kohäsion bezeichnet.

Die Kohäsion ist das Ergebnis einer Wechselwirkung verschiedener teilweise entgegengerichteter Kräfte. Die elektrische Ladung wirkt abstoßend, während die Oberflächenkräfte ein Zusammentreten der Teilchen erstreben.

Die Adhäsion folgt ähnlichen Gesetzmäßigkeiten. Physikalisch versteht man unter der Adhäsion eine Erscheinung der Molekularkräfte, die bewirkt, daß Moleküle verschiedener Stoffe aneinander haften bleiben (FRANKE, 21). In der Bodenmechanik wird die Bindung zwischen den Bodenteilchen untereinander mit Kohäsion bezeichnet, während das Anhaften des Bodens an einem Gegenstand, zum Beispiel an einer Spundglaswand, Adhäsion genannt wird (TERZAGHI, 64).

BAVER (10) unterscheidet scharf zwischen der Adhäsion und der Kohäsion. Er versteht unter der Adhäsion die Bindung der flüssigen Phase an die feste Phase, also das Haften des Wassers an den festen Bodenteilchen oder auch an Objekten, die in direkten Kontakt mit dem Boden gebracht werden.

Unter Kohäsion versteht er den inneren Zusammenhalt der Wassermoleküle, die in feuchten Böden als Brücke dienend die Bodenteilchen miteinander verbinden.

Streng genommen entspricht die Bindung der Wassermoleküle der physikalischen Definition der Kohäsion, während die Bindung zwischen den Bodenteilchen unter dieser Voraussetzung ein Vorgang der Adhäsion ist.

Demnach bezeichnen weder Kohäsion noch Adhäsion die Bindung innerhalb des Bodens korrekt und erschöpfend, sondern beide Vorgänge sind hier in gleicher Richtung wirksam.

WOLKEWITZ (70) hat folgendes bei der Messung der Adhäsion gefunden:

Bei den mit verschiedenen Ionen belegten Bodenproben ist das Ca-Ion stark positiv zur Adhäsion korreliert, geringere positive Wirkung zeigen Mg- und K-Ionen, während das Na- und das H-Ion negative Tendenzen aufweisen.

Zum Tongehalt besteht eine sehr hohe positive Korrelation, während sie zu allen anderen Korngrößenfraktionen negativ ist.

Die Auswirkung der Kationen auf die einzelnen Rißstypen ist unterschiedlich (WOLKEWITZ, 68).

Bei seiner Bodenstrukturuntersuchung hat auch CHIA WEI CHANG (11) Rißbilder hergestellt. Die Versuche von WOLKEWITZ (69) haben gezeigt, daß die Rißbildmethode (danach wurde auch in vorliegender Arbeit verfahren) geeignet ist, Unterschiede im physikalischen Verhalten von Tonen bei der Einwirkung von Ca, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, CO_2 , Huminsäure und Krillium erkennen zu lassen.

2.43 Quellung und Schrumpfung

Quellung und Schrumpfung sind Eigenschaften, die vor allem bei schweren Böden auffallen. CZERATZKI (13) schreibt sogar dem Einfluß der Quellung und Schrumpfung die Entstehung von Bodenverdichtungen, vor allem z. B. die Pflugschlenkbildung zu. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (59) kann sich der Quellungsdruck mit zunehmender Tiefe durch den begrenzten Raum nicht in einer Volumenvergrößerung

bemerkbar machen. Es treten dadurch Verdichtungserscheinungen auf, die zu einer Verringerung der Permeabilität führen und die Bildung von Staunässe bedingen können. Die Wasseraufnahme führt bei vielen Böden zu einer Zunahme des Gesamtvolumens, die als Quellung bezeichnet wird. Sie ist begründet in der Hydratation der austauschbaren Ionen, in der dadurch bedingten Änderung des osmotischen Drucks und in der Hydratation der Ionen der festen Grenzflächen. Die Schrumpfung ist nicht nur vom Ton und von der Menge austauschbarer Ionen abhängig, sondern auch von der Art der Ionenbelegung der Tonkomplexe. Ionen, die stärkere Hydratation des Tonkolloids bedingen, lösen stärkere Quellung und Schrumpfung aus als solche, die ihre Wasserhülle beim Eintausch verlieren. Die Gefügedynamik eines kolloidreichen Bodens wird wesentlich durch sein Quellungs- und Schrumpfungsvermögen beeinflusst (KUNZE, 45).

Nach WOLKEWITZ (67) kann man allgemein die Quellung als die Vergrößerung des Volumens einer Substanz unter Anlagerung von Flüssigkeiten definieren. Im Boden liegt diese Flüssigkeit als ein mit mehr oder weniger Salzen angereichertes Wasser vor. In einer anderen Arbeit berichtet WOLKEWITZ (70) in Anlehnung an SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (60), daß Wasser nicht nur an die Tonteilchen angelagert wird, sondern auch an die Kationen. Auch hier hängt die Dicke der Wasserhülle von der Ladungskonzentration und dem Ionendurchmesser ab. Je größer die Ladung und je kleiner der Durchmesser, um so mehr Wasser wird angelagert. Außer der Quellung an der Oberfläche der Teilchen kennt man bei verschiedenen Tonmineralen, besonders denen der Montmorillonitgruppe, eine innerkristalline Quellung. Hier vermögen die Kationen zwischen den einzelnen Schichten des Minerals einzudringen und durch ihre Hydrathülle und die osmotische Wasserbindung die Schichten zu lockern.

Das Wasser dringt dabei zwischen die Kristallgitterschichten und treibt diese auseinander. Das ist nur möglich, solange die Saugkraft zwischen den Gitterschichten größer

als deren Bindung durch Nebenvalenzkräfte ist.

Bei geringer Eintauschintensität dissoziieren die Kationen weit in die Außenlösung. Innerhalb des Schwarmionenbelages wird dann durch osmotischen Zug Wasser eingelagert. Dies kann besonders im Falle der Belegung mit Na-Ionen erhebliche Quellungserscheinungen verursachen.

ANDERSON (3) studierte den Einfluß der Kationen und stellte fest, daß die Kationen die Quellung in der lyotropen Reihe (Na - K - Ca - Mg - H) beeinflussen.

MATTSON (49) weist Beziehungen zwischen der Austauschkapazität und der Quellung nach.

Nach ATTERBERG (5) können im Boden nur Teilchen mit einem Durchmesser 0,01 mm quellen.

Verliert ein gequollener Boden soviel Wasser, daß sein Volumen vermindert wird, so wird dieser Vorgang Schrumpfung genannt. Dabei werden die Teilchen durch die Kohäsion der Wassermoleküle aneinander gezogen.

GUIDICI (24) stellte eine lineare Abhängigkeit der Schrumpfung von der Teilchengröße fest. Die Schrumpfung kann je nach Plastizitätsverhältnissen, Quellungsgrad und Isotropie zur Verdichtung des Bodens, zur Verkrustung oder zur Auflockerung durch Rißbildung führen.

2.5 Untersuchungen an Rißbildern der Niltalböden

2.51 Methodik

Um auswertbare Rißbilder zu bekommen, wurde das Verfahren von WOLKEWITZ (67) mit einigen Abänderungen angewandt.

Für die Modellversuche wurde mit reinem Ton des Oberbodens von Profil Bahtim gearbeitet.

Nach der Dispergierung des Bodens mit $N/100NH_4OH$ konnten nach 7 Stunden 35 Minuten Sedimentationszeit die obersten 10 cm der Suspension abgehebert und der Ton mit $CaCl_2$ ausgefällt werden. Nach Dekantieren der überstehenden klaren Lösung wurde mit 0,04 n HCl bis zur Ca -Freiheit ausgewaschen, anschließend mit destilliertem Wasser chlorfrei gewaschen und nach Trocknen der Tonfraktion bei $50^\circ C$ im Achatmörser zerrieben und auf 0,2 mm abgesiebt. Das so gewonnene Material kann als H-Ton bezeichnet werden. Der T-Wert dieses Tons betrug 50 mval/100 g.

Die Rißbildmethodik mußte so ausgebaut werden, daß in diesem Ton die Rißbilder genügend reproduzierbar waren und feinere Unterschiede innerhalb der Versuchsreihen deutlich zum Ausdruck kommen.

Zunächst wurden 6 mm starke, plangeschliffene runde Spiegelglasscheiben benutzt. Um ein Herabfließen der aufgetragenen Tonpaste, "des Schlickers", zu verhindern, wurde ein Gummiring um die Scheibe gelegt. Ein Teil der Paste floß jedoch durch diesen Ring ab. Festkleben der Ringe führte ebenfalls nicht zum Erfolg. Deshalb wurden Kunststoff-Petrischalen verwendet. Diese zeigten jedoch eine elektrische Ladung, welche die Rißbildung beeinflusste. Schließlich wurden gepreßte plangeschliffene Spiegelglasscheiben mit Glasrand verwendet, welche gründlich von Fett gereinigt waren und einen Durchmesser von 100 mm hatten. 7 g des Tons (0,002 mm) wurden pro Platte benötigt. Um die für das Versuchsziel notwendige Salzmenge bei gleichem Flüssigkeitsanteil zuzusetzen, wurden 1/2 n und 2 n Lösun-

gen verwendet. Die Zugabe erfolgte mit Pipette. Zur Ergänzung des Flüssigkeitsvolumens wurde destilliertes Wasser zugegeben. Die mit den Tonschlickern belegten Platten kamen für 24 Std. in wasserdampfgesättigte Atmosphäre in einen hermetisch abgeschlossenen Schrank und wurden horizontal aufgestellt. Anschließend kamen die Platten bei normaler Zimmertemperatur und rel. Luftfeuchte auf eine horizontale Tuschieplatte. Auf folgende Punkte mußte besonders geachtet werden: Die Schlickerschicht mußte gleichmäßig dick sein, um ein gleichzeitiges Abtrocknen der ganzen Fläche zu gewährleisten. Die Flüssigkeitsmenge mußte ferner so bemessen sein, daß nach Verrühren der Paste mit einem Glasstab wieder eine völlig entzerrte spiegelglatte Oberfläche entstand.

Innerhalb der Kolloidfraktion eines Bodens wechseln die Wassergehalte nur wenig (WOLKEWITZ, 67). Eine optimale Dicke des Schlickers war wesentlich. Zu dünne Schichten rissen überhaupt nicht, zu dicke Schichten dagegen zu stark und ungleichmäßig, so daß keine Unterschiede innerhalb der Versuchsreihen zu erkennen waren.

Nach Beendigung der Versuche wurden die Schichtdicken gemessen und zeigten befriedigende Übereinstimmung sowohl innerhalb der einzelnen Scheiben als auch innerhalb der Versuchsreihen. Um äußere Einflüsse wie Luftzug und Temperaturschwankungen möglichst auszuschalten, wurde die Tuschieplatte in einen Kasten gestellt, der allseitig verschließbar war. Von unten konnte etwas Luft zum Trocknen hineingelangen. Die Schalen der jeweiligen Versuchsreihe kamen immer zusammen in den Trockenkasten. Alle Versuchsreihen wurden mit den notwendigen Parallelen durchgeführt. Dadurch konnten Fehler durch äußere Einwirkungen sofort festgestellt werden. Randwirkungen waren wegen der Größe der Fläche ohne Bedeutung. Die Auswertung wurde erst außerhalb dieses Randbereiches vorgenommen.

Das Trocknen auf der Tuschieplatte dauerte in der Regel 2 - 4 Tage. Dann zeigten sich die charakteristischen Risse.

Nach Erreichen der Gewichtskonstanz wurden die Scheiben aus dem Kasten herausgenommen und photographiert.

2.52 Versuchsausstellung

Um die Rißbilder der Niltalböden auswerten zu können, wurden Testreihen mit dem aus dem Oberboden von Bahtim gewonnenen H-Ton erstellt. Um dem unterschiedlichen Salzgehalt gerecht zu werden, wurden folgende Salzkonzentrationen dem H-Ton zugefügt:

0	H ₂ O				
1	10 mval Salz / 100 g Ton				
2	20 " "	"	"	"	"
3	30 " "	"	"	"	"
4	50 " "	"	"	"	"
5	100 " "	"	"	"	"
6	200 " "	"	"	"	"
7	400 " "	"	"	"	"

Von einer 1/2 n Lösung wurden die Mengen 10, 20, 30, 50 mval Salz / 100 g Ton zugesetzt und von einer 2 n Lösung 100, 200 mval / 100 g Ton.

Die Mengen 400 mval / 100 g Ton wurden getrennt als trockene Salze dem trockenen Ton zugegeben und dann in der Suspension gelöst. Beim Photographieren der Risse waren Vorversuche zur Sichtbarmachung des Maßstabs sowie zur Abstimmung des richtigen Films mit Belichtungszeit und Blende etc. notwendig.

Es wurden sieben Versuchsreihen angesetzt und zwar:

- I. Natriumchloridreihe
- II. Natriumsulfatreihe
- III. Natriumkarbonatreihe
- IV. Magnesiumchloridreihe
- V. Magnesiumchloridreihe + KOH (zur Prüfung der Alkalitätswirkung)

VI. Magnesiumsulfatreihe

VII. Calciumchloridreihe

Zur Gewinnung der Rißbilder der einzelnen Bodenproben wurden die Böden auf 0,06 mm gesiebt und davon 7 g Boden pro Scheibe genommen. Die Behandlung war die gleiche wie die der Modellversuchsreihen jedoch ohne Salzzusatz.

2.6 Auswertung der Rißbildung

2.6.1 Beschreibung der Rißbilder

Es wird zunächst eine visuelle Beschreibung der Bilder gegeben. Gleichzeitig sollen die Modellversuchsreihen mit unterschiedlicher Salzzugabe (römische Ziffern) und die Steigerungen innerhalb einer Versuchsreihe (mit arabischen Ziffern) verglichen werden.

Steigerungsstufen (bei allen Versuchsreihen gleich)

Bild Nr. 0 Behandlung ohne Salzzugabe

"	"	1	"	mit	10 mval / 100 g H-Ton
"	"	2	"	"	20 " / " " "
"	"	3	"	"	30 " / " " "
"	"	4	"	"	50 " / " " "
"	"	5	"	"	100 " / " " "
"	"	6	"	"	200 " / " " "
"	"	7	"	"	400 " / " " "

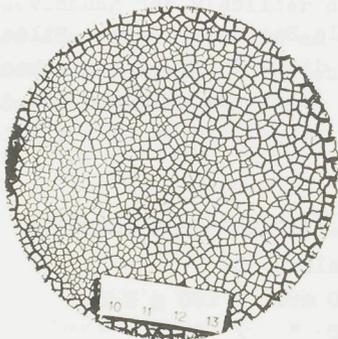
Schon bei einer rein äußerlichen Betrachtung der Bilder fällt deutlich ein großer Unterschied zwischen den verschiedenen Modellversuchsreihen auf. Ein weiterer Unterschied ist auch zwischen den verschiedenen Rißbildern innerhalb einer Modellversuchsreihe zu sehen.

Modellversuchsreihe Nr. 1 - Behandlung mit NaCl

Der Gesamteindruck der Rißbilder mit 10 - 100 mval NaCl/100 g H-Ton unterscheidet sich nicht sehr wesentlich vom Rißbild der 0-Behandlung.

Das Bild Nr. 0 (der 0-Behandlung) zeigt ein System zusammenhängender Risse von 3 - 4 cm Länge. Sie schließen fast quadratische und fünfeckige Inseln in Größenordnungen von 2 - 4 mm² ein. In diesen Inseln finden sich fein verästelte kurze schmale Risse, die unregelmäßig verzweigt sind und am Ende manchmal spitz zulaufen.

Versuchsreihe I Behandlungen mit NaCl



0-Behandlung
mit reinem Wasser

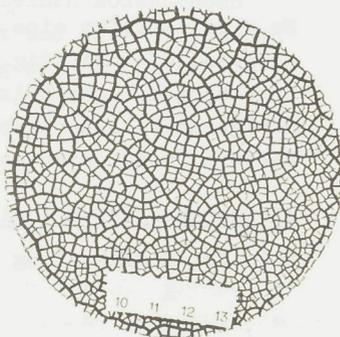


Bild 1 Behandlung mit
10 mval NaCl/100 g H-Ton

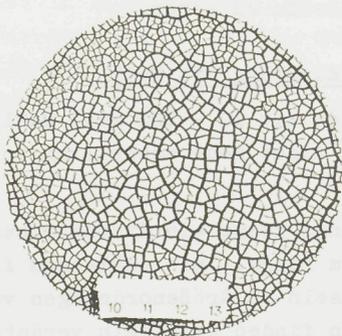


Bild 2 Behandlung mit
20 mval NaCl/100 g H-Ton

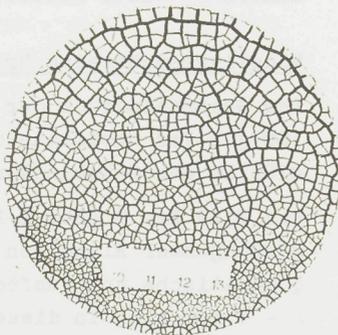


Bild 3 Behandlung mit
30 mval NaCl/100 g H-Ton

Versuchsreihe I Behandlungen mit NaCl

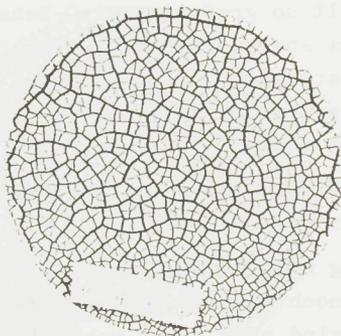


Bild 4 Behandlung mit
50 mval NaCl/100 g H-Ton

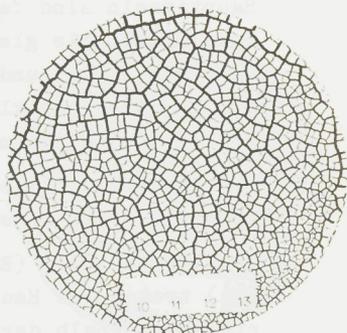


Bild 5 Behandlung mit
100 mval NaCl/100 g H-Ton

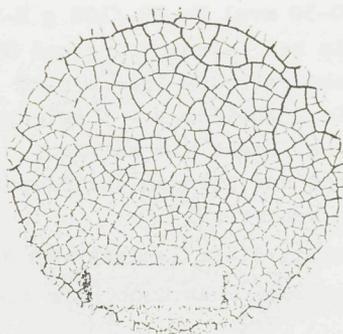


Bild 6 Behandlung mit
200 mval NaCl/100 g H-Ton

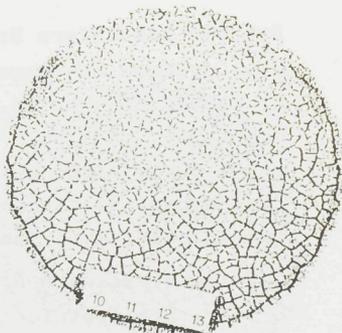


Bild 7 Behandlung mit
400 mval NaCl/100 g H-Ton

Bild Nr. 1 (10 mval NaCl / 100 g H-Ton) zeigt gegenüber O eine Vergrößerung der Risse in Breite und Länge. Sie ziehen sich bogenförmig durch den Boden. Die entstehenden Hauptinseln sind fast doppelt so groß wie bei O-Behandlung, haben die gleiche Form aber schärfere, gerader verlaufende Kanten und zeigen stärkere Differenzierung zwischen großen und kleinen Rissen innerhalb der Inseln, die von den Hauptrissen gebildet werden.

Bis Rißbild Nr. 4 einschließlich sind keine wesentlichen Änderungen gegenüber Nr. 1 zu beobachten.

Ab Rißbild Nr. 5 (Behandlung mit 100 mval NaCl / 100 g H-Ton) treten die Hauptrisse noch klar hervor. Die Nebenrisse innerhalb der Inseln sind aber nicht mehr differenziert, sondern einheitlich schwach ausgebildet.

Diese Tendenz verstärkt sich bei Nr. 6, wo sich bereits eine Salzausblüfung bemerkbar macht.

Bei Rißbild Nr. 7 werden die Risse oder Inseln durch die starke Salzausblüfung überdeckt.

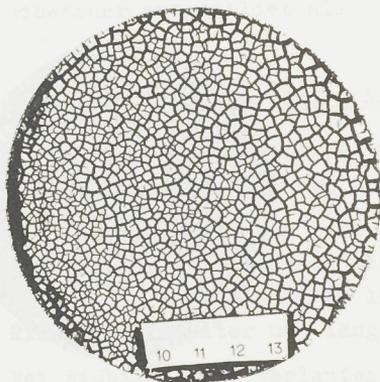
Modellversuchsreihe II - Na₂SO₄

Bei den Rißbildern Nr. 1-3 (10-30 mval Na₂SO₄/100 g H-Ton) sind größere breitere Risse als bei O-Behandlung und NaCl-Zusatz entstanden. Die Durchmesser der Inseln sind ebenfalls größer als bei O. Die Rißbilder 1 - 3 zeigen im Bild die gleiche Abstufung der Risse wie bei NaCl. Die Hauptrisse sind aber breiter und grenzen die Hauptinseln als polyedrische Formen scharf ab.

Bei den Rißbildern Nr. 4 u.5 tritt diese Tendenz noch stärker hervor. Die Abstufung der Nebenrisse geht auch hier wieder verloren.

Bei Rißbild Nr. 6 (200 mval Na₂SO₄/100 g H-Ton) geht die scharfe Begrenzung der Hauptinseln durch die Hauptrisse schwach zurück.

Versuchsreihe II Behandlungen mit Na_2SO_4



0-Behandlung
mit reinem Wasser



Bild 1 Behandlung mit
10 mval Na_2SO_4 /100 g H-Ton

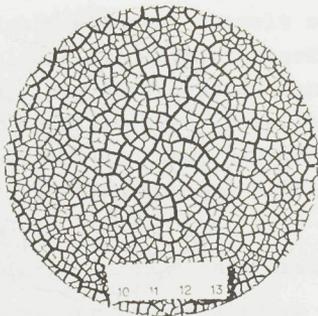


Bild 2 Behandlung mit
20 mval Na_2SO_4 /100 g H-Ton

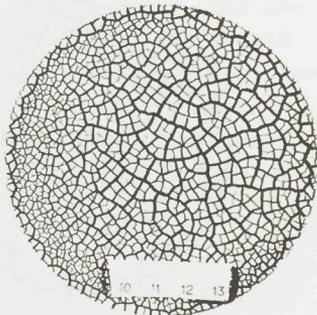


Bild 3 Behandlung mit
30 mval Na_2SO_4 /100 g H-Ton

Versuchsreihe II Behandlungen mit Na_2SO_4

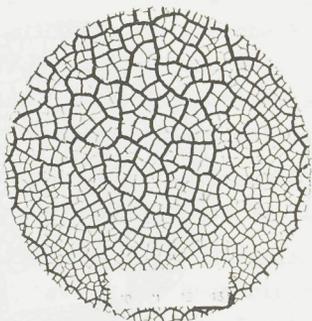


Bild 4 Behandlung mit
50 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

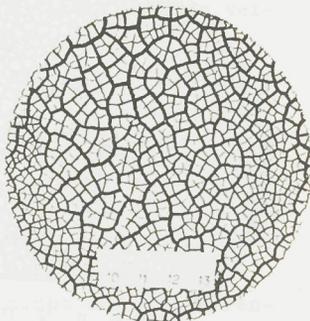


Bild 5 Behandlung mit
100 mval Na_2SO_4 /100 g H-Ton

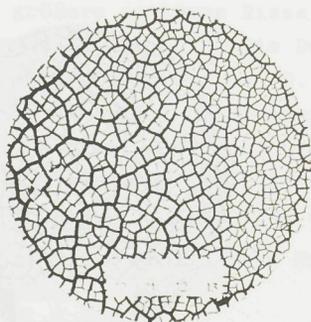


Bild 6 Behandlung mit
200 mval Na_2SO_4 /100 g H-Ton

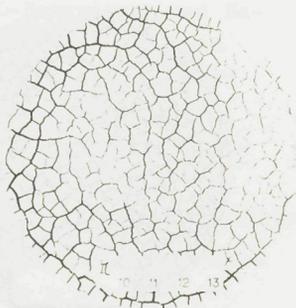


Bild 7 Behandlung mit
400 mval Na_2SO_4 /100 g H-Ton

Bei Reißbild Nr. 7 treten Salzausblühungen auf; die Hauptrisse sind nur noch schwach ausgeprägt und die Nebenrisse laufen in der Bodenmasse vielfach spitz aus und sind noch schwächer ausgebildet als die Hauptrisse.

Modellversuchsreihe III - Na₂CO₃

In diesem Versuch sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Steigerungsstufen am deutlichsten zu sehen.

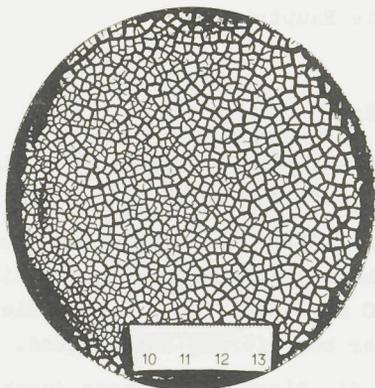
Das Reißbild Nr. 1 (10 mval Na₂CO₃/100 g H-Ton) zeigt gegenüber der O-Behandlung schärfer ausgeprägte Unterschiede als die Behandlung mit 10 mval NaCl/100 g H-Ton. Die Risse sind breiter und länger bogenförmig durchgehend.

Bei Reißbild Nr. 2 verlaufen die Risse noch länger durchgehend und werden nur unterbrochen, wenn sie auf andere quer gehende Risse stoßen. Es treten in starken Bögen verlaufende Risse auf, daneben aber auch fast gradlinige, die senkrecht auf die Bögen auftreffen. Die Ränder der Inseln sind glatt und bilden durchweg Vierecke. Sie haben eine ausgesprochen kantige Form, obwohl die Risse in Bögen verlaufen. Die Breite der Risse ist im allgemeinen größer als bei O.

Bei Reißbild Nr. 3 (30 mval Na₂CO₃/100 g H-Ton) sind die Hauptinseln etwa doppelt so groß wie bei 1 und 2. Die Anzahl der Risse tritt stark zurück. Dafür sind sie jedoch sehr lang durchgehend. Man erkennt sehr deutlich, daß häufig breitere Risse parallel verlaufen und sich wie bei 2 senkrecht an lange gebogene Risse anschließen. Man kann drei Abstufungen der Reißbreiten und Reißlängen unterscheiden:

1. Lange durchgehende breite gebogene Hauptrisse,
2. weniger breite kürzere Risse, die mit den Hauptrissen die Hauptinseln bilden und
3. feine dünne Risse, die die Hauptinseln noch unterteilen.

Versuchsreihe III Behandlungen mit Na_2CO_3



O-Behandlung
mit reinem Wasser

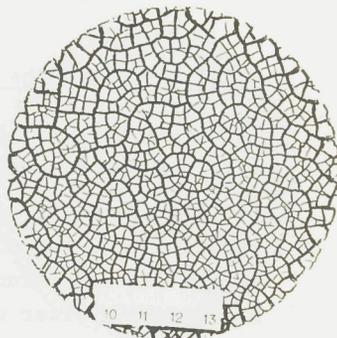


Bild 1 Behandlung mit
10 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

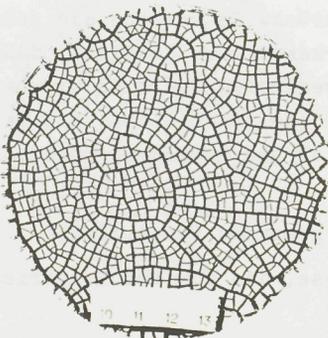


Bild 2 Behandlung mit
20 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

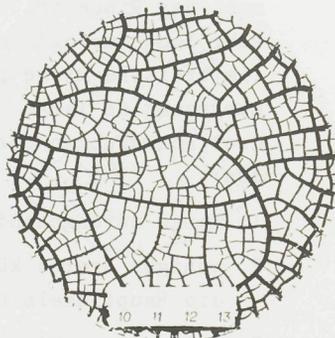


Bild 3 Behandlung mit
30 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

Versuchsreihe III Behandlungen mit Na_2CO_3

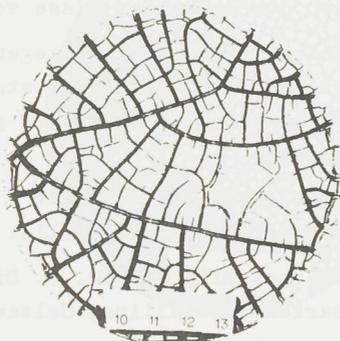


Bild 4 Behandlung mit
50 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

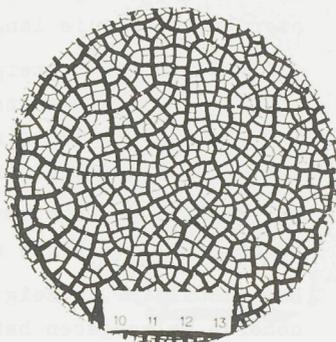


Bild 5 Behandlung mit
100 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

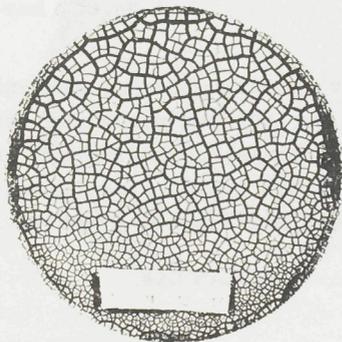


Bild 6 Behandlung mit
200 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

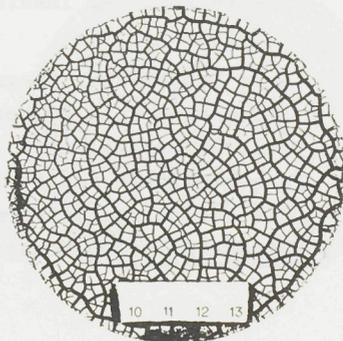


Bild 7 Behandlung mit
400 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton

Dieser Vorgang ist bei Rißbild Nr. 4 (50 mval $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g H-Ton) noch verstärkt und erreicht seine Spitze in dieser Behandlung. Die Hauptinseln sind noch größer als bei Nr. 3. Die Rißzahl ist geringer, die Risse aber dafür breiter. Auch hier herrschen die langen glatten durchgehenden Risse vor.

Bei Rißbild Nr. 5 steigt die Zahl der großen Risse gegenüber 1 - 4. Die Gesamtzahl der Risse nimmt ebenfalls stark zu. Die Hauptinseln sind kleiner geworden, aber wieder geteilt durch die kleineren Nebenrisse.

Bei Rißbild Nr. 6 nimmt die Rißzahl noch mehr zu. Die Durchmesser der Risse sinken, die der Inseln ebenfalls.

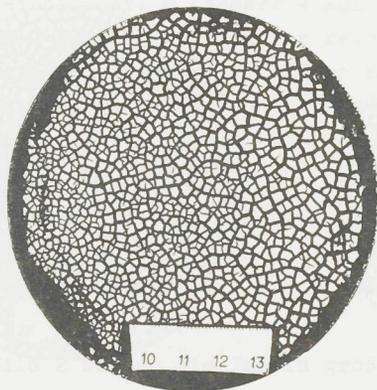
Das Rißbild Nr. 7 zeigt ein ähnliches Bild wie Nr. 1. Die höheren Salzzugaben haben zu starken kristallinen Salzausblühungen geführt.

Modellversuchsreihe IV - MgCl_2

Bei den Rißbildern 1 bis 6 erkennt man bei diesem Modellversuch einen deutlichen Unterschied zu den Bildern der bisher beschriebenen Versuchsreihen. Man erkennt hier ein System fein verästelter kurzer schmaler Risse, die unregelmäßig verzweigen und am Ende meist spitz zulaufen. Ihre Ränder sind fast durchweg gezackt. Die Inseln sind mehr oder weniger abgerundet und zeigen nicht die klare und glatte Form der Inseln wie sie besonders bei Na_2CO_3 hervortreten.

Ihre Durchmesser liegen relativ niedrig. Zusammenhängende Risse sind kaum zu beobachten. Nur bei den niedrigen Konzentrationen (1 u. 2) kann man noch Ähnlichkeiten mit anderen Bildern feststellen. Die Risse lassen aber bereits die schöne glatte Form vermissen. Bei Rißbild 7 treten starke Salzausblühungen auf.

Versuchsreihe IV Behandlungen mit $MgCl_2$



0-Behandlung
mit reinem Wasser

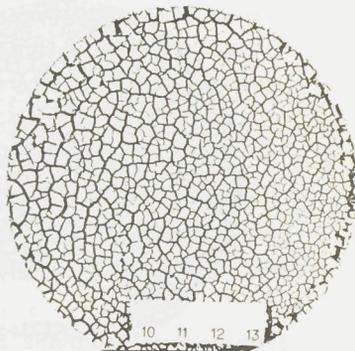


Bild 1 Behandlung mit
10 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton

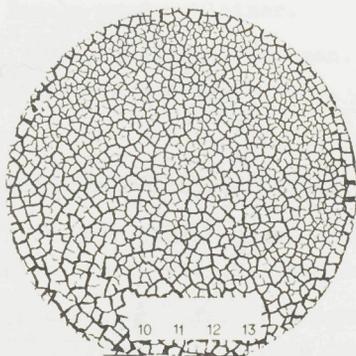


Bild 2 Behandlung mit
20 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton

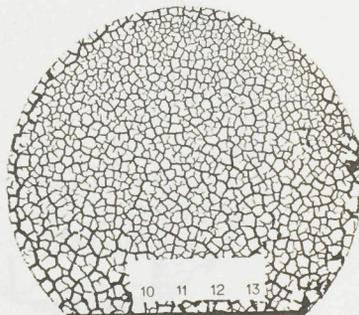


Bild 3 Behandlung mit
30 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton

Versuchsreihe IV Behandlungen mit $MgCl_2$

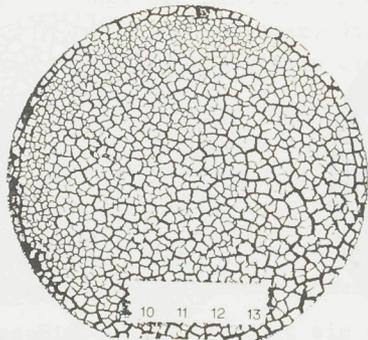


Bild 4 Behandlung mit
50 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton

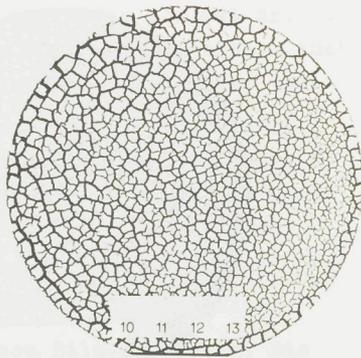


Bild 5 Behandlung mit
100 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton

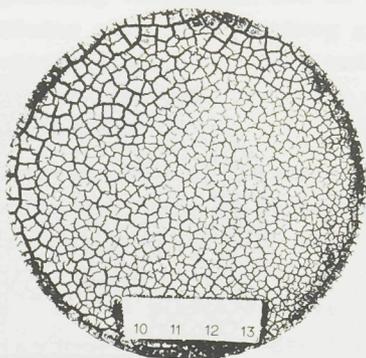


Bild 6 Behandlung mit
200 mval $MgCl_2$ /100 H-Ton

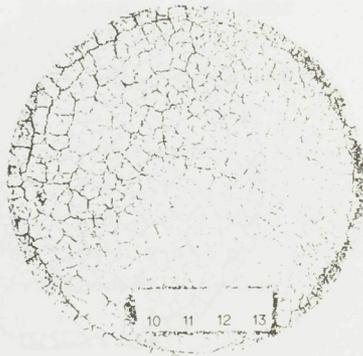


Bild 7 Behandlung mit
400 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton

Modellversuch V - Behandlungen mit $MgCl_2$ in Gegenwart von KOH

Das Reißbild Nr. 0 (Wasser + KOH) zeigt im Vergleich zur anderen 0-Behandlung (mit nur reinem Wasser) schmalere weniger gradlinige Risse auf. Hier sind die Inseln mehr abgerundet. Man kann die Hauptrisse von den Nebenrissen schwer unterscheiden.

Bei Reißbild 1 (10 mval/100 g Ton + KOH Zugabe) ist ein nicht ganz deutlicher Unterschied gegenüber 0-KOH-Behandlung zu sehen. Die Inseln sind schärfer ausgeprägt, und die Hauptrisse kann man leichter von den Nebenrissen unterscheiden.

Ab Bild 2 werden die Inseln größer und schärfer abgegrenzt; die Risse werden breiter und gradliniger. Man kann hier wieder die Hauptrisse von den Nebenrissen deutlich unterscheiden. Die folgenden Bilder 3 - 7 gleichen in ihrer Ausbildung mehr den Reihen I und II als der gleichen Reihe ohne KOH.

Bei Bild 4 ist diese Tendenz weiter verstärkt. Die Hauptrisse sind die breitesten dieser Reihe, und die Inseln sind am größten. Sie sind auch scharfkantiger geworden.

Bei den Bildern 5 und 6 nimmt die Breite der Risse ab und die Inseln werden kleiner.

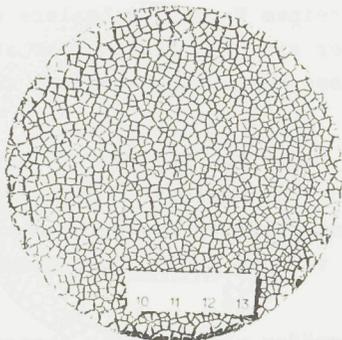
Bild 7 zeigt Salzausblühungen. Man kann aber noch deutliche schmalere Risse erkennen.

Modellversuchsreihe VI - $MgSO_4$

Die Reißbilder dieser Reihe sind durch breite glatte Risse gekennzeichnet, wie sie auch der Reihe II eigen sind.

Der Unterschied zwischen Hauptrissen und Nebenrissen tritt deutlich hervor, so daß man nur zwei Abstufungen erkennen kann; Hauptrisse bilden Hauptinseln, die durch Nebenrisse unterteilt sind.

Versuchsreihe V Behandlung mit $MgCl_2 + KOH$



0-Behandlung mit
reinem Wasser
+ KOH

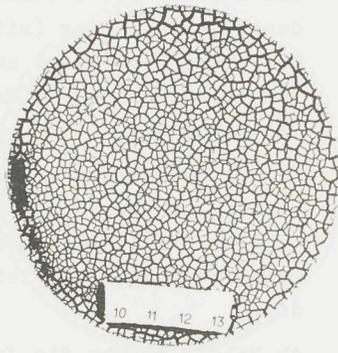


Bild 1 Behandlung mit
10 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+KOH

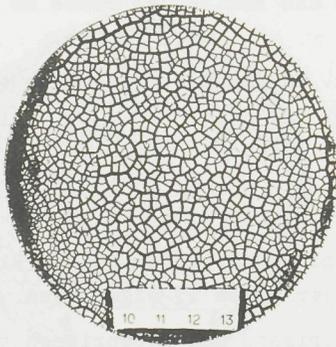


Bild 2 Behandlung mit
20 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+ KOH

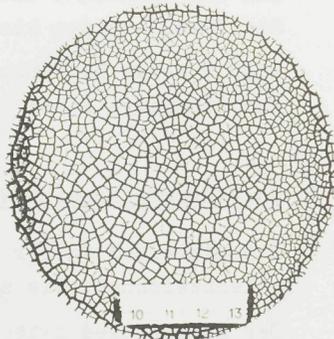


Bild 3 Behandlung mit
30 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+ KOH

Versuchsreihe V Behandlungen mit $MgCl_2$ +KOH

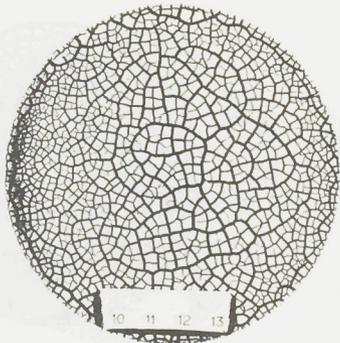


Bild 4 Behandlung mit
50 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+ KOH

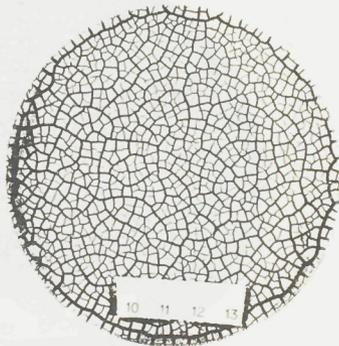


Bild 5 Behandlung mit
100 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+ KOH

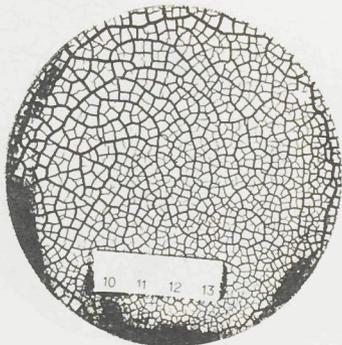


Bild 6 Behandlung mit
200 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+ KOH

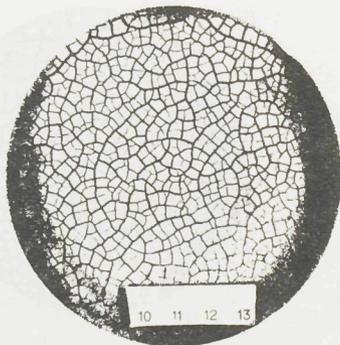
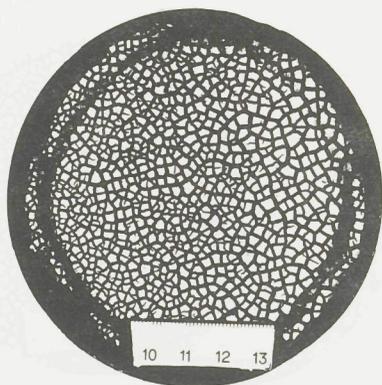


Bild 7 Behandlung mit
400 mval $MgCl_2$ /100 g H-Ton
+ KOH

Versuchsreihe VI Behandlungen mit $MgSO_4$



0-Behandlung
mit reinem Wasser

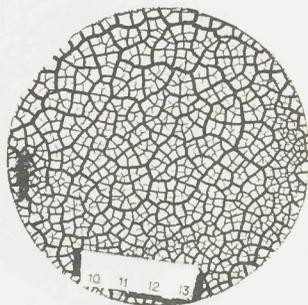


Bild 1 Behandlung mit
10 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton

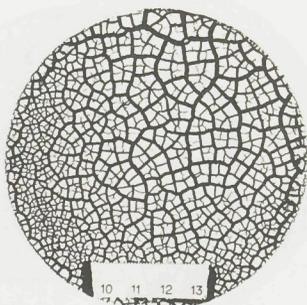


Bild 2 Behandlung mit
20 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton

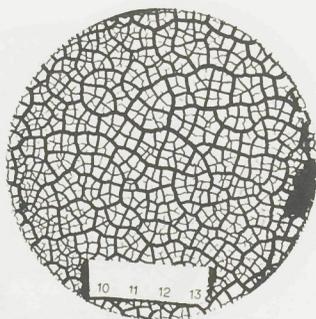


Bild 3 Behandlung mit
30 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton

Versuchsreihe VI Behandlungen mit $MgSO_4$

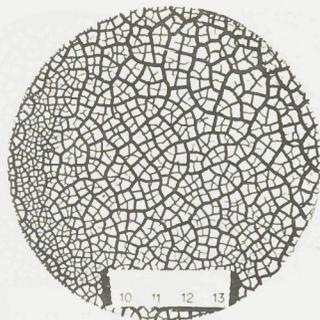


Bild 4 Behandlung mit
50 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton

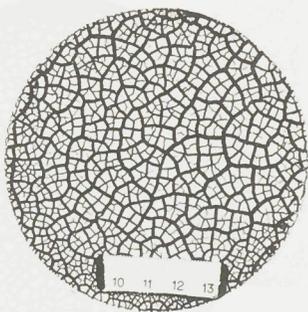


Bild 5 Behandlung mit
100 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton

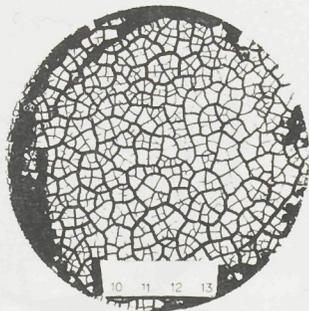
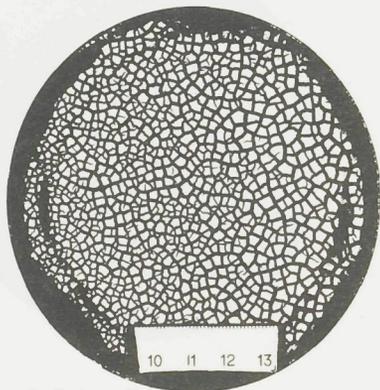


Bild 6 Behandlung mit
200 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton



Bild 7 Behandlung mit
400 mval $MgSO_4$ /100 g H-Ton

Versuchsreihe VII Behandlungen mit CaCl_2



0-Behandlung
mit reinem Wasser

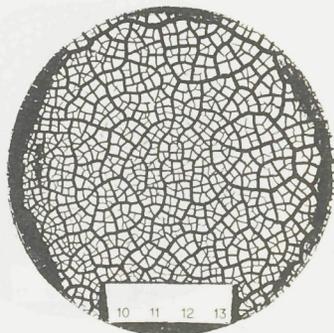


Bild 1 Behandlung mit
10 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

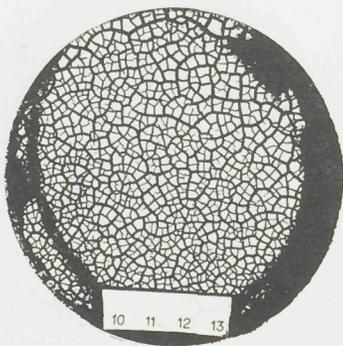


Bild 2 Behandlung mit
20 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

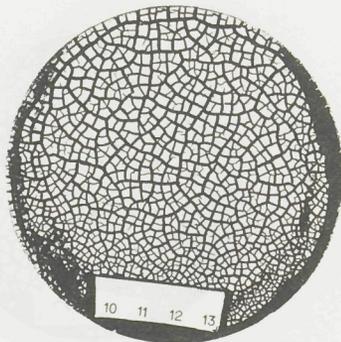


Bild 3 Behandlung mit
30 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

Versuchsreihe VII Behandlungen mit CaCl_2

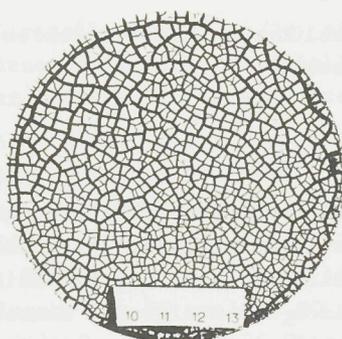


Bild 4 Behandlung mit
50 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

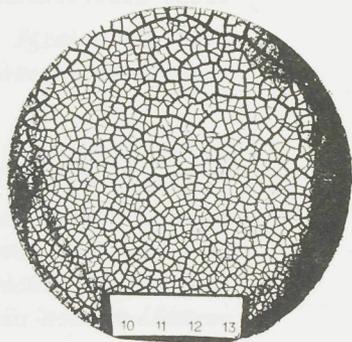


Bild 5 Behandlung mit
100 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

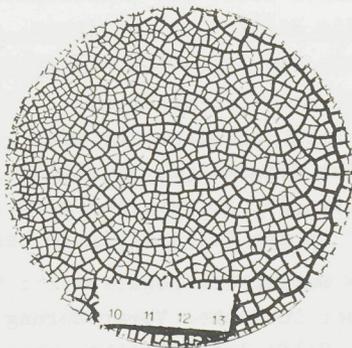


Bild 6 Behandlung mit
200 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

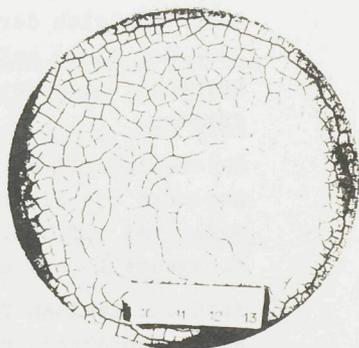


Bild 7 Behandlung mit
400 mval CaCl_2 /100 g H-Ton

In Nr. 6 zeigt sich das gleiche Bild, aber man stellt eine Marmorierung der Inseln fest. Das ist durch unterschiedliche Austrocknung bedingt.

Das Bild 7 zeigt Salzausblühungen, infolgedessen werden Risse oder Inseln überdeckt.

Modellversuchsreihe VII - CaCl_2

Auch in dieser Reihe bilden sich scharfkantige gradlinige Risse aus, die an die Anfangsglieder der Reihe II erinnern. Die Rißbreiten sind geringer als bei Reihe VI und verändern sich unwesentlich mit steigenden Konzentrationen. Man kann aber wieder eine dreistufige Einteilung der Risse vornehmen.

Bei Nr. 7 treten die Ausblühungen auf, aber hier weniger stark. Daher erkennt man noch sehr kleine Risse und wenige deutliche Inseln.

2.62 Quantitative Auswertung der Rißbilder

Im Folgenden werden die Rißbilder quantitativ betrachtet. Beim Vergleich der Rißbilder fällt die unterschiedliche Zahl der Risse auf. Um die Rißzahl zu bestimmen, sind zwei Methoden verwendet worden, die zu gleichen Ergebnissen führten.

Im ersten Fall wird die Zahl der Risse für vier gleiche Strecken (je 20 mm auf der Originalplatte mit Hilfe des Maßstabs) auf den Negativen der Fotografien mikroskopisch festgestellt und auf 100 mm der Originalplatte berechnet.

Nach der zweiten Methode wurden die Negative mit Hilfe eines Projektors bei einer 10-fachen Vergrößerung auf eine Leinwand projeziert. Mit Hilfe des Maßstabs wurde die Rißzahl für vier gleiche Strecken von je 20 cm (entsprechend 2 cm auf der Originalplatte) festgestellt und auf den Ge-

samtdurchmesser der Originalplatte berechnet. Die Rißzahl für den Gesamtdurchmesser wurde jeweils zweimal festgestellt.

Aus den Darstellungen Nr. 24/26 sind die Ergebnisse der verschiedenen Rißbilder der Modellversuche und der Rißbilder der Bodenproben zu entnehmen.

Wie aus den Darstellungen 24, 25 und 26 zu ersehen ist, haben alle Kurven der Modellversuche das Minimum ihrer Rißzahl bei Zugabe von 50 mval Salz je 100 g H-Ton erreicht. Die Minima der einzelnen Versuchsreihen sind verschieden. Die geringste Rißzahl liegt bei Versuchsreihe III mit Zugabe von 50 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton vor (Darstellung 26). Es sind nur 20 Risse.

Die Kurven des Natriumsulfats und die des Magnesiumsulfats zeigen ähnlichen Verlauf, desgleichen auch die Kurven der Chloride des Magnesiums mit und ohne KOH-Zusatz mit dem Unterschied, daß bei Na_2SO_4 und $\text{MgCl}_2 + \text{KOH}$ nach dem Anstieg der Rißzahl ab 50 mval/100 g H-Ton eine Zunahme bis 200 mval/100 g H-Ton zu bemerken ist und dann ein Rückgang erfolgt, während bei MgCl_2 und MgSO_4 der Abfall bereits bei 100 mval/100 g H-Ton einsetzt.

Die Rißzahl bei der Zugabe von Chloridsalzen war immer höher als die der anderen Salze.

Eine Zunahme der Rißzahl bei hohen Konzentrationen ist bei CaCl_2 festzustellen. Bei NaCl und Na_2CO_3 bleibt die Rißzahl gleich. Die Salzausblühungen in den Rissen sind wohl dafür verantwortlich, daß bei den übrigen zugegebenen Salzen ein Abfall der Rißzahl eintritt.

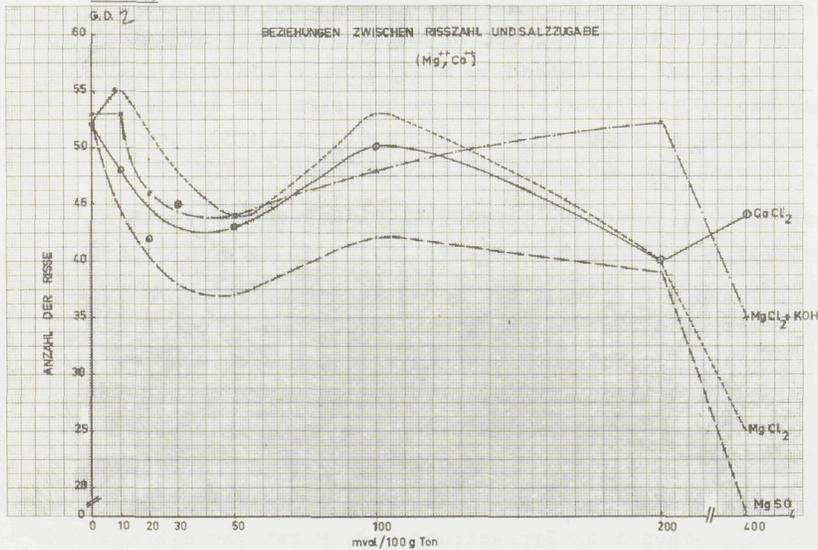
Ferner ist sehr deutlich zu sehen, daß bei dem alkalischen Na_2CO_3 die Rißzahl am niedrigsten liegt. Wie aus dieser Kurve zu ersehen ist (Darstellung 24), nimmt die Rißzahl bei zunehmenden Salzzugaben bis 50 mval/100 g H-Ton sehr rasch ab, um dann auch schnell wieder zuzunehmen.

Bei den Bodenproben, die einen hohen Na-Anteil im Komplex haben, ist die Rißzahl sehr klein (Darstellung 26).

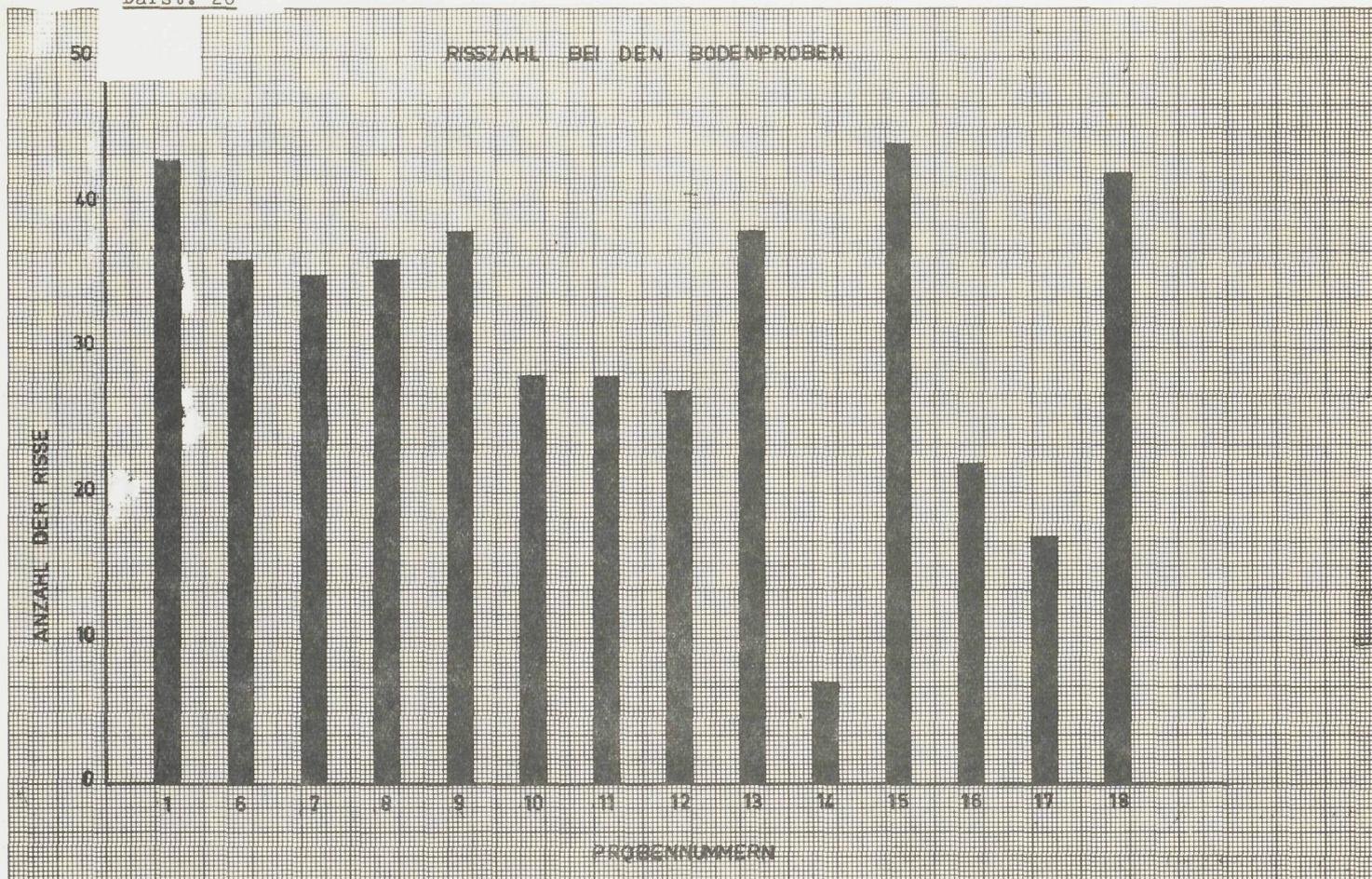
Darst. 24



Darst. 25



darst. 26



In Probe 14 (Profil VI) liegt die RiBzahl am niedrigsten, es sind nur 7 Risse vorhanden, wobei der Na-Anteil 60,6 % am Komplex beträgt. Auch bei Probe 17 (Profil VII) ist die RiBzahl klein. Bei Probe 15 (Profil VI) liegt der Na-Anteil am Komplex sehr hoch (75,3 %), trotzdem ist die RiBzahl nicht so niedrig wie es zu erwarten wäre. Aber durch die starken Salzausblühungen ist es wie bei den Modellversuchen bei Na_2CO_3 erklärlich.

Die verschiedenen RiBbilder sind nicht nur durch die RiBzahlen sondern auch durch die RiBbreiten charakterisiert. Es wurde deshalb auch gleichzeitig mit der RiBzahl die RiBbreite bestimmt. Die RiBbreiten wurden in 6 verschiedene RiBbreitengruppen eingeteilt:

Gruppe	1	Risse weniger als	0,1 - 0,2 mm
"	2	" "	" 0,3 - 0,4 mm
"	3	" "	" 0,5 - 0,6 mm
"	4	" "	" 0,7 - 0,8 mm
"	5	" "	" 0,9 - 1,0 mm
"	6	" breiter als	1,0 mm

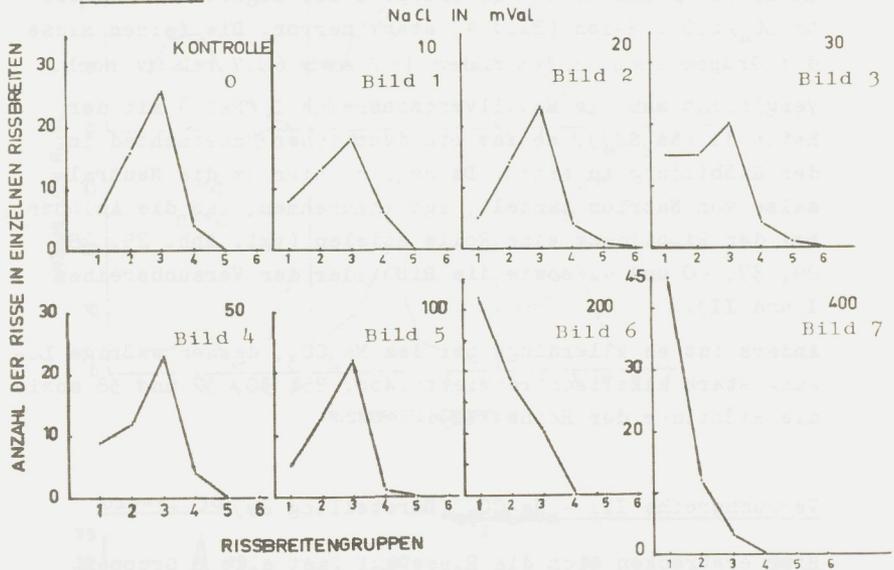
Die RiBbreite ergab sich mit Hilfe des im Bild sichtbaren Maßstabs bei beiden Methoden der RiBzahlbestimmung. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind den Darstellungen 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 und 36 zu entnehmen.

Die graphischen Darstellungen zeigen die Anzahl der Risse in den einzelnen RiBbreitengruppen.

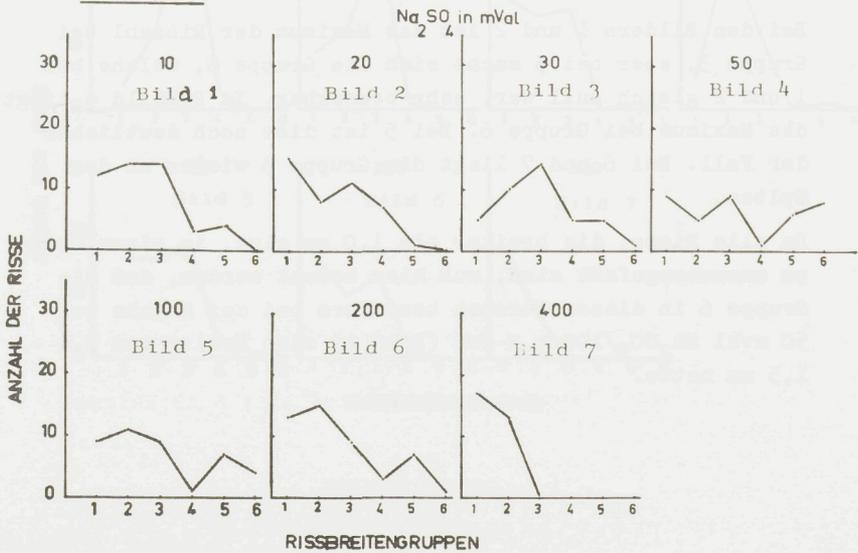
Bei Versuchsreihe I (Darst. 27) erstrecken sich die Risse auf die ersten 4 Gruppen, nur bei den Bildern 2 u.3 (20,30 mval/100 g H-Ton) ist noch die Gruppe 5 vertreten, und bei den Bildern 6 u.7 sind nur die ersten 3 Gruppen vertreten. Das Maximum der RiBzahl liegt bei RiBbreitengruppe 3. Auch hier treten Störungen durch die Salzausblühungen bei Zugaben von 200 und 400 mval NaCl/100 g H-Ton auf.

Es ist deutlich zu sehen, daß die Gruppe 5 sehr schwach bei den Bildern 2 u.3 vertreten ist, während die sehr breiten Risse der Gruppe 6 gar nicht vorhanden sind.

Darst. 27



Darst. 28



Versuchsreihe II - Na₂SO₄ (Darstellung 28)

In dieser Reihe tritt die Gruppe 6 bei Zugabe von 50 mval Na₂SO₄/100 g H-Ton (Bild 4) stark hervor. Die feinen Risse der Gruppe 1 sind in den Bildern 1u.2 sowie 6u.7 relativ hoch.

Vergleicht man die Modellversuchsreihe I (NaCl) mit der Reihe II (Na₂SO₄), so ist ein deutlicher Unterschied in der Rißbildung zu sehen. Da es sich hier um die Neutralsalze von Natrium handelt, ist anzunehmen, daß die Anionen bei der Rißbildung eine Rolle spielen (vgl. Abb. 25, 28, 29, 37, 40 und 41 sowie die Rißbilder der Versuchsreihen I und II).

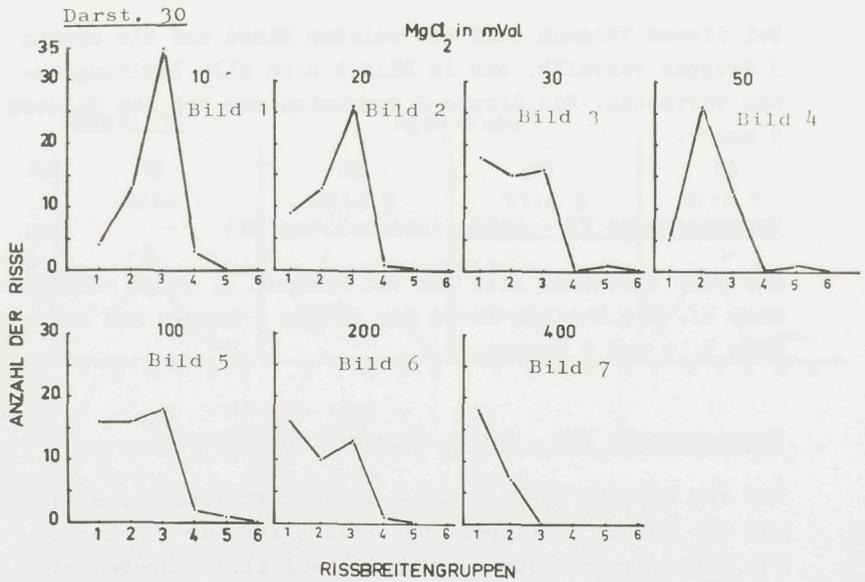
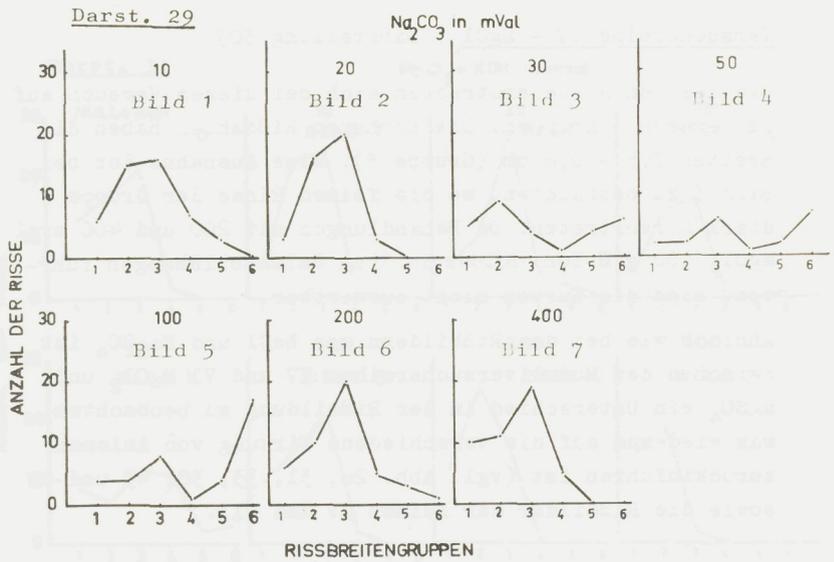
Anders ist es allerdings bei dem Na₂CO₃, dessen wäßrige Lösung stark alkalisch reagiert (Abb. 25, 30, 37 und 38 sowie die Rißbilder der Reihe III).

Versuchsreihe III - Na₂CO₃ (Darstellung 29)

Hier erstrecken sich die Risse auf fast alle 6 Gruppen. Eine Ausnahme bilden die Bilder 2 und 6, wo nur die ersten 4 Gruppen vertreten sind und Bild 1, wo die Gruppe 6 fehlt.

Bei den Bildern 1 und 2 ist das Maximum der Rißzahl bei Gruppe 3, aber bei 3 macht sich die Gruppe 6, welche bei 1 und 2 gleich null war, sehr bemerkbar. Im Rißbild 4 liegt das Maximum bei Gruppe 6. Bei 5 ist dies noch deutlicher der Fall. Bei 6 und 7 liegt die Gruppe 3 wieder an der Spitze.

Da alle Risse, die breiter als 1,0 mm sind, in einer Gruppe zusammengefaßt sind, muß hier betont werden, daß die Gruppe 6 in diesem Versuch besonders bei der Zugabe von 50 mval Na₂CO₃/100 g H-Ton (Bild 4) eine Breite von 1,4 - 1,5 mm hatte.



Versuchsreihe IV - $MgCl_2$ (Darstellung 30)

Die meisten Risse erstrecken sich bei diesem Versuch auf die ersten 3 Gruppen. Die höchsten Rißzahlen haben die Breiten 0,5 - 0,6 mm (Gruppe 3). Eine Ausnahme ist bei Bild 3 zu beobachten, wo die feinen Risse der Gruppe 1 stark hervortreten. Da Behandlungen mit 200 und 400 mval $MgCl_2/100$ g H-Ton (Bilder 6u.7) zu Salzausblühungen führten, sind die Kurven nicht auswertbar.

Ähnlich wie bei den Rißbildern von $NaCl$ und Na_2SO_4 ist zwischen den Modellversuchsreihen IV und VI $MgCl_2$ und $MgSO_4$ ein Unterschied in der Rißbildung zu beobachten, was wiederum auf die verschiedene Wirkung von Anionen zurückzuführen ist (vgl. Abb. 26, 31, 33, 38, 43 und 45 sowie die Rißbilder der Reihen IV und VI).

Versuchsreihe V - $MgCl_2 + KOH$ (Darstellung 31)

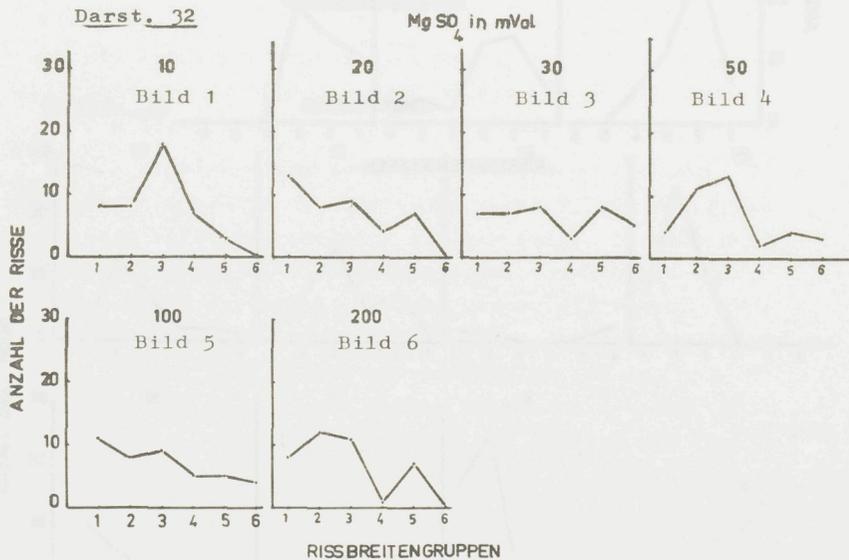
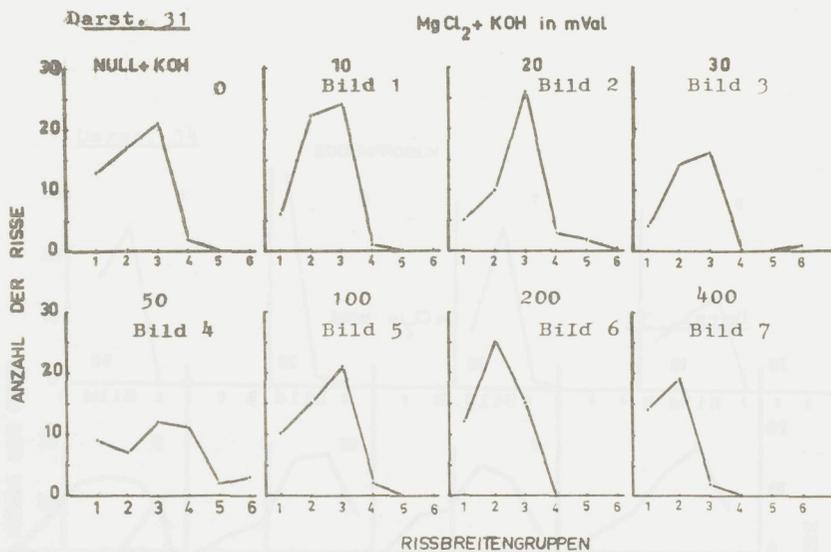
Bei diesem Versuch sind die meisten Risse auf die ersten 3 Gruppen verteilt, nur in Bild 4 sind alle Breitengruppen vertreten. Die Gruppe 6 erscheint nur bei den Bildern 3 und 4.

Versuchsreihe VI - $MgSO_4$ (Darstellung 32)

Ein etwa ähnliches Bild wie bei Versuch II zeigt auch Versuch VI. Die breiten Risse der Gruppe 6 kommen bei den Bildern 3, 4 und 5 hervor.

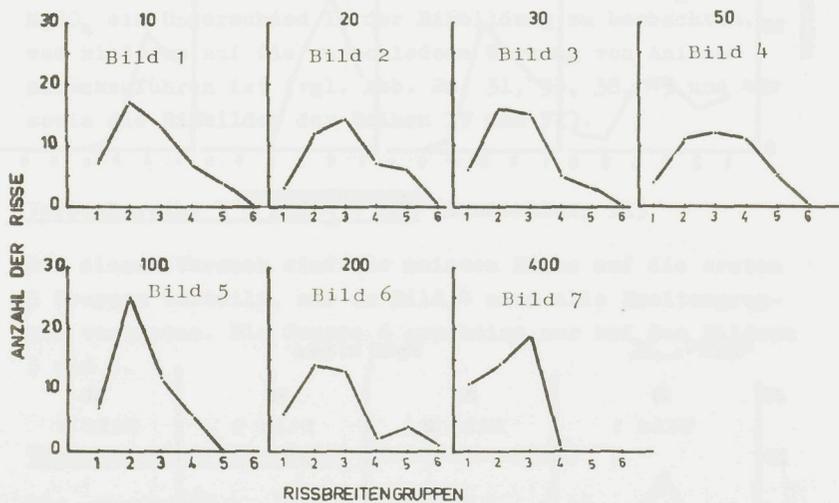
Versuchsreihe VII - $CaCl_2$ (Darstellung 33)

Bei den Bildern 1, 2, 3 und 4 erstrecken sich die Risse auf die ersten 5 Gruppen, bei Bild 5 auf nur 4 Gruppen, bei 7 auf nur 3 Gruppen und bei 6 auf alle 6 Größenordnungen.

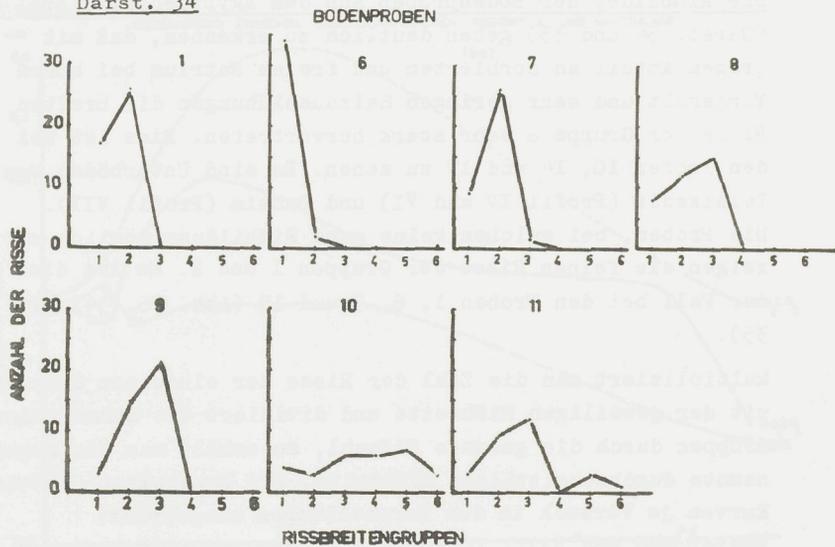


Darst. 33

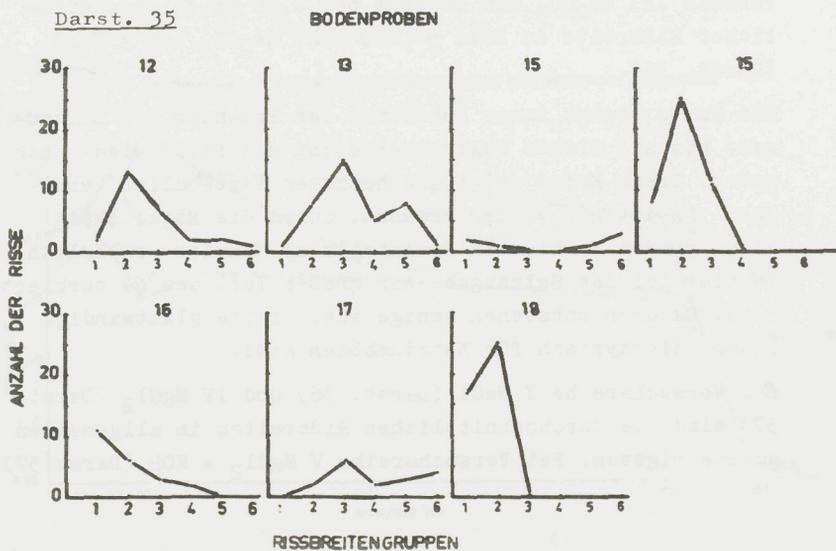
CaCl₂ in mVal



Darst. 34



Darst. 35



Bei den Bildern 1, 3, 5 und 6 ist die Gruppe 2 (0,3 - 0,4 mm) am stärksten vertreten. Bei den übrigen Bildern dominiert die Gruppe 3.

Die Rißbilder der Bodenproben aus dem ägyptischen Niltal (Darst. 34 und 35) geben deutlich zu erkennen, daß mit grossem Anteil an sorbiertem und freiem Natrium bei hohem Tongehalt und sehr geringen Salzausblühungen die breiten Risse der Gruppe 6 sehr stark hervortreten. Dies ist bei den Proben 10, 14 und 17 zu sehen. Es sind Unterböden von Talelkebir (Profil IV und VI) und Bahtim (Profil VII). Die Proben, bei welchen keine gute Rißbildung möglich war, zeigen die feinen Risse der Gruppen 1 und 2. Es ist dies der Fall bei den Proben 1, 6, 7 und 18 (Abb. 26, 34 und 35).

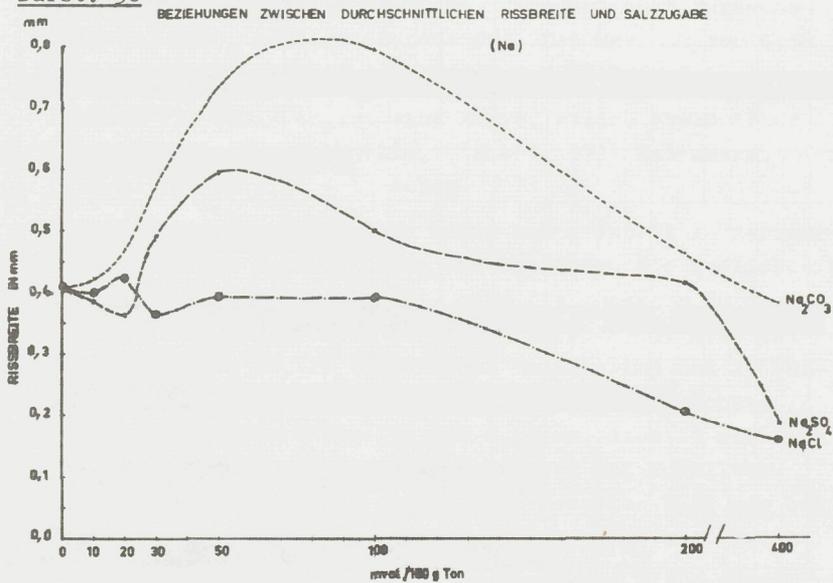
Multipliziert man die Zahl der Risse der einzelnen Gruppen mit der jeweiligen Rißbreite und dividiert die Summe aller Gruppen durch die gesamte Rißzahl, so erhält man die sogenannte durchschnittliche Rißbreite. Die Ergebnisse sind in Kurven je Versuch in den Darstellungen ausgedrückt (Darst. 36 und 37).

Wie aus den Darstellungen zu ersehen ist, zeigt die Kurve Versuch III Na_2CO_3 ein Maximum bei 0,78 mm durchschnittlicher Rißbreite in Bild 5 (100 mval Na_2CO_3 /100 g Ton) (Darst. 36).

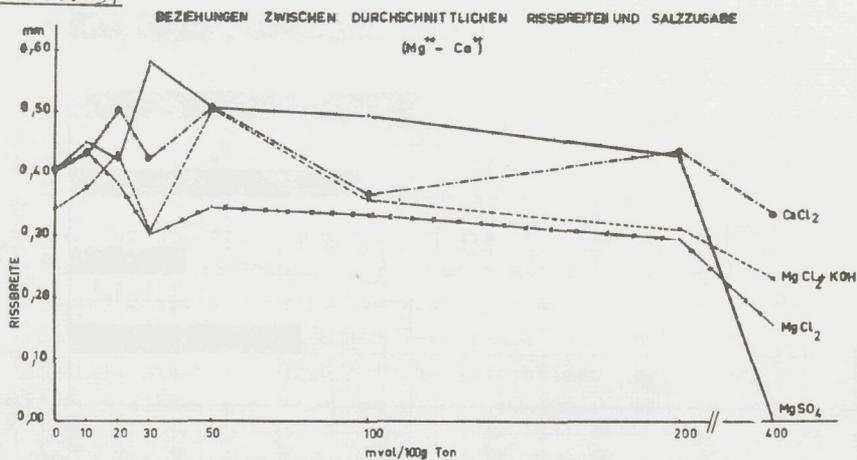
Die Kurve steigt immer höher mit der Erhöhung der Salzzugabe bis sie dieses Maximum erreicht und fällt wieder nach unten. Diese Kurve zeigt die höchsten Werte aller Versuche. Es ist wie vorher erwähnt, durch die Möglichkeit eines großen sorbierten Na-Anteils am Komplex erklärlich, da hier bei der Salzzugabe ein großer Teil des Na sorbiert wird. Dadurch entstehen wenige aber breite glattwandige Risse, die typisch für Natriumböden sind.

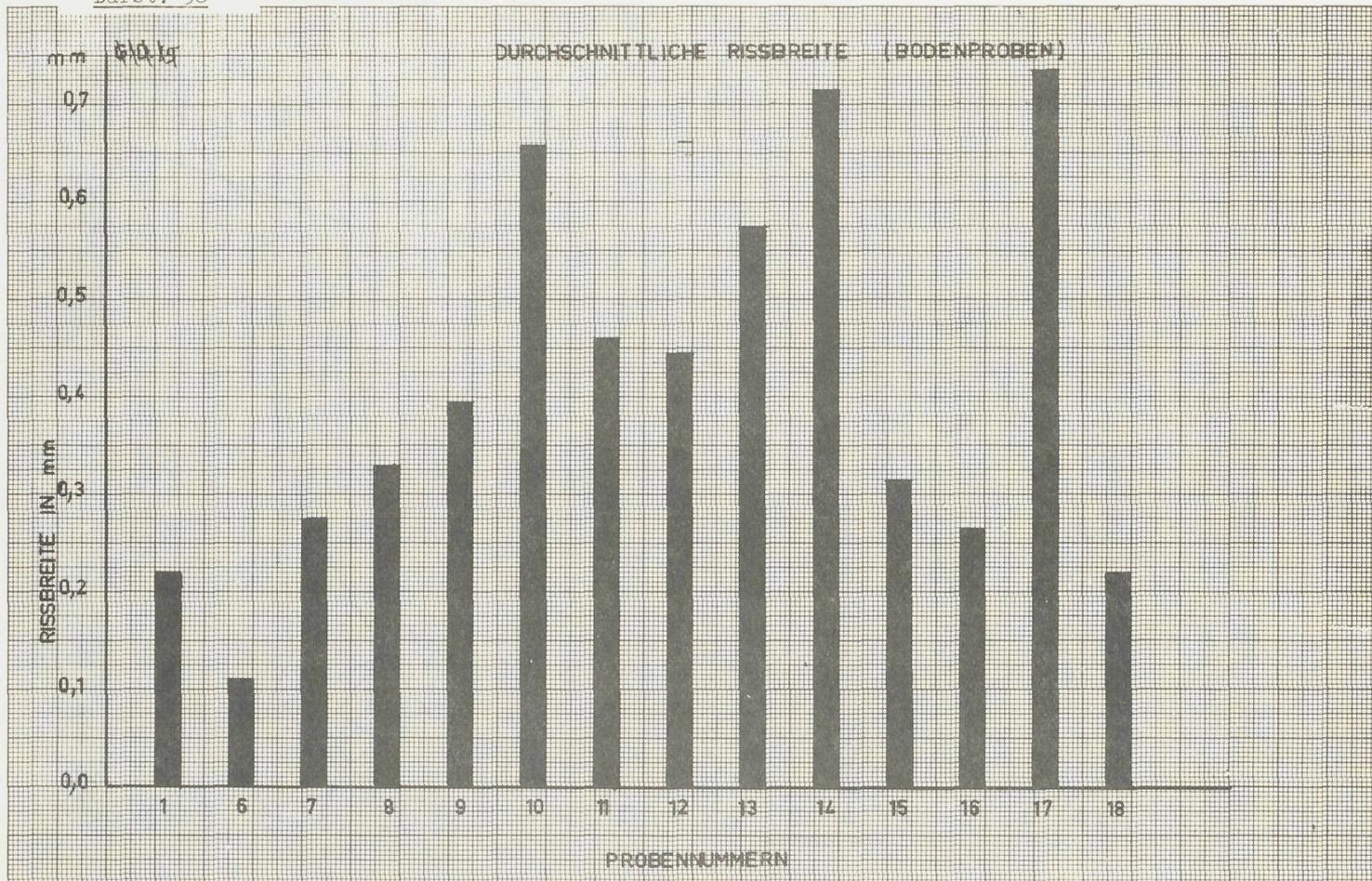
Bei Versuchsreihe I NaCl (Darst. 36) und IV MgCl_2 (Darst. 37) sind die durchschnittlichen Rißbreiten im allgemeinen am niedrigsten. Bei Versuchsreihe V $\text{MgCl}_2 + \text{KOH}$ (Darst. 37)

Darst. 36



Darst. 37





erreicht die Kurve durch die Anwesenheit des KOH einen höheren Verlauf und zeigt ein Maximum bei der Zugabe von 50 mval $MgCl_2/100$ g H-Ton.

Versuch II Na_2SO_4 zeigt die zweithöchste Kurve (Darst. 36). Hier liegt das Maximum von 0,6 mm bei Bild 4 (50 mval $Na_2SO_4/100$ g H-Ton). Eine ähnliche Kurve hat auch Versuchsreihe VI $MgSO_4$ gezeigt (Darst. 37). Das Maximum von 0,58 mm liegt aber bei Bild 3 (30 mval $MgSO_4/100$ g H-Ton).

Versuch VII $CaCl_2$ ergibt eine Kurve, welche etwas höher als bei $NaCl$ oder $MgCl_2$ liegt (Darst. 37). Ein Maximum von 0,51 mm ist im Bild 4 zu sehen.

Bei den Bodenproben, welche einen hohen Anteil an sorbierendem und freiem Natrium haben und bei denen die Möglichkeit zur guten Rißbildung besteht, sind die höchsten durchschnittlichen Rißbreiten zu sehen (Darst. 38). Dies ist bei den Proben 10, 14 (Unterböden Talelkebir) und 17 (Unterboden Bahtim) der Fall. Probe 17 zeigt die höchste durchschnittliche Rißbreite von 0,74 mm, dann 14 mit 0,71 mm. Wenn man dieses mit den Ergebnissen der Modellversuchsreihen vergleicht, ergibt sich dasselbe Bild wie bei Versuchsreihe III Na_2CO_3 (Darst. 36).

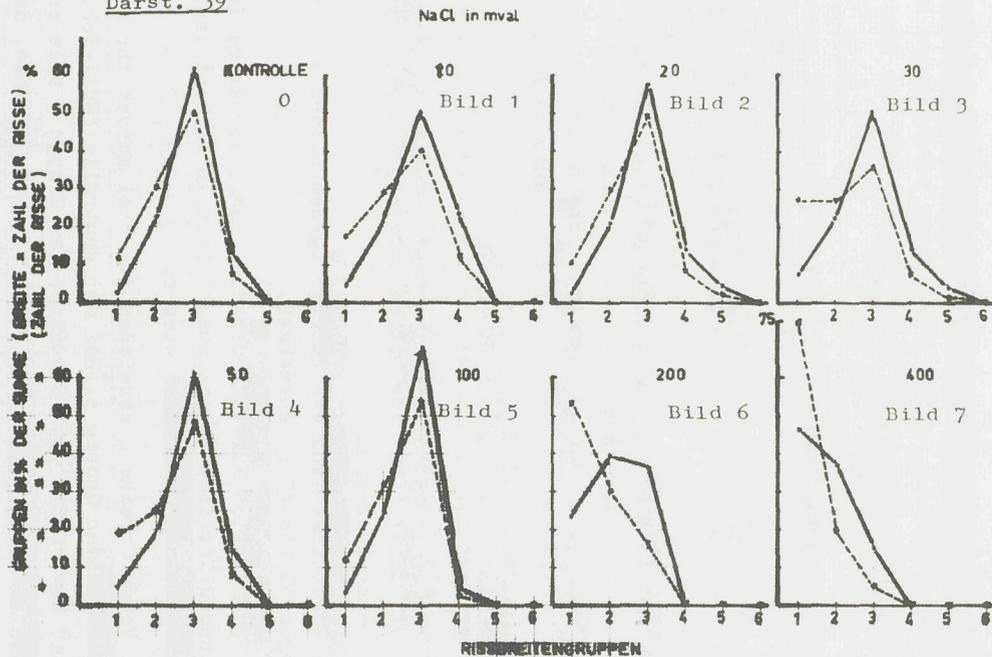
Ferner wird die Anzahl der Risse bei jeder Rißbreiten-Gruppe mit der jeweiligen Rißbreite multipliziert, diese Zahlen addiert und jede Rißbreitengruppe in Prozent dieser Summe ausgedrückt.

Die Ergebnisse sind den durchgezogenen Kurven der Darstellungen 39 bis 47 zu entnehmen.

Die punktierten Kurven geben die Anzahl der Risse der einzelnen Rißbreitengruppen, ausgedrückt in Prozent der Summe der Gesamtzahl der Risse wieder.

Bei Versuchsreihe I erreichen die zwei Kurven ihren Höhepunkt bei der Gruppe 3. Bei der Kontrolle (Null-Behandlung) übertrafen auch die Risse der Gruppe 3 alle anderen Gruppen. Die Bilder 6 und 7 zeigen eine Ausnahme, da die feinen Risse der Gruppe 1 und 2 in beiden Kurven infolge Salzausblühungen überwiegen (Darst. 39).

Darst. 39



Bei Versuchsreihe III Na_2CO_3 (Darst. 41) liegt das Maximum beider Kurven in den Bildern lu.2 bei der Gruppe 3, da das Natrium im Komplex noch nicht genügt, um ein Na-Bild zu formen. Auch bei den Bildern 6 und 7 erreichen die Risse der Gruppe 3 das Maximum beider Kurven. Hier sind die Salzausblühungen dafür verantwortlich.

Bei den Bildern 3, 4 und 5 gibt uns das sorbierte Natrium ein typisches Na-Rißbild, weil die sehr breiten Risse der Gruppe 6 über alle anderen Gruppen dominieren. Dies ist im Verlauf beider Kurven der Fall.

Bei Versuchsreihe II Na_2SO_4 (Darst. 40) erreichen die Risse der Gruppe 3 das Maximum in den Bildern 1, 2 und 3; nur bei Bild 2 dominieren die feinen Risse der Gruppe 1 bei den prozentualen Rißzahlen.

Bei dem Bild 4 (50 mval $\text{Na}_2\text{SO}_4/100$ g H-Ton) haben wir ein Bild, welches den Na-Typ zeigt. Hier herrschen die breiten Risse der Gruppe 6 in beiden Kurven vor.

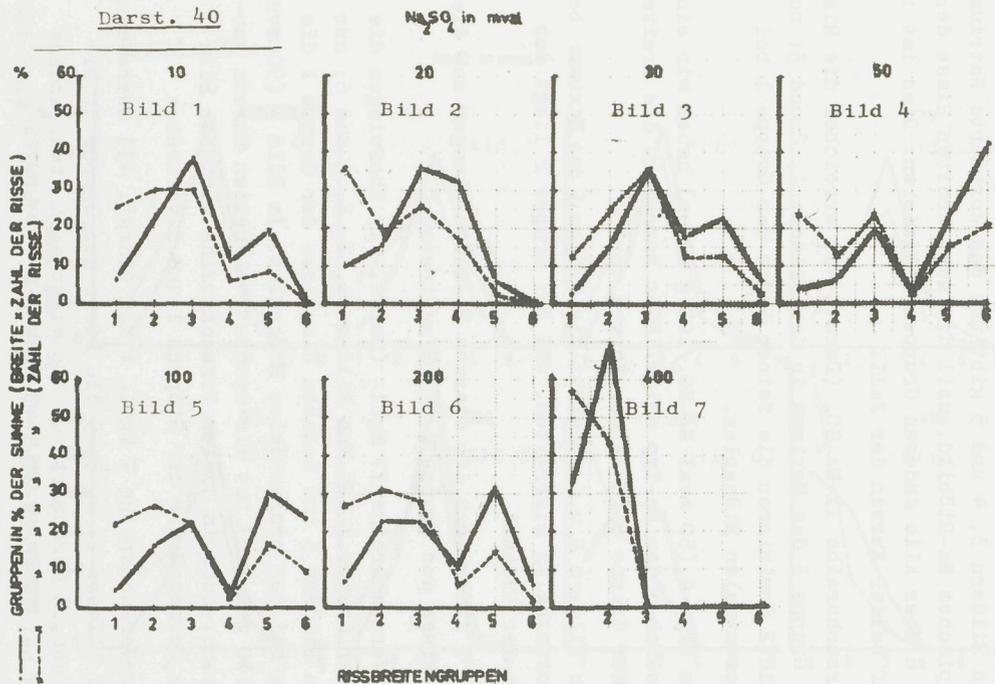
Bei den Bildern 5 u.6 erreicht die Gruppe 5 das Maximum bei den prozentualen Rißbreiten, und bei Gruppe 2 liegt das Maximum der Rißzahl.

Im Bild 7 sind durch die starken Salzausblühungen nur die feinen Risse der Gruppe 1 und 2 vertreten.

In der Versuchsreihe IV MgCl_2 (Darst. 42) überwiegen die Risse der Gruppe 3 bei den Bildern 1, 2, 3, 5 und 6; nur bei den Bildern 3 und 6 haben die Risse der Gruppe 1 die Führung bei den prozentualen Rißzahlen. Im Bild 4 (50 mval $\text{MgCl}_2/100$ g H-Ton) ist die Gruppe 2 in beiden Kurven vorherrschend. Auch in dieser Versuchsreihe sind bei Bild 7 nur die feinen Risse der Gruppen 1 und 2 vertreten

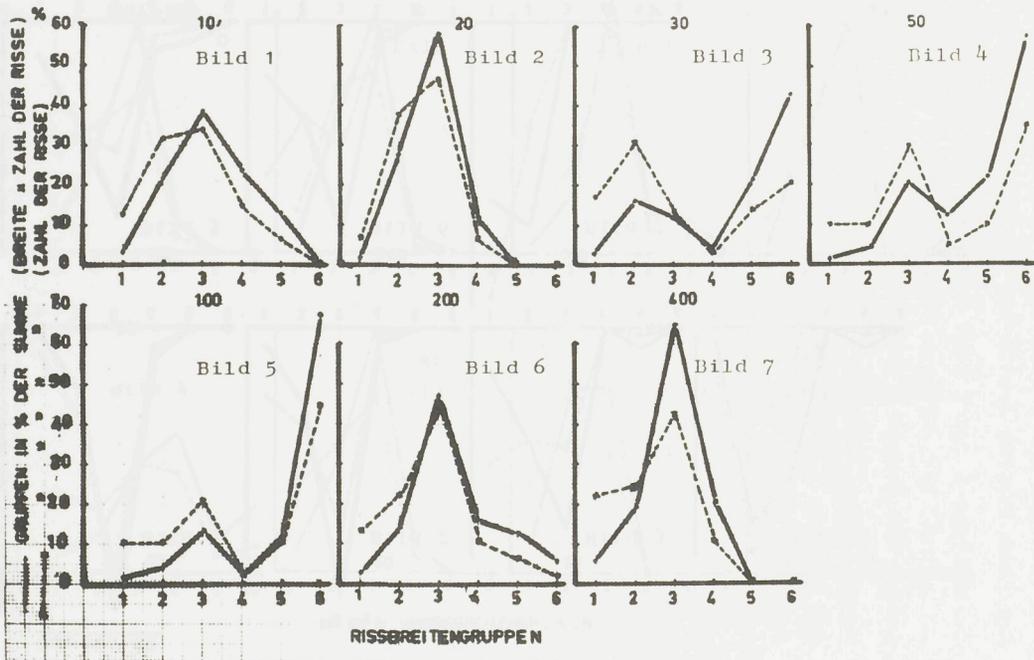
Bei der Versuchsreihe V $\text{MgCl}_2 + \text{KOH}$ (Darst. 43) überwiegen auf den Bildern 1, 2, 3, 5 die Risse der Gruppe 3. Die Salzzugabe in Gegenwart von KOH wirkt sich etwas anders aus als bei Versuchsreihe IV ohne KOH. Im Bild 3 sind die breiten Risse der Gruppe 6 zu erkennen. Sie betragen 2,2% der Gesamtzahl, aber 8,7% der gesamten Breite. Bei Bild 4

Darst. 40

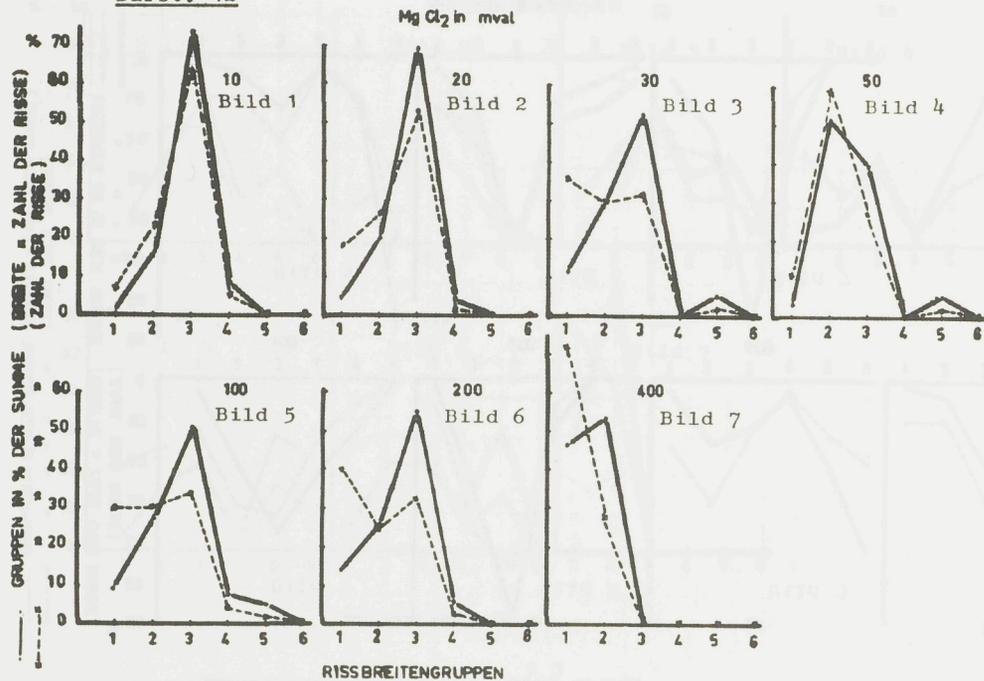


Darst. 41

NaCO₂ in mval

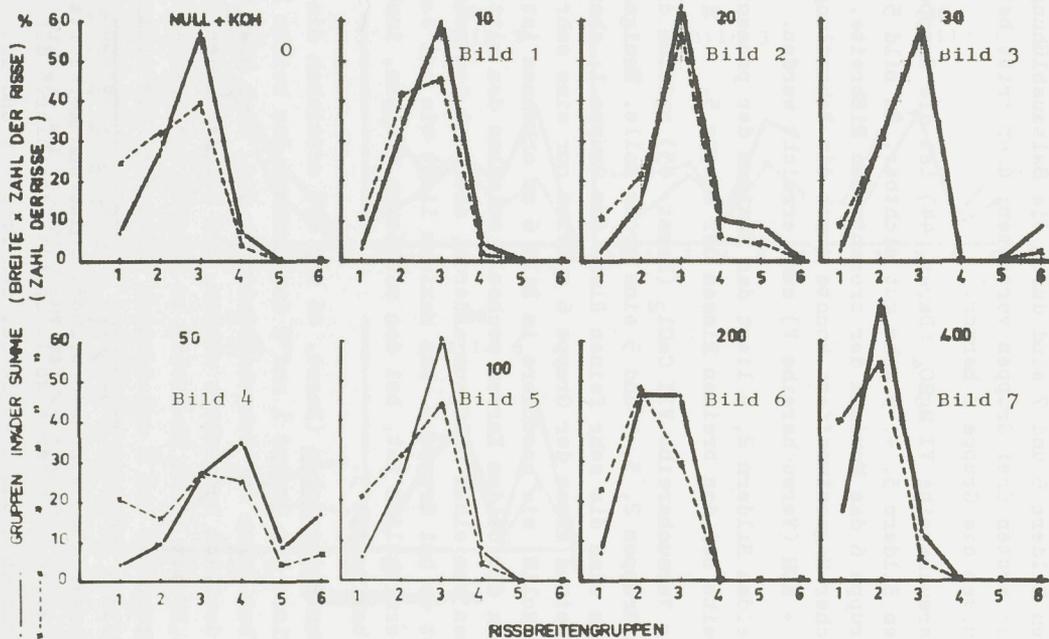


Darst. 42



Darst. 43

Mg Cl₂ → KOH in mval



sind sie noch bedeutsamer; sie betragen 6,8 % der Rißzahl und 16,3 der Rißbreite. In diesem Bild erreicht die Gruppe 3 das Maximum der prozentualen Zahlen, aber das Maximum der prozentualen Breite hat die Gruppe 4.

Bei den Bildern 6 und 7 sind durch die Salzausblühungen nur die ersten drei Gruppen vertreten; hier tritt bei beiden Kurven die Gruppe 2 hervor.

Bei Versuchsreihe VI $MgSO_4$ (Darst. 44) ist die Gruppe 6 auf den Bildern 3, 4, 5 sehr gut sichtbar. Im Bild 5 hat die Gruppe 6 das Maximum der prozentualen Rißbreite. Ein ähnlicher Magnesiumeffekt konnte durch die Behandlung mit $MgCl_2 + KOH$ (Versuchsreihe V) auch erreicht werden.

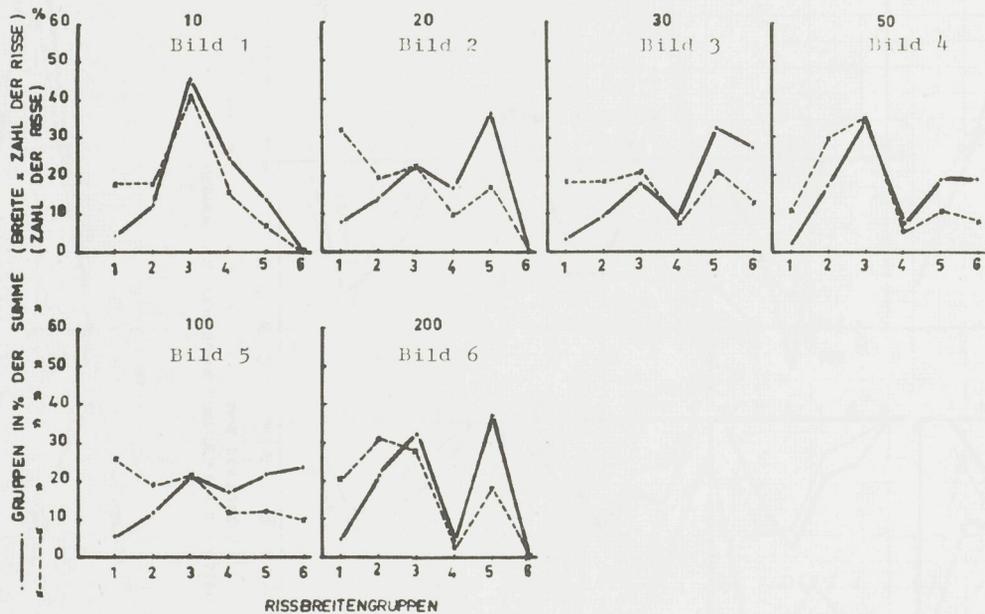
Bei beiden Bildern 2, 3 liegt das Maximum der prozentualen Rißbreite bei den breiten Rissen der Gruppe 5.

In der Versuchsreihe VII $CaCl_2$ (Darst. 45) spielen die mittleren Gruppen 2, 3, 4 und 5 eine große Rolle. Weniger bedeutsam sind die sehr feinen Risse der Gruppe 1; aber auch die breiten Risse der Gruppe 6 spielen nur eine sehr geringe Rolle, wie besonders im Bild 6 zu erkennen ist. Das Maximum der beiden Kurven wechselt zwischen den mittleren Gruppen von einem Bild zum anderen, aber bei den meisten bleibt es bei Gruppe 3. Das Maximum liegt wie aus den Bildern ersichtlich ist, bei den mittleren Gruppen, insbesondere bei Gruppe 3.

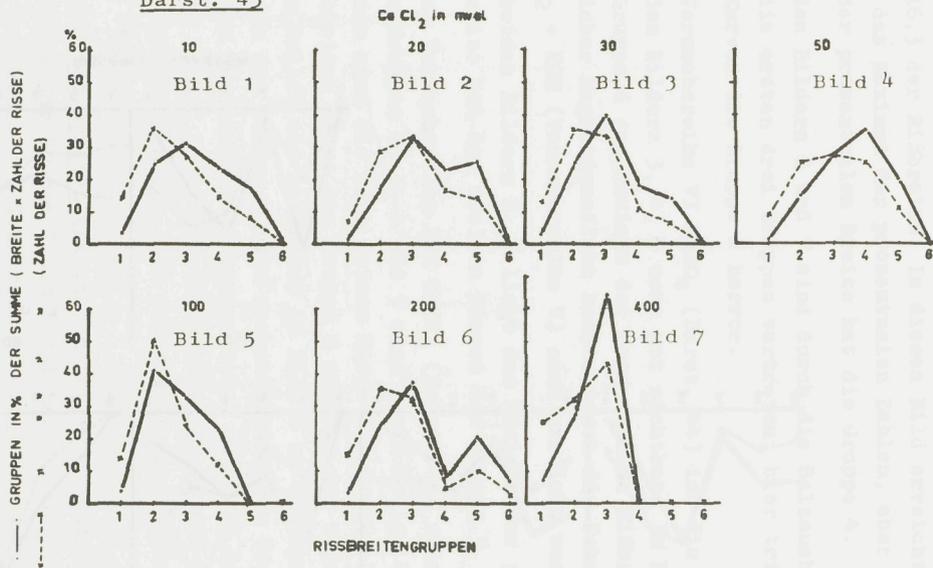
Bei den Bodenproben (Darst. 46 und 47) erreichen die feinen Risse der Gruppe 1 und 2 das Maximum der beiden Kurven, bei denen der Tongehalt niedrig ist. Auch hier kann sehr deutlich beobachtet werden, daß bei den Bodenproben 10,14,17 mit hohem Na-Anteil am Komplex die breiten Risse der Gruppen 5 und 6 das Maximum erreichen. Das stimmt mit dem Bild 4 (50 mval $Na_2CO_3/100$ g H-Ton) der Versuchsreihe II überein. Bei den Bodenproben, bei denen sorbiertes Natrium keine bedeutende Rolle spielt, dominieren die Risse der Gruppen 2 und 3 sowie bei den Proben 9 und 11.

Darst. 44

MgSO₄ in mg/ml



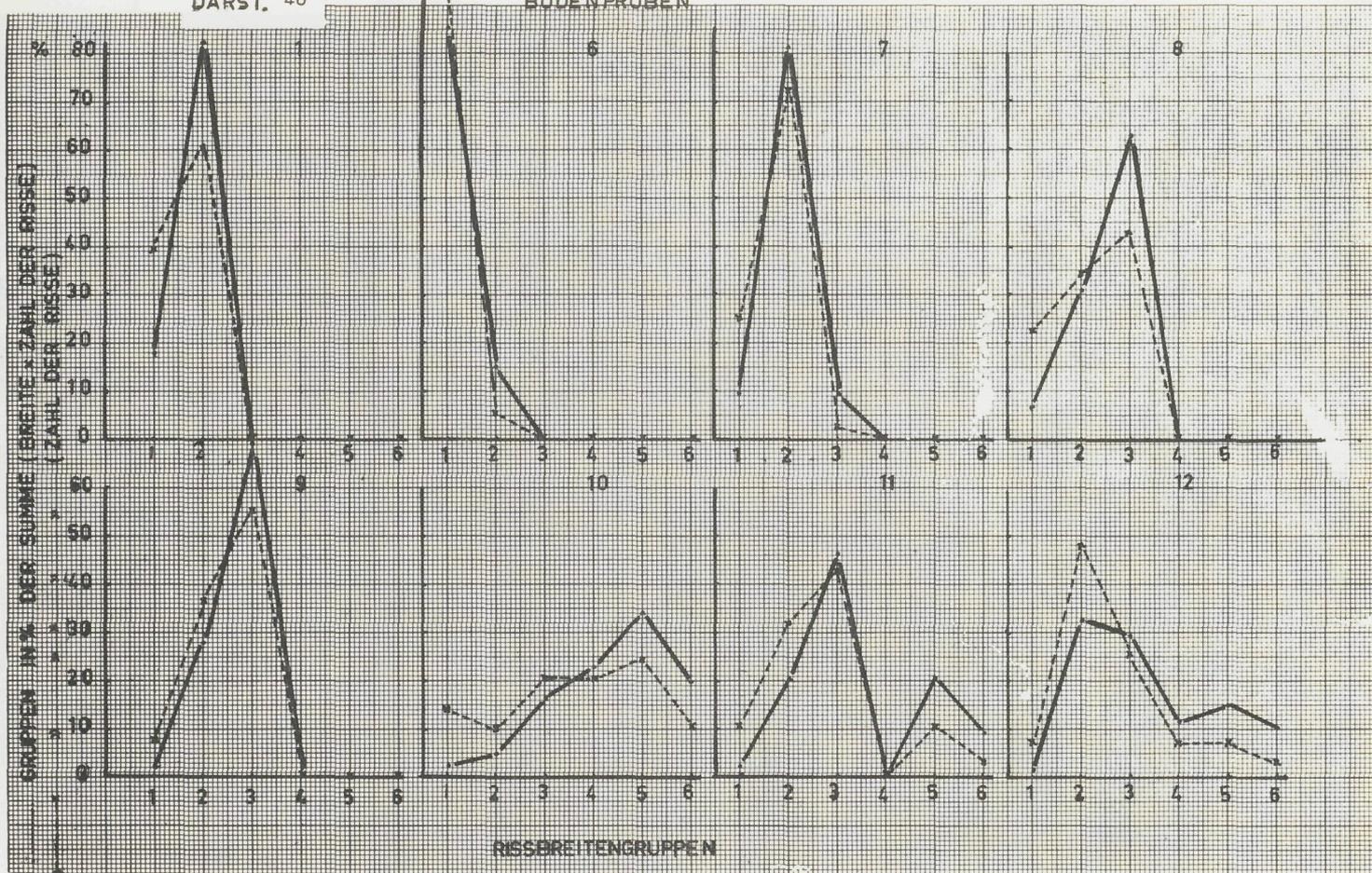
Darst. 45



DARST. 46

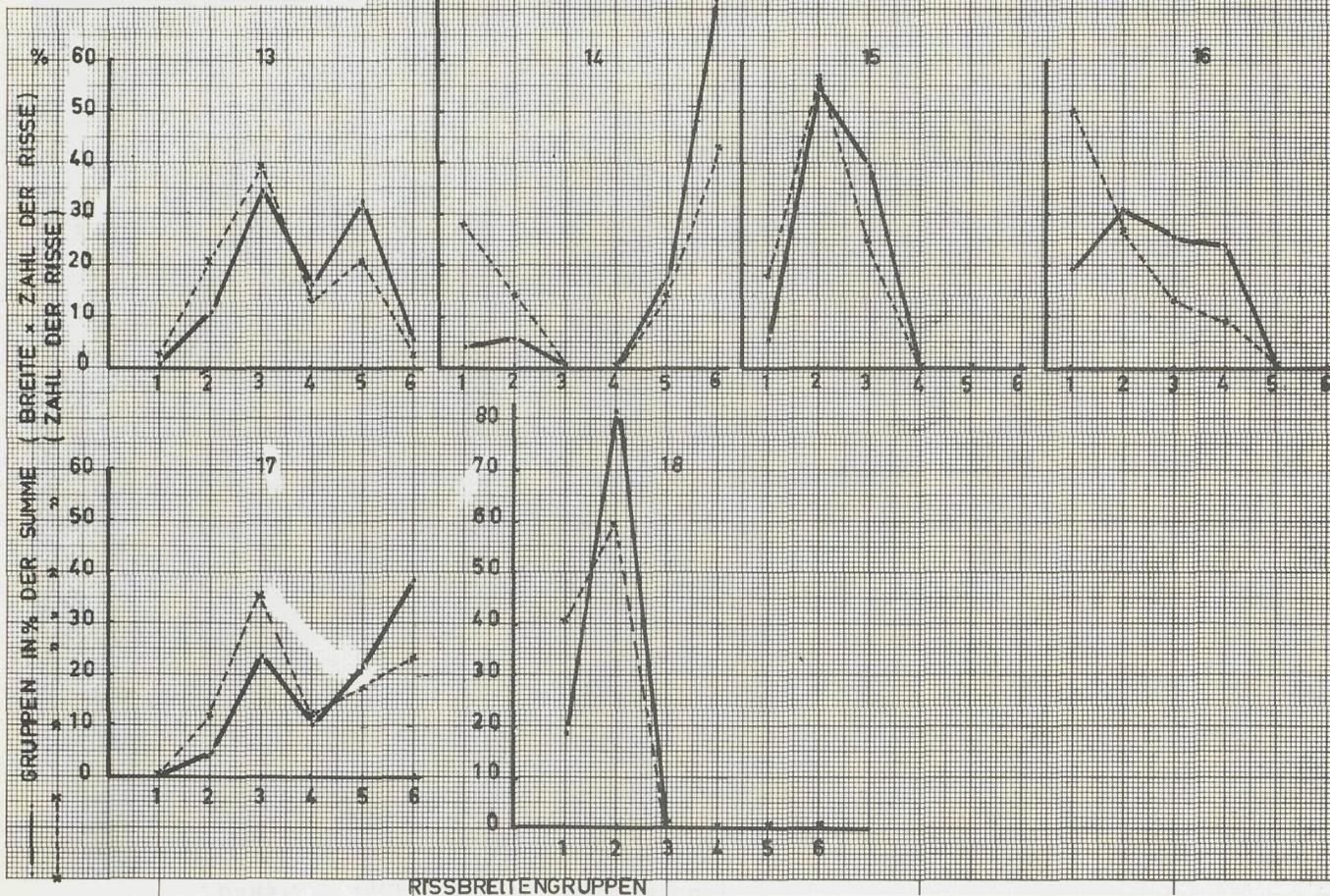
94

BODENPROBEN



Darst. 47

BODENPROBEN



RISSBREITENGRUPPEN

2.7 Diskussion

2.7.1 Diskussion der Ergebnisse der Versuchsreihen

WOLKEWITZ (69) erklärt die Vorgänge bei dem Eintrocknen der Rißbilder wie folgt:

Bis ein gewisser Wassergehalt im Schlicker unterschritten ist, treten Kohäsionskräfte auf. Die Masse zieht sich bei zunehmender Austrocknung zusammen. Diese Kohäsion wirkt der Adhäsion der Substanz an den Glasflächen entgegen. Da die oberen Schichten von der Glasfläche weit entfernt sind, geben sie dabei der Schrumpfung mehr nach als die unteren Schichten.

Dadurch entstehen Spannungen, die mit zunehmender Kohäsion und Adhäsion größer werden. Es besteht also die Tendenz, Teilchen, die im Ausgangspunkt übereinander liegen, gegeneinander zu verschieben. Sobald die Kohäsion überwunden wird, treten Risse in der Masse auf. Je größer die Kohäsion, um so weniger Risse treten auf, aber um so breiter werden sie. Es ist dies der Fall bei der Na_2CO_3 -Modellversuchsreihe. Na_2CO_3 wirkt sehr stark kohäsionserhöhend; von den verwendeten Salzen zeigt Na_2CO_3 die stärkste Wirkung. Für die unterschiedlichen Rißbreiten und -größen dürften überwiegend Unterschiede der Kohäsion maßgeblich sein.

Zur Erklärung der Entstehung der verschiedenen Rißformen berichtet WOLKEWITZ (69) über den differenzierten Ordnungsgrad der Teilchen. Die Teilchen der vorherrschenden Tonminerale sind mehr oder weniger plättchenförmig. Sie können parallel einer Ebene geordnet sein oder ungeordnet kreuz und quer durcheinander liegen. Man stellt bei einem geordneten System eine höhere Beweglichkeit der Teilchen fest. Dieses System kann längs glatter Grenzen reißen. Bei dem ungeordneten System dagegen liegen die Teilchen oft quer zur Rißrichtung und hemmen somit die von der Schrumpfung ausgelöste Bewegung und die regelmäßige Trennung.

Das stört die Entwicklung des Risses, und sein Verlauf wird unregelmäßig. Die RiBwandungen sind gezackt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß Na_2CO_3 offenbar sehr orientierend auf den H-Ton wirkt und besonders markante RiBbilder ergibt.

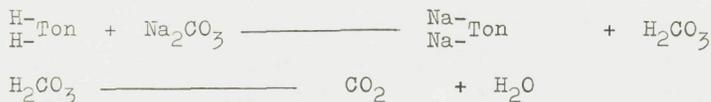
Bei der Zugabe der verschiedenen Salze zur Herstellung der RiBbildmodelle finden folgende Reaktionen statt, die ursächlich den Kationenaustausch und damit die RiBbildung beeinflussen.

Modellversuchsreihe I - Zugabe von NaCl



Ein Teil des H-Tons wird durch Na^+ -Ion ausgetauscht. Diese Reaktion verläuft solange, bis sich ein Gleichgewicht zwischen den H^+ -Ionen im Komplex und den H-Ionen in der Bodenlösung einstellt. Mit der Zunahme der NaCl-Konzentration (mval NaCl/100 g H-Ton) nimmt der Anteil der Na-Ionen am Komplex zu. Ein Teil der Na-Ionen bleibt jedoch immer in freier Lösung.

Modellversuchsreihe II - Zugabe von Na_2CO_3



Hier verläuft die Reaktion vornehmlich nach rechts, da das Einstellen eines Gleichgewichts dadurch gestört wird, weil CO_2 das System verläßt.

Infolgedessen werden mehr Natrium-Ionen eingetauscht. Es ist möglich, daß alle H-Ionen durch Na-Ionen ausgetauscht werden. Je höher die Na_2CO_3 -Zugabe ist, desto mehr H-Ionen werden ausgetauscht. Bei der Zugabe von 10 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton bekommt man ein Na-Ton-RiBbild, welches immer ausgeprägter sein wird, je höher die Zugabe ist.

Bei 50 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton stellt sich das typische Na-Ton-Rißbild ein. Wenn noch größere Mengen zugegeben werden, kommt es zu Salzausblühungen, die bei höherer Salzzugabe stärker werden und das Rißbild verdecken.

Ein ähnliches Bild, wie durch Zugabe von 50 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton hat WOLKEWITZ (70) bei der Zugabe von NaCl und durch Dialysieren bis zur Cl-Freiheit bekommen.

WOLKEWITZ hat seinen Boden mit einer $\frac{n}{10}$ NaCl-Lösung über 70 Tage behandelt. Während dieser Zeit erhielt der Boden 560 Liter NaCl-Lösung je 500 g Boden. Am Ende der Behandlung hatte der Boden 50 % seines T-Wertes an Na-Ionen sorbiert.

Bei Versuchsreihe I (Behandlung mit NaCl) sind keine charakteristischen Na-Ton-Rißbilder entstanden, da sich sehr schnell ein Gleichgewicht eingestellt hat und ein weiteres Eindringen des Na-Ions in den Komplex nicht mehr möglich war.

In einer Arbeit von JANITZKY (38) wird berichtet, daß nach Angaben von verschiedenen Autoren das Natrium aus seinen alkalisch reagierenden Verbindungen weit energischer als aus seinen neutralen sorbiert wird.

Aus einer 0,001 n NaCl-Lösung war der Na-Eintausch = 1,3 mval/100 g Boden, aus einer Na_2CO_3 -Lösung = 5,12 mval/100 g Boden.

Aus einer 0,1 n NaCl-Lösung wurden 6,3 mval/100 g Boden sorbiert, die bei 0,1 n Na_2CO_3 = 22,08 mval/100 g Boden betragen.

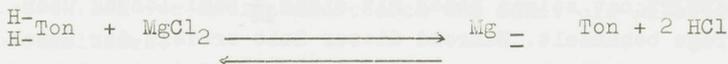
Modellversuchsreihe II - Zugabe von Na_2SO_4



Auch kann hier wie bei Modellversuchsreihe I (Behandlung mit NaCl) die Reaktion nach beiden Richtungen verlaufen bis sich ein Gleichgewicht zwischen den H-Ionen der Boden-

lösung und den H-Ionen des Tons einstellt. Das Eindringen des Na-Ions in den Kolloidkomplex wird durch die freien H-Ionen in der Lösung ($(\text{H}^{++}) (\text{SO}_4^-)$) verhindert; daher fehlt das typische Bild des Na-Tons, wie es sich bei $\text{Na}_2\text{-CO}_3$ ergibt.

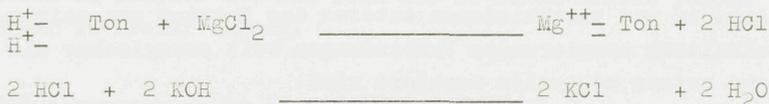
Modellversuchsreihe IV - Zugabe von MgCl_2



Bei diesem Modellversuch stellt sich ebenfalls relativ schnell ein Gleichgewicht ein, obwohl die Verdrängungsenergie des Mg höher als die des Na ist.

Modellversuchsreihe V - Zugabe von $\text{MgCl}_2 + \text{KOH}$

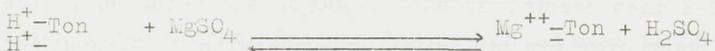
Der Austausch zwischen H^+ -Ion und Mg^{++} -Ion wurde durch die Zugabe von KOH erhöht, was folgendermaßen zu erklären ist:



Die Gleichung zeigt, daß durch die Zugabe von KOH die Reaktion mehr nach rechts verschoben wird als es bei reinem MgCl_2 (Versuchsreihe IV) der Fall ist. Damit ist eine höhere Sorption des Mg möglich.

Die Unterschiede zwischen den Rißbildern sind bei zunehmender Zugabe von MgCl_2 in Gegenwart von KOH deutlicher als bei Versuchsreihe IV (nur MgCl_2).

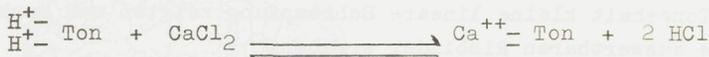
Modellversuchsreihe V - MgSO_4



Diese Reaktion führt auch zu einem Gleichgewicht. Es ist festzuhalten, daß die Bilder mit Mg-Salzzusatz mehr zur Form der Na-Bilder tendieren, zumal bei KOH-Beigabe, daß

aber innerhalb der Salze z. B. zwischen SO_4 und Cl Unterschiede bestehen, die sich aus der unterschiedlichen Sorptionsmöglichkeit erklären lassen.

Modellversuchsreihe VII - Zugabe von CaCl_2



Die gleichen Verhältnisse herrschen auch bei diesem Modellversuch, nur mit dem Unterschied, daß das Ca ein anderes Bild ergibt, das sich von den Natriumsalzen wesentlich unterscheidet. (Siehe Bilder 4 u. 5).

2.72 Vergleich mit Rißbildern der entnommenen Bodenproben

Vergleicht man diese Befunde der Rißbilder von Versuchsmodellen mit denen, die von den verschiedenen Böden gewonnen wurden, so kann man Übereinstimmungen feststellen.

Es muß dabei berücksichtigt werden, daß bei den Modellen mit reinem Ton gearbeitet wurde, der als Bindemittel für die Aggregatbildung angesehen werden kann.

Es wurde bereits betont, daß bei einem Tongehalt unter 20 % keine Risse auftreten. Bis zu einem Gehalt von 35 % Ton ist die Rißbildung schwach ausgeprägt.

Aus diesem Grund konnten von einigen Bodenproben keine Rißbilder gewonnen werden. Dies war der Fall bei der Probe Nr. 2, Profil I. Hier betrug der Tongehalt nur 19,3 % des gesamten Feinbodens. Auch die Bodenprobe des Lahn-schwemmlandbodens hatte nur einen Tongehalt von 14 %, und es kam infolgedessen zu keiner Rißbildung. Dies war auch der Fall bei den Proben 3, 4 und 5, Profil II. Dieser Boden enthält große Mengen freier Salze (8,57 % - 9,56 %). Die starken Salzausblühungen auf der Oberfläche dieses Rohbodens mit niedrigem Tongehalt (zwischen 15 % - 23 % des gesamten Feinbodens) haben zu keiner Rißbildung bei diesen drei Proben geführt.

Bei allen anderen Proben, welche Rißbilder ergaben, ist die Qualität des Rißbildes vom Tongehalt sehr abhängig. Je höher der Tongehalt, um so ausgeprägter wird das Rißbild.

Es war sehr deutlich zu sehen, daß die Proben mit niedrigem Tongehalt kleine lineare Schrumpfung zeigten und auch keine auswertbaren Rißbilder ergaben.

Aus diesem Grund wurden die hier untersuchten Bodenproben auf 0,06 mm gesiebt, so daß der Feinboden bis zur Korngröße von 0,06 mm Durchmesser zur Untersuchung gelangte.

Schalma

Rißbild Nr. 1, Profil I - 0-20 cm (Ton 40 % des Feinbodens; lineare Schrumpfung 16,9 %)

Auf Grund des Tongehaltes muß die Qualität des Bildes gut sein. Man kann die Hauptrisse von den Nebenrissen gut unterscheiden. Die Inseln sind scharfkantig und mittelgroß. Die Risse sind schmal, meist spitz zulaufend und verlaufen gradlinig. In freier Lösung herrscht nach der Analyse das Natrium vor. Es handelt sich um die folgenden Salze Na_2SO_4 , NaCl und NaHCO_3 , wobei die Reihenfolge gleichzeitig die mengenmäßige Abstufung angibt. Im Tonkomplex ist das Natrium mit 2,5 %, das Mg mit 50 % und das Ca mit 31,6 % des T-Wertes vertreten.

Wenn man die Rißbilder der Modellversuche mit dem Bild dieses Bodens vergleicht und die oben beschriebenen Kurven zu Rate zieht, muß man zu dem Schluß kommen, daß Mg und Ca als sorbierte Ionen das Rißbild beeinflussen und prägen, was durch die sorbierten Mg- und Ca-Anteile bestätigt wird.

Die Bodenproben

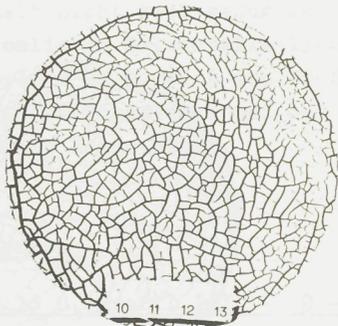


Bild 1 Schalma
Profil I 0-20 cm

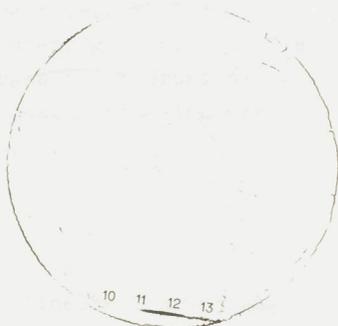


Bild 2 Schalma
Profil I 35-50 cm

Bild 3, Profil III - 20 - 25 cm (Gleise 10.11.12.13, 13.09.5)



Bild 3 Schalma
Profil II 0-25 cm



Bild 4 Schalma
Profil II 40-50 cm

Die Bodenproben

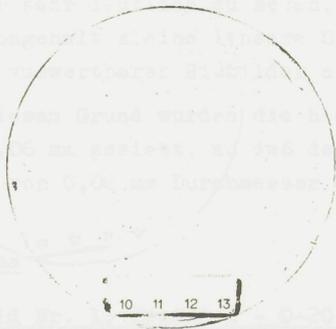


Bild 5 Schalma
Profil II 50-60 cm

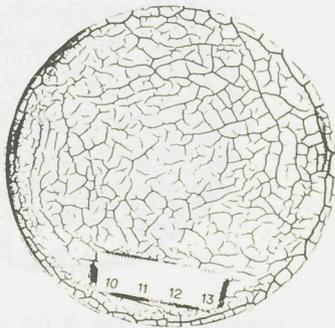


Bild 6 Gemysa
Profil III 0-10 cm

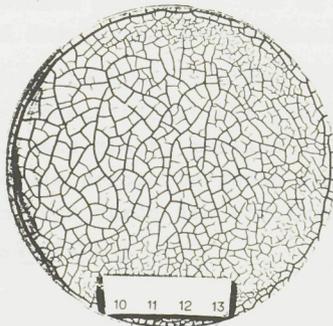


Bild 7 Gemysa
Profil III 20-35 cm

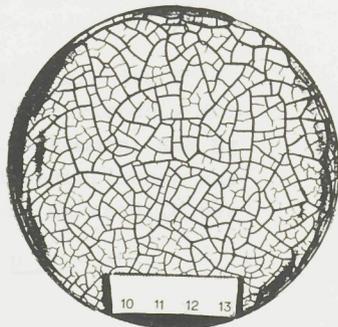


Bild 8 Gemysa
Profil III 60-80 cm

Bild 2, Profil I - 35-50 cm (lineare Schrumpfung nur 8,2%)

Bei dieser Probe bilden sich keine Risse, da der Tongehalt nicht hoch genug ist. Er beträgt 19,1 %. Die freien löslichen Salzanteile liegen sehr niedrig (Tab.). Die Bilder 3, 4 und 5 von Profil II ergaben auf Grund des geringen Tonanteils und der hohen Salzkonzentration ebenfalls keine Risse.

Gemysa

Bild 6, Profil III - 0 - 10 cm (lineare Schrumpfung 14,2 %, Tongehalt 25,4 %)

Da der Tongehalt relativ niedrig liegt (25,4 % des Feinbodens (2 mm)), ist die Rißbildung schwach ausgeprägt. Man erkennt sehr dünne Risse, welche aber keine richtigen Inseln bilden und immer spitz zulaufen.

Auf Grund der sehr schwachen Rißbildung ist eine Beurteilung sehr problematisch. Das Bild deutet aber sorbiertes Ca bei vorherrschend NaCl in der Lösung an.

Bild 7, Profil III - 20 - 35 cm (lineare Schrumpfung 13,89 %)

Der Tongehalt (37,5 %) ermöglicht hier eine erkennbare Rißbildung. Das Bild ist fast das gleiche wie Nr. 1. Vergleicht man die Kurven auf Darstellung 47 mit denen der Darstellung 46/7, stellt man eine Übereinstimmung der Kurven fest. Dies deutet auf eine Anwesenheit von Ca am Kolloid hin. Tatsächlich ist das Ca mit 60,9 % sorbiert. Im Komplex ist ferner das Na mit 3,3 % und das Mg mit 29,8 % vertreten. Das überwiegende freie Kation ist auch hier das Na, so daß an Salzen NaCl, Na₂SO₄ und NaHCO₃ in der Lösung sind.

Bild 8, Profil III - 60 - 80 cm (lineare Schrumpfung 14,44 %)

Der Tongehalt (51,0 % des Feinbodens) ermöglicht eine gute Rißbildung. Die Risse sind breiter als bei Probe 7, wo sie gradlinig verlaufen, Der Unterschied zwischen Haupt- rissen und Nebenrissen ist klarer, die Inseln sind grö- ser und die Ränder noch scharfkantiger als bei 7. Insge- samt bildet sich ein ähnliches Bild wie bei 7 und 1 heraus. Der höhere Na-Anteil am Komplex macht sich aber bereits bemerkbar. Das Na ist mit 8,7 %, das Mg mit 45,7 % und das Ca mit 41,3 % sorbiert.

Die Kurve in Darst. 46/8 läßt im Vergleich zu den Test- kurven auf Anwesenheit von Mg schließen, aber auch auf Anwesenheit von Cl, das sich als Kochsalz neben HCO_3 in der Bodenlösung befindet.

Talelkebir

Bild 9, Profil IV - 0 - 15 cm (lineare Schrumpfung 10,44 %)

Der Tongehalt ist niedrig (28 %); dadurch tritt nur eine schwache Rißbildung auf. Die Inseln sind kleiner und die Risse insgesamt schmaler.

Nach der Analyse ist das Na mit 1,8 %, das Mg mit 49,3 % und das Ca mit 33,8 % austauschbar gebunden. In der Bo- denlösung herrscht das freie Na wieder in Form von NaHCO_3 - NaCl - Na_2SO_4 vor. Die Anwesenheit des Mg spiegelt sich im Rißbild wieder und tritt auch in der Kurvenform der Darst. 46 in Erscheinung.

Bild 10, Profil IV - 20 - 40 cm (lineare Schrumpfung 13,74 %)

Der Tongehalt ermöglichte eine gute Rißbildung (36 % des Feinbodens). Sorbiert sind die Kationen Na mit 7,1 %, Mg mit 50 % und Ca mit 30,1 %. Im Rißbild ist der sorbierte

Na-Anteil und der in der Lösung überwiegende NaHCO_3 -Anteil erkennbar.

Man sieht ein Natrium-Magnesium-Bild, breite glattwandige Risse, die am Ende manchmal spitz zulaufen. Die Inseln sind groß und werden durch feine Risse aufgeteilt. Das Bild ähnelt dem mit Na_2CO_3 50 mval/100 g H-Ton.

Bild 11, Profil V - 0 - 10 cm (lineare Schrumpfung 17,03)

Der Tongehalt ist mit 53 % sehr hoch. Die Kolloide sind mit Na (2,8 %) Mg (56,9 %) und Ca (36 %) abgesättigt. In freier Lösung herrscht das Na als NaHCO_3 vor.

In diesem Bild sind breite glattwandige Risse zu erkennen. Die Inseln sind ebenfalls groß und werden von feinen Rissen durchzogen.

Da im Komplex das Mg vorherrscht, während in freier Lösung das Na überwiegt, ist mit einem gemischten Effekt von beiden Kationen zu rechnen. Man kann dieses Rißbild zwischen dem von 30 mval und dem von 50 mval Na_2CO_3 /100 g H-Ton einordnen. Das Bild entspricht ebenso der Zugabe von 50 mval MgSO_4 /100 g H-Ton.

Bild 12, Profil V - 10 - 20 cm (lineare Schrumpfung 16,02%)

Der Tongehalt ist für die Rißbildung günstig (45 % des Gesamt-Feinbodens). Am Umtauschkörper sind Na mit 2,1 %, Mg mit 50 % und Ca mit 41,6 % sorbiert. In freier Lösung herrscht wiederum das Na als NaHCO_3 vor. Ein Na-Bild mit nur wenigen breiten glattwandigen Rissen, die meist spitz zulaufen, und große Inseln, die wieder durch sehr feine Risse geteilt werden. Man muß hier die Wirkung des in freier Lösung vorwiegenden Salzes (NaHCO_3) anerkennen. Trotz des niedrigen Na-Anteils am Komplex (21 %) ist hier ein Na-Bild entstanden, das auf die Wirkung des freien NaHCO_3 zurückgeführt werden muß.

Die Bodenproben

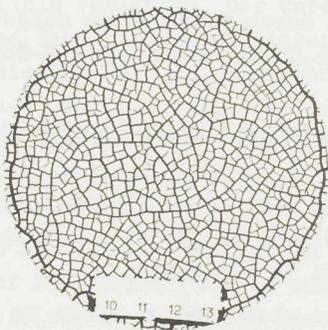


Bild 9 Tal elkebir
Profil IV 0-15 cm

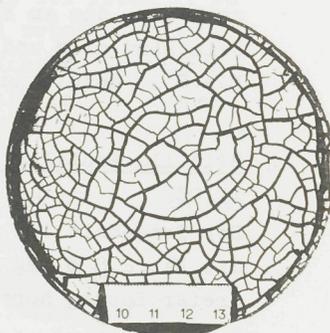


Bild 10 Tal elkebir
Profil IV 20-40 cm

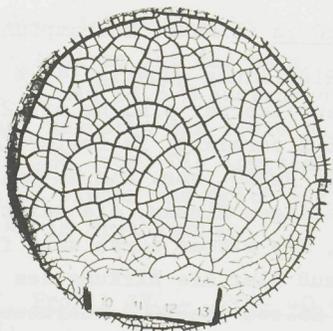


Bild 11 Tal elkebir
Profil V 0-10 cm

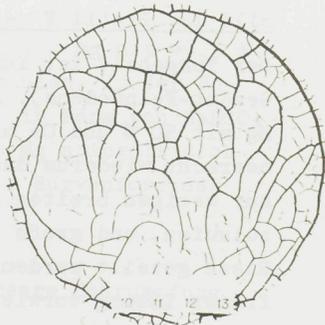


Bild 12 Tal elkebir
Profil V 10-20 cm

Bild 13, Profil VI - 0-5 cm (lineare Schrumpfung 17,8 %)

Der Tongehalt beträgt 54 % des Feinbodens (< 2 mm). Na ist mit 75,3 %, Mg mit 3,5 % und Ca mit 6,5 % sorptiv gebunden. Die freien löslichen Salze betragen 3,5 % des Feinbodens. Davon sind 99 % Na-Salze: Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , NaCl und NaHCO_3 .

Die große Menge Na_2CO_3 in dieser Probe konnte gemessen werden, während in allen übrigen Proben Na_2CO_3 rasch in NaHCO_3 übergeht.

Das Reißbild ist ein sehr typisches Bild. Das Natrium herrscht sowohl im Komplex als auch in freier Lösung sehr stark vor. Durch die sehr hohe Menge freier Salze ist es zu Salzausblühungen gekommen. Aber durch den hohen Tongehalt ergibt sich ein Reißbild, das demjenigen mit 200 mval $\text{Na}_2\text{CO}_3/100$ g H-Ton ähnelt.

Bild 14, Profil VI - 10-20 cm (lineare Schrumpfung 19,23 %)

Der Tongehalt ist bei dieser Probe am höchsten (71 %). Auch hier sieht man ein sehr typisches Na-Bild. Es sind nur einzelne sehr breite glattwandige Risse und sehr große Inseln vorhanden.

Im Komplex sind Na mit 60,96 %, Mg mit 20,3 % und Ca mit 12,8 % vertreten. In freier Lösung überwiegt auch das Na in Form von NaHCO.

Bahtim

Bild 15, Profil VII - 0-20 cm (lineare Schrumpfung 15,3 %)

Der Tongehalt liegt bei 45,5 % des Feinbodens. Die Kolloide haben nur 0,2 % Na sorbiert, Mg ist mit 31,1 % und Ca mit sehr hohem Anteil (63,6 %) vertreten. In der freien Lösung überwiegt das Natrium in Form von NaHCO_3 . Die Menge der freien löslichen Salze ist aber sehr niedrig.

Die Bodenproben

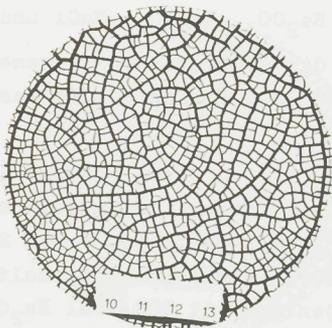


Bild 13 Tal elkebir
Profil VI 0-5 cm

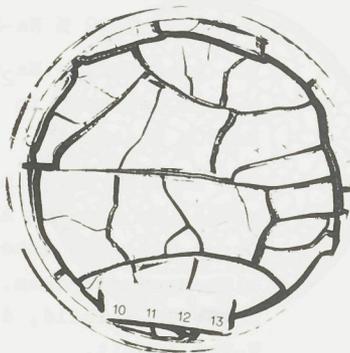


Bild 14 Tal elkebir
Profil VI 10-20 cm

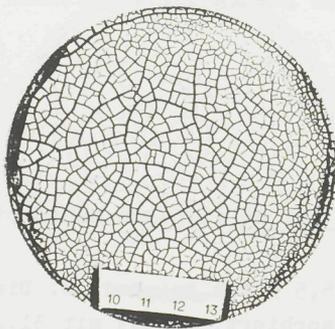


Bild 15 Bahtim
Profil VII 0-20 cm

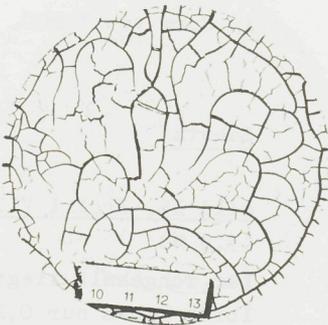


Bild 16 Bahtim
Profil VII 25-60 cm

Man erkennt ein ausgesprochenes Ca-Bild mit regelmäßigen langen durchgehenden glattwandigen Rissen. Die sehr feinen Risse laufen an den Enden spitz zu. Meistens laufen zwei breite Risse parallel zueinander und sind unter sich durch andere Risse verbunden. Die Inseln sind kantig.

Das Bild bei 30 mval $\text{CaCl}_2/100$ g H-Ton ist diesem Bild am ähnlichsten. Auch aus den Darstellungen 45/5,7 und 47/3 geht die Anlagerung des Ca gut hervor.

Bild 16, Profil VII - 25 - 60 cm (lineare Schrumpfung 15,5 %)

Der Tongehalt beträgt 48,8 %. In diesem Profil nimmt der Anteil des sorbierten Natriums mit zunehmender Tiefe zu. Hier liegt er bei 6,8 %. Das Mg ist mit 32,7 % und das Ca noch mit 59,3 % sorptiv gebunden. In freier Lösung ist auch der Na-Anteil in Form von NaHCO_3 höher als der der Ca- und Mg-Salze. Ferner sind NaCl und Na_2SO_4 vertreten. Der zunehmende Anteil des Natriums in austauschbarer Form macht sich im Reißbild bemerkbar. Wenn auch das Bild schon an die Bilder mit Na-Sorption erinnert, sind doch die Linien des CaCl_2 -Bildes noch unverkennbar.

Bild 17, Profil VII - 60 - 90 cm (lineare Schrumpfung 15,9 %)

Der Tongehalt beträgt 50 %. Der Anteil des austauschbaren Natriums hat mit zunehmender Tiefe zugenommen und beträgt nunmehr 10,6 %. Mg ist mit 42,5 % und Ca mit 45,1 % angelagert.

Der Anteil des Mg hat sich ein wenig zu Ungunsten des Ca^{++} erhöht. In freier Lösung herrscht das Natrium als NaHCO_3 und NaCl stark vor. Durch den größeren Anteil des Natriums im Komplex und der hohen Na-Salzkonzentration der Bodenlösung (siehe Bild 12) ist das Na-Bild noch deutlicher und typischer geworden, trotz der relativ hohen Ca-Belegung des Austauschers. Das Bild ist dem bei 50 mval $\text{Na}_2\text{CO}_3/$

100 g H-Ton ähnlich, die große Krümmung der langen Linien läßt aber nur sehr schwach den Einfluß des Ca erkennen.

Der Na-Anteil in freier Lösung ist in Form von NaHCO_3 vorhanden. Infolgedessen ist ein höherer Eintausch von Na^+ möglich. Bei Anwesenheit von Chloriden und Sulfaten des Natriums wäre ein stärkerer Umtausch auf Grund der oben geschilderten Gleichgewichtsreaktionen nicht möglich. Man hätte dann auch nicht das nach dem Na-Typ hin tendierende Rißbild bekommen, sondern das der Ca- oder Mg-Reihe, wie es in den Rißbildern 8, 10 und 12 der Fall ist.

Eine klare Übereinstimmung zeigt auch die chemische Analyse.

Im Boden des Profils VII ist die Ton-Menge günstig für eine Rißbildung und die freien löslichen Salze sind für die Ausbildung von Salzausblühungen beim Austrocknen nicht ausschlaggebend angereichert.

Der Boden wird sehr gut entwässert; daher macht sich keine Salzwanderung zum Oberboden bemerkbar. Die Zunahme des Na-Anteils mit der Tiefe und damit des großen Angebotes von NaHCO_3 ist auf die Einwirkung des Grundwassers zurückzuführen.

Die Rißbildmethode gab bei diesem Profil sehr gut über die Zunahme austauschbaren Na-Anteils Auskunft. Das Gleiche gilt auch für die drei Profile IV, V und VI in Talkebir.

Auch bei Profil III (Gemysa) konnte das Rißbild Aussagen über die Zunahme des Na-Eintausches machen.

Das Nilwasser enthält nach EATON (15) genügend Mengen Bikarbonate, um alles Calcium und Magnesium infolge der hohen Konzentration zu fällen. Die übrigen löslichen Salze können 100 % Na sein. Zwischen 50 - 75 % können es Karbonate oder Bikarbonate sein. EATON meint auch, daß das Nilwasser ein wichtiger Alkalisierungsfaktor ist.

Die Bodenproben

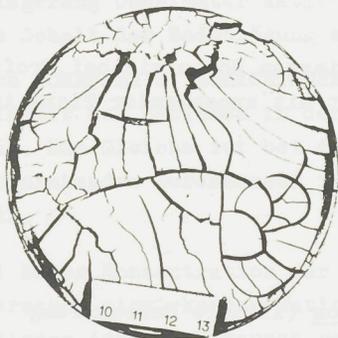


Bild 17 Bahtim
Profil VII 60-90 cm

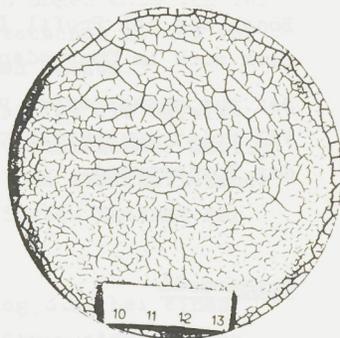


Bild 18 Nag Hammadi
Profil VIII 0-30 cm



Bild 19 Lahnschwenmlandboden
Profil IX 30-60 cm

Man kann daraus entnehmen, daß das freie Natrium in der Bodenlösung bei allen Proben des Nilschwemmlandbodens meist in Form von NaHCO_3 überwiegt. In den schlecht entwässerten Böden wie bei Profil III nimmt daher der Na-Anteil am Komplex auch im Oberboden zu.

Bei gut entwässerten und meliorierten Böden wie bei Profil VII tritt austauschbares Na erst mit zunehmender Tiefe in den Vordergrund.

Naghammadi

Bild 18, Profil VIII - 0-30 cm (lineare Schrumpfung 13,19 %)

Tongehalt 40 %. Die Menge der freien löslichen Salze liegt verhältnismäßig hoch (1,19 % des Feinbodens); deswegen wurde die Rißbildung etwas durch Salzausblühungen beeinflusst.

Das Rißbild deutet wie auch die Darst. 47/6 auf austauschbares Ca hin.

3. Schluß

Die Bildung von Trockenrissen hängt in hohem Maße von der Anlagerung bestimmter Kationen am Austauscher ab und von dem Gehalt der Bodenlösung an löslichen Salzen.

Nach SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL () steigt die Haftfestigkeit der Kationen in der Regel mit zunehmender Wertigkeit. Das Gleiche ist bei den Alkali- und Erdalkali-Ionen mit sinkendem Durchmesser im hydratisierten Zustand der Fall.

Bei hoher Konzentration der Bodenlösung, d.h. bei einem Überschuß einwirkender Kationen über die austauschbaren Kationen ist der Umtausch relativ hoch.

Je größer der Überschuß der einwirkenden Kationen ist, um so weitgehender ist ihre Eintauschmöglichkeit.

Die Analysen von den meisten ägyptischen Bodenproben des Niltales ergaben einen hohen Anteil an Natrium-Ionen in der freien Lösung.

Dieser Natrium-Ionenüberschuß in der Bodenlösung muß bei der Quellung und Schrumpfung die Wirkung anderer sorbierter Kationen überdecken, denn bei diesen Bodenproben mit hohem Na-Salzgehalt der Bodenlösung bildete sich ein typisches Na-Rißbild heraus, trotz kleinem Na-Anteil und großem Ca- und Mg-Anteil am Umtauschkörper. Je nach Menge der löslichen Na-Salze wird das von den sorbierten Erdalkali-Ionen geprägte Rißbild abgeschwächt und in ein Na-Bild umgewandelt. Dies tritt besonders in den Vordergrund, wenn das Na als NaHCO_3 in der Lösung vorliegt. Wie oben bereits erwähnt wurde, ist dies häufig im Grundwasser des Nildeltas der Fall. Daher kann man die Abstufung der Rißbilder vom Ca- bzw. Mg-Bild zum Na-Bild mit zunehmender Tiefe gut erkennen.

Während sich bei den Chloriden und den Sulfaten schnell ein Gleichgewicht einstellt und dadurch die Umtauschmög-

lichkeit der Kationen im Komplex gehemmt ist, ermöglicht das NaHCO_3 einen weitgehenden Eintausch von Na-Ionen auf Grund der geringeren Dissoziation der sich bildenden Bikarbonate. Dies zeigt die Modellversuchsreihe III mit Na_2CO_3 . Ein ähnlicher Effekt wurde durch die Zugabe von KOH erzielt.

Die Modellversuchsreihe V, Behandlung mit $\text{MgCl}_2 + \text{KOH}$, zeigt diese Befunde gegenüber Modellversuchsreihe IV, Behandlung mit MgCl_2 allein, sehr deutlich.

Bei den jungfräulichen Böden tritt durch die Bewässerung nach anfänglichen Erfolgen, vielerorts oft schon nach drei bis vier Anbaujahren, eine Versalzung der Oberflächenebenen ein. Auch bei fruchtbaren Kulturböden der alluvialen Deltaebenen können sich infolge falscher Behandlung der Böden die leichtlöslichen Salze in der Wurzelzone wieder ansammeln und die Erträge negativ beeinflussen.

Wie aus den obigen Ausführungen zu entnehmen ist, können die verschiedenen Rißformen die vorhandenen Salze und auch die beginnende sekundäre Versalzung bei diesen Böden andeuten.

Die Ergebnisse der chemischen Analyse der Bodenproben bestätigten die Übereinstimmung der Rißbilder der verschiedenen Bodenproben mit den entsprechenden Rißbildern der Modellversuchsreihen. Nur wenn der Tongehalt niedrig ist, oder die freien löslichen Salze zu starken Salzausblühungen führten, war die Rißbildung gestört.

Bei den fruchtbaren Böden des Nildeltas ist der Tongehalt meistens für eine gute Rißbildung hoch genug und freie lösliche Salze sind im Anfangsstadium der sekundären Versalzung gering.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Rißbildmethode bei den untersuchten Böden Auskunft über die Art des Salzes geben kann, daß sie ferner in der Lage ist, eine beginnende sekundäre Versalzung anzuzeigen.

Die Übereinstimmung der chemischen Analysen des Kationenbelags des Austauschers und der Rißbilder des betreffenden Bodens kann zu dem Gedanken verleiten, mit Hilfe der Rißbildmethode auch den Kationenbelag des Bodenaustauschers bestimmen zu können.

Die Versuche haben eindeutig gezeigt, daß bei allen Bodenproben mit geringer Salzkonzentration der Bodenlösung das vorherrschende Na-Ion in der Lösung einen wesentlichen Einfluß auf die Gestaltung des Rißbildes ausübt.

Es wäre zu prüfen, ob man mit Hilfe dieser Methode die Salze der Bodenlösung unterscheiden kann, zumal sie auf Konzentrationsänderungen in der Bodenlösung und am Austauscher gut reagierten.

Leider war es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, einen weiteren Schritt zu tun und festzustellen, wie weit die hier im Labor gewonnenen Rißbilder mit den entsprechenden Rißformen der austrocknenden Oberböden in der Natur übereinstimmen.

In dieser Arbeit konnten neben den Modellversuchsreihen nur einige Böden des Nilalluviums untersucht werden. Zur Unterbauung dieser Versuchsergebnisse ist es notwendig, weitere Untersuchungen an anderen salzbeeinflussten tonigen Böden durchzuführen und um die Beeinflussung der Rißbildung durch verschiedene Kationen und Anionen besser einzuengen und beurteilen zu können.

4. Zusammenfassung

1. Es wurde versucht, die Wirkung von Kationenbelag auf das physikalische Verhalten der Bodenkolloide zu erfassen. Dafür wurde die Rißbildmethode nach WOLKEWITZ (67) verwendet.
Zur Untersuchung gelangten 18 Bodenproben aus 8 Profilen in 5 Gebieten des Nilschwemmlandbodens und zum Vergleich der chemischen Daten eine Bodenprobe des Lahnalluviums.
2. Zur Kenntnis dieser Böden wurden die klimatischen Daten der Bodenentnahmestellen festgestellt. Ferner wurde auf die tonmineralogische Zusammensetzung, die Grundwasserverhältnisse und die Versalzungstendenzen der Böden näher eingegangen.
3. Um die gewonnenen Rißbilder auswerten zu können, wurde mit 7 Modellversuchsreihen gearbeitet. Folgende Salze wurden zu einem H-Ton, gewonnen aus dem Nilalluvium, zugesetzt: NaCl, Na₂CO₃, Na₂SO₄, MgCl₂, MgCl₂ + KOH, MgSO₄, CaCl₂.
Bei jeder dieser Modellversuchsreihen wurden Rißbilder von 7 gesteigerten Salzzugaben gewonnen: - 10 - 20 - 30 - 50 - 100 - 200 - 400 mval je 100 g H-Ton.
4. Es hat sich eine klare Abhängigkeit zwischen dem Kationenbelag der Bodenkolloide und der Art ihrer Rißbildungssysteme beim Trocknen gezeigt.
5. Bei gleichem Kation zeigten seine verschiedenen Verbindungen sehr unterschiedliche Rißbildung. Dies trat bei Natrium sehr klar hervor. Da das Natrium aus seinen alkalisch reagierenden Verbindungen weit energischer als aus seinen neutralen Verbindungen sorbiert wird, zeigte die Modellversuchsreihe mit Na₂CO₃ die sehr typische Na-Rißbildung. Bei den anderen Na-Verbindungen (NaCl, Na₂SO₄) wird weniger Na sorbiert; in-

folgedessen konnten diese Salze in allen Konzentrationsstufen nicht ganz die typische Na-Rißbildung zeigen. Auch die Versuchsreihe mit $MgCl_2$ + KOH hat durch die größere Sorption des Mg-Ions eine andere Rißbildung im Vergleich zum $MgCl_2$ ohne KOH gezeigt.

6. Bei den Neutralsalzen eines Kations wird die Rißzahl offenbar auch durch die Anionen beeinflusst (Darst. 25, 26 - 36, 37).
7. Bei der Bestimmung der kapillaren Aufstiegs-
geschwindigkeit in den Niltalböden hat die Behandlung mit $CaCl_2$ den Kapillarwasseraufstieg bei vielen Bodenproben bei denen das Na mit großem Anteil im Komplex vertreten ist, sehr stark beschleunigt.
8. Bei der Messung der linearen Schrumpfung haben die Proben mit großem Na-Anteil starke Schrumpfung gezeigt, während die lineare Schrumpfung bei den Proben mit hohen Mengen an neutralen löslichen Salzen sehr niedrig war.
9. Als Ergänzung wurden folgende Bestimmungen zur Kennzeichnung der Böden durchgeführt: gasvolumetrische CO_2 , organische Substanz, pH-Wert, Schlämmanalyse, T-Wert, Leitfähigkeit, freie lösliche Kationen und Anionen, Aggregatstabilität.
10. Die Rißbilder der Böden des Nildeltas zeigten auf Grund der chemischen Daten gute Korrelationen zu den Modellbildern.

Wenn sich auf Grund ausreichenden Tonanteils ein klares Rißbild einstellte, war die Abhängigkeit der Rißform und Rißverteilung von den Kationen am Austausch-
er und in ihrer verschiedenen Salzform in der Lösung deutlich zu erkennen.

So ist es möglich, an Hand des Rißbildes eine beginnende Sekundärversalzung meliorierter Salzkalkböden zu erkennen.

11. Das Nilwasser enthält genügend Mengen Bikarbonate, um alles Ca^{++} und Mg^{++} zu fällen. Die übrigen löslichen Salze können überwiegend Na-Salze sein. EATON (). Das Na überwiegt daher in der Lösung bei allen Proben des Nilschwemmlandbodens. In einigen Proben der meliorierten Niltalböden ist das Na weniger stark an der Sorption beteiligt, während es in anderen bis zu 75 % des T-Wertes erreicht.
12. Die Untersuchungen an den Salzböden des Niltales lassen erkennen, daß nach weiteren Prüfungen der Methode an anderen tonigen Salzböden Rückschlüsse auf Kationenbelegung und Versalzungstendenz möglich sind.

Schriftumsverzeichnis

1. ADELBAR, A.
Vorlesungen in Chemie der Bodenreklamation für
7. und 8. Semester, Kairo Univ. Landwirtschaftliche
Fakultät.
(in arabisch)
2. ALLAM, F.
Chemie der Landwirtschaft, 1. Teil, Kairo 1951
(in arabisch)
3. ANDERSON, S., 1932:
Soil Sci. (Baltimore) 33, 301
4. ATANASIU, N. 1962:
Einige landwirtschaftliche Probleme Ägyptens.
Bericht der oberhessischen Gesellschaft für Natur-
und Heilkunde zu Giessen, Naturwissenschaftliche
Abteilung, Band 32
5. ATTERBERG, A. 1905:
Chemische Zeitung (Berlin 29
6. AYERS, E.E. jr. 1917:
Met. Chem. Eng. 16
7. BALBA, A. M. 1961:
Effect of waters with different sodium and carbonate
concentrations on the soil chemical properties and
the growth and composition of plant.
J. Soil Sc., U.A.R., Vol. 1, No. 2
8. BALL, J. 1939:
Contribution to the geography of Egypt.
Government Press, Cairo.
9. BALLS, W. L. and M. A. ZAGLOUL:
Royal Soc. London, Series B, Vol. 22 i.
Water table movement on a farm in Egypt (zit. in 71)
10. BAVER, L. D. 1956:
Soil Physics, John Wiley and Sons, Inc., New York
Chapman and Hall, limited, London.
11. CHIA WEI CHANG 1941:
Soil Sci. 52
12. CHWYLJA, K. S. 1952:
Vervollkommnung des Apparates von Williams
Fadejev zur Bestimmung der Strukturbeständigkeit des
Bodens.
Poc vovedenie 7 (1952), 666 (russ)

13. CZERATZKI, W. 1940:
Untersuchungen über den Einfluss der Bodenquellung
und der Kolloidschrumpfung auf die Bodenstruktur.
Kühn - Archiv 54 (1940) 133
14. DI GLERIA, KLIMES-SZMLK, DVORACEK 1962:
Boden-Physik und Bodenkolloidik.
Gustav Fischer Verlag, Jena.
15. EATON, F. M. 1950:
Significance of carbonates in irrigation waters.
Soil Sci. 69
16. EGOROV, V. V. 1954:
Zasolennye pocy i ich osvoenie (russ)
(Versalzte Böden und ihre Kultivierung)
Izdatel, stvo Akademii Nauk USSR, Moskva
17. ELGABALY, M. M. und M. KHADR 1962:
Clay mineral studies of some egyptian deserts and
Nile alluvial soils.
The Journal of Soil Sci. Vol. 13 No. 2
18. ENSLIN, O. 1933:
Über einen Apparat zur Bestimmung der Flüssigkeits-
aufnahme von quellbaren und porösen Stoffen und zur
Charakterisierung der Benutzbarkeit.
Chem. Fabrik, Berlin
19. FAUST, W. 1959:
Ein Verfahren zur Messung der Aggregatstabilität
von Böden.
Diss. Giessen
20. FINCK, A. 1963:
Tropische Böden.
Verlag Paul Parey, Hamburg - Berlin
21. FRANKE, H. 1950:
Lexikon der Physik.
Frankhsche Verlagsbuchhandlung Stuttgart
22. GANSSSEN, R. 1965:
Grundsätze der Bodenbildung.
Bibliographisches Institut Mannheim, Hochschul-
taschenbücher-Verlag.
23. GRACIE, D. S., M. RIZK, A. MOUKHTARR, and A. H. I. MOUSTAPA
1934:
The nature of soil deterioration in Egypt. Egypt. min.
agr. tech. and sci. ser. chem. sec. Bul. 148

24. GUIDICI, P. 1955:
Annali d. Sper. Agr. Roma
25. HAMDI, H. 1958:
The alluvial soils of Egypt,
Faculty of Agriculture Cairo University
Bulletin No. 193 (b)
26. HAMDI, H. 1959:
Alterations in the clay fraction of egyptian soils.
Ztschr. f. Pflanzenern., Düngg. u. Bodenkde. 84 (129)
Band Heft 1 - 3
27. HAMDI, H. 1961:
Mineralogy of the soils of Egypt, the central
glass & ceramic research institute,
Bulletin Vol. 8 No. 2 Calcutta/India.
28. HAMDI, H. 1952:
A study of the egyptian clay mineral type by the
electron microscope.
Faculty of Agric. Cairo Univ. Bull. 18
29. HAMDI, H. u. BARADA, Y. 1960:
Transformation of the clay fraction of the alluvial
soils of Egypt,
Annals of Agric Science, Fac. of Agric., Ain Shams
Univ. Cairo. Vol. 5 No 2
30. HAMDI, H. u. EPPRECHT, W. 1953:
Der Einfluss der Temperatur auf die Tonfraktion
einer ägyptischen Bodenprobe.
Schweiz. Mineralogische Petrographische Mitteilungen
Band 33, Heft 1
31. HAMDI, H. u. EPPRECHT, W. 1955:
Der Einfluß der chemischen Verwitterung auf die
Alluvial-Tone von Ägypten.
Z. f. Pflanzenern., Düngg., Bodenkde 70 (115) Band,
Heft 1
32. HAMDI, H. und FATHI, A. 1959:
Contribution to the study of the suspended matter
of the Nile, Annals of Agric Science Fac. of Agr.
Ain Shams Univ. Cairo Vol. 4 No 1
33. HAMDI, H. und NAGA, M. 1951:
Untersuchungen über chemische und mineralogische
Eigenschaften der ägyptischen Böden.
Landwirtschaftswesen Band 4 Heft 1 (arabisch)

34. **HAMDI, H. u. NAGA, M. 1952:**
A study of the clay fraction of egyptian soils,
separatum experientia Verlag Birkhäuser, Basel, Schweiz
Vol. VIII / 12
35. **HAMDI, H. u. NAGA, M. 1949:**
Chemische und mineralogische Untersuchungen an ägyptischen Böden.
Schweizerische Mineralogische und Petrographische
Mittellungen, Band XXIX, Heft 2
36. **HASHAD, M. N. und MADY, F. 1961:**
Differential thermal analysis of the alluvial clay
of Egypt.
J. Soil. Sc., U.A.R. Vol. 1 No 2
37. **HEUSER, O. 1928:**
Grundzüge der praktischen Bodenbearbeitung
P. Parey, Berlin
38. **JANITZKY, P. 1957:**
Salz und Alkaliböden und Wege zu ihrer Verbesserung,
im Kommissionsverlag Wilhelm Schmitz Gießen
39. **KADDAH, M. T. 1954:**
Die fünfte Tagung der arabischen Ingenieure Kairo,
Verwendbarkeit des Dränagewassers für Bewässerungs-
zwecke Nr. 12 (arabisch)
40. **KELLEY, W. P. 1951:**
Alkali soils, their formation, properties and
reclamation.
Reinhold publishing corporation, New York.
41. **KELLEY, W. P., BROWN, S. M. and LIEBIG, G.F. Jr., 1940:**
Chemical effect of saline water on soils,
Soil Sci 19
42. **KHADR, M. 1961:**
The clay mineral composition of some soils of the U.A.R
J. Soil Sc., U.A.R. vol 1 No 2
43. **KÖHN, M. 1928:**
Zeitschrift f. Pflanzenernäh., Düngg., Bodenkunde 11,
50 - 54
44. **KOVIJA, V. A. 1958:**
Studies on the Soils of Egypt,
publications de l'institut du désert d. Egypte No. 11

45. KUNZE, H. 1962:
Apparatur zur Bestimmung der Krümelbeständigkeit.
Zeitschrift f. Pflanzenernäh., Düngg., Bodenkunde 74
46. KURON, H. 1955:
Ein neues Dreiecksdiagramm zur Kennzeichnung der
Bodenarten. Ref. Tagg. Dtsch. Bodenk. Ges. Göttingen.
47. KURON, H. und HANNEMANN, W. 1948:
Der Einfluss des Kalkes auf die mechanischen Eigen-
schaften der Bodenkolloide.,
Zeitschrift f. Pflanzenernäh., Düngg., Bodenkunde,
40 (85).
48. LOTZE, Fr. 1932:
Wie entstehen Schrumpfungsklüfte?
Natur u. Mus. 62, Frankfurt am Main
49. MATTSON, S. 1932:
Soil Sci. (Baltimore) 33, 301 (zit in 14)
50. MEHLICH, A. 1948:
Determination of cation and anion exchange properties
of soils.
Soil Sci. 60
51. MÜCKENHAUSEN, E. 1962:
Grundsätzliches zum Aufbau des Bodens und dessen Be-
urteilung im Felde. Einz. Einführung.
Z. für Kulturtechnik 3. Jahrgang.
52. MUNSELL 1954:
Soil color charts. Munsell color company, inc. Balti-
more, Maryland.
53. NEMETH, K. 1963:
Photometrische Sulfatbestimmung in der Bodenlösung.
Z. für Pflanzenernäh., Düngg. und Bodenkde 103 Band,
Heft 3
54. NIKIFFOROF 1941:
Soil Sci. 52
55. OSTWALD, W. 1927:
Die Welt der vernachlässigten Dimensionen
Leipzig
56. RAUTENBERG, E. und KREMKUS, F. 1951:
Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenkunde 54 (99)

57. RICHARDS, L. A. 1954:
Diagnosis and improvement of saline and alkali soils,
United States salinity laboratory staff.
Agric. handbook No 60 U.S. department of Agric.
58. RICHARDS, L. A. 1956:
Agricultural use of water under saline conditions in
the future of arid lands.
Edit by White, G. F. Washington: Amer.Soc.Advanc.Sci.
59. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1966:
Lehrbuch der Bodenkunde.
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
60. SCHEIBLER, C. 1951:
Gasvolumetrische Bestimmung der Kohlensäure, Wissmann-
Nehring, Agrikulturchemisches Praktikum.
Verlag Paul Parey, Berlin, 2. Auflage 1951, S.36-39.
61. SCHERBUR, Rud. 1931:
Trockenrisse - Natur. u. Mus. 61 Frankfurt/Main.
62. SCHOONOVER, W.R., ELGABALY, M.M. and HASSAN, M.N. 1957:
Hilgardia vol. 26 No 13 California USA.
- 62 a. SCHWARZ, A. 1932:
Spannungsauswirkungen an raumschwundigen Stoffen.
Senckenbergiana, Bd. 14, Frankfurt/Main.
63. SCHWARZENBACH, G. 1957:
Die chemische Analyse B 45, Stuttgart.
64. TERZAGHI, C. Jelinek 1954:
Theoretische Bodenmechanik.
Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
65. THUN, R., HERRMANN, R. und KNICKMANN, E. 1955:
Methodenbuch Band 1. Die Untersuchungen von Böden.
Neumann - Verlag Radebeul und Berlin.
66. WALTER, H. und LIETH, H. 1960:
Klimadiagramm - Weltatlas.
Veb Gustav Fischer Verlag, Jena.
67. WOLKEWITZ, H. 1953:
Über nicht biologische Faktoren der Strukturbildung
von Böden. Die Bröckelung von feuchten Bodenkolloiden
beim Trocknen.
Diss. Gießen.
68. WOLKEWITZ, H. 1960:
Untersuchungen über die Auswirkung der Kationenbe-
legung auf die physikalischen Eigenschaften eines
Mineralbodens.
Z. für Kulturtechnik 1960, Verlag Paul Parey, Berlin
und Hamburg.

69. WOLKEWITZ, H. 1958:
Rißbilder trocknender Tone und ihre Deutung.
Z. f. Pflanzener., Düngg. und Bodenkd 82
70. WOLKEWITZ, H. 1964:
Die physikalischen Eigenschaften von Böden, ihre
methodische Erfassung und ihre Veränderung durch
verschiedene Faktoren, dargestellt an Modellsub-
stanzen.
Habilitation Berlin
71. ZEIN EL ABEDIN, A. 1949:
Die Böden, ihre Bestandteile und ihre physikalischen
Eigenschaften. Cairo

Es ist mir eine Freude, Herrn Professor Dr. L. Jung für wertvolle Anregungen und verständnisvolle Betreuung dieser Arbeit zu danken.

Besonderen Dank schulde ich auch Herrn Professor Dr. H. Hamdi für seine Unterstützung bei der Probeentnahme in Ägypten.

Meine Anerkennung gebührt Herrn Wiss.Assistenten Dr. W. Rohmer und Herrn Dr. K. Németh für wertvolle Hilfe bei Laborarbeiten.

Lebenslauf

Am 30. Juli 1936 wurde ich als Sohn des Landwirts Habib Yousif Hassan und seiner Ehefrau in Al Ehraz, Kaliobia/ Ägypten, geboren.

In der Zeit von 1942 - 1944 besuchte ich die Volksschule in Al Ehraz. In Schebin Elkanater besuchte ich von 1945 - 1949 die "Primary School", anschließend in den Jahren 1950 und 1951 das Gymnasium. Von 1951 - 1954 ging ich auf das Banbakaden-Gymnasium in Kairo, wo ich im Juni 1954 das Abitur ablegte.

Anschließend schrieb ich mich bei der Landwirtschaftlichen Fakultät an der Kairo-Universität ein. Nach vierjährigem erfolgreichem Studium erhielt ich im Juni 1958 den B.Sc. (Agr.).

Ab Oktober 1958 bis Dezember 1961 habe ich als Wiss. Assistent bei der Landwirtschaftlichen Hochschule in Schebin-Elkom gearbeitet. Während dieser Zeit begann ich mein Master of Science-Studium bei der Kairo-Universität.

Im Jahre 1961 erhielt ich ein Stipendium, um in Deutschland zu studieren. Infolgedessen habe ich das Master of Science-Studium nicht beendet und ging Ende Dezember 1961 nach Deutschland.

Von Anfang Januar bis Ende April 1962 habe ich am Goethe-Institut in Rothenburg o. T. die deutsche Sprache erlernt.

Seit Mai 1962 bin ich an der Justus Liebig-Universität Gießen immatrikuliert; Ende des Wintersemesters 1962/63 habe ich die Ergänzungsprüfung bestanden.

Nach Ablegung der Ergänzungsprüfung begann ich mit der vorliegenden Dissertation.

FOTO-DRUCK

H. Gahmig - Graph. Anstalt - 63 Gießen - Klinikstraße 21 - Telefon 7