Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 65 (1955)

Artikel: Quantitative Erfassung der kutikularen Rekretion von K und Ca

Autor: Schoch, Klara

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-45982

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 13.12.2025

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

Quantitative Erfassung der kutikularen Rekretion von K und Ca

Von *Klara Schoch*

Eingegangen am 5. November 1954

Inhaltsverzeichnis

Seite

I. Einleitung 206
II. Bisherige Untersuchungen 206
1. Stoffausscheidung durch die Blätter 206
2. Stoffaufnahme durch die Blätter 214
a) Aufnahme von Wasser 214
b) Aufnahme von Mineralstoffen 216
c) Aufnahme von organischen Stoffen 216
3. Direkter Nachweis der kutikularen Rekretion 217
III. Eigene Untersuchungen 217
1. Versuchsanordnung 217
2. Vorversuche 220
a) Eindampfgefäße 220
b) Eindampfen 220
c) Reinigung der Blätter 220
d) Eintauchen 221
3. Versuchsergebnisse 221
A. Tabak 221
a) Abgeschnittene Blätter / Blätter an der Pflanze 221
b) Dauernde und intermittierende Benetzung 222
c) Ernährung der Pflanzen 222
d) Mittelwerte (Figur 14) 232
B. Ricinus 233
a) Dauer der Benetzung 233
b) Benetzung über längere Perioden 234
c) Alte Pflanze / junge Pflanze 235
d) Ernährung 236
e) Längere Benetzung alter Blätter 239
f) Mittelwerte 239
IV. Diskussion 240
1. Besprechung der Versuchsergebnisse 240
a) Individuelle Unterschiede 240
b) Stellung bzw. Alter der Blätter an der Pflanze 240
c) Alter der Pflanze 241
d) Benetzungsdauer 242
e) Ernährungsbedingungen 242
f) Tabak und Ricinus 242
2. Vergleich mit früheren Arbeiten 242

Seite
3. Rekretmengen und Aschengehalt der Blätter 244
4. Bedeutung der Rekretion 246
V. Zusammenfassung 247
VI. Literatur 248

I. Einleitung

Die Ausscheidungen der Pflanzen werden nach Frey-Wyssling (1935) eingeteilt in:

Rekrete = ausgeschiedene Mineralstoffe
Sekrete = ausgeschiedene Assimilate, z. B. Nektar
Exkrete = ausgeschiedene Dissimilate, z. B. Ca-oxalat

Resorption → Assimilation → Dissimilation → Exkretion
Assimilation → Sekretion
Resorption → Rekretion

Werden Pflanzen benetzt durch Nebel, Regen, Tau, so werden aus den oberirdischen Teilen Mineralstoffe und organische Substanzen ausgewaschen, und zwar erfolgt dies durch die submikroskopischen Poren der intakten Kutikula hindurch. Die Ausscheidung organischer Substanz müßte zur Sekretion oder Exkretion gerechnet werden. Soweit es sich jedoch um anorganische Ausscheidungsstoffe handelt, muß der Vorgang als kutikulare Rekretion bezeichnet werden.

Die vorliegende Untersuchung wurde auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Frey-Wyssling am Institut für Allgemeine Botanik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich durchgeführt.

II. Bisherige Untersuchungen

1. Stoffausscheidung durch die Blätter

Immer wieder konnte von den verschiedensten Forschern die Beobachtung gemacht werden, daß oberirdische Pflanzenteile bei Benetzung Stoffe an das Benetzungswasser abgeben.

Bereits 1888 stellte Ramann fest, daß aus abgestorbenen Buchen- und Eichenblättern durch Wasser beträchtliche Stoffmengen ausgewaschen werden. Bezogen auf das Trockengewicht der gesammelten Blätter wurde in 24 Stunden ungefähr die Hälfte des K und zirka 1 % des Ca (bei Buche 2 %) ausgewaschen, in weiteren sechsmal 24 Stunden nochmals 35 % K und zirka 3 % Ca. Deshalb enthält die Trockensubstanz im folgenden Frühjahr prozentual weniger K und mehr Ca (und SiO_2) als im Herbst zuvor. Über die absoluten Mengen der ausgewaschenen Stoffe läßt sich nichts aussagen, da die Anzahl der untersuchten Blätter nicht angegeben wird. Clerc und Breazeale (1908) haben

dagegen junge Pflanzen von Weizen, Gerste, Reis, Hafer vor und nach Regen oder Benetzung und teilweise auch das Benetzungswasser analysiert (Tabelle 1):

Tabelle 1
Ausgewaschene Mengen von K und Mg in % der Trockensubstanz

	K in %	Mg in %
Gerste abgeschnitten, 2mal einige Minuten	65	45
Weizen blühend, nach 10 Minuten	4,4	10,3
reif, nach 10 Minuten	54	46
Weizen im Gewächshaus bis zur Reife gezogen, nach 4maligem Regen ausgewaschen	64	54
Hafer, nach 3maligem Regen	36	45
(am meisten durch den letzten Regen, da die Pflanze fast reif war)		
Gras getrocknet	—50	—50
frisch geschnitten	viel weniger	

Gewisse Pflanzen scheinen auf eine Beregnung angewiesen zu sein; so ist von gewissen Zimmerpflanzen (z. B. *Adiantum Capillus Veneris*) bekannt, daß sie sich nur gut entwickeln, wenn sie immer wieder während Regengüssen ins Freie gestellt werden. Frey-Wyssling (1935) erwähnt, daß der Tabak in Delhi zu einer ganz bestimmten Zeit Regen braucht, da er sonst im Wachstum zurückbleibt und die Qualität des Blattes leidet: die Blätter werden dick und klebrig, unelastisch, also als Deckblätter unbrauchbar. Begießen verbessert wohl das Wachstum, kann aber Qualitätsschäden nicht verhindern. Durch das trockene Wetter mit starker Transpiration werden viel Salze aufgenommen, ohne daß eine Möglichkeit zur Abgabe besteht. Besonders K stimuliert nun aber das Dickenwachstum der Blätter: sie werden sukkulent. Es ist denkbar, daß die kutikulare Rekretion für diese Pflanze eine Notwendigkeit darstellt.

Schweizer (1940) untersucht den Einfluß des Fruchtbehanges auf den Stoffgehalt des Kaffeeblattes unter Berücksichtigung von meteorologischen Faktoren. Durch normalen Fruchtbehang wird die chemische Zusammensetzung des Blattes, außer K, nicht beeinflußt; dagegen ist sie abhängig von der Regenmenge. Ca und Mg pro dm^2 Blattfläche nehmen in Trockenzeiten ständig zu bis zum Vergilben und Abfallen der Blätter, auch bei den nach der Ernte der Früchte am Baume bleibenden Blättern. Der K-Gehalt nicht fruchtender Bäume nimmt schon lange vor dem Abfallen der Blätter (etwa vom August an) allmählich ab, in Regenzeiten stärker. Bei fruchtenden Bäumen geht der K-Gehalt der Blätter meist zurück bis zum Mai, dann nimmt er stark zu, selbst in Regenzeiten. Es scheint, daß K aus den Früchten in die Blätter geschafft wird. Bleiben nach der Ernte der Früchte noch Blätter am Baum, so

vermindert sich deren K-Gehalt auch in Zeiten absoluter Trockenheit: K wird in den Stamm zurückgenommen; nur bei abnormal starkem Fruchtbehang nimmt der K-Gehalt ständig zu, weil das Blatt frühzeitig vergilbt und abfällt.

Schweizer (1941) bestimmt dann auch die Menge der durch Benetzung ausgewaschenen Stoffe (Tabelle 2).

Tabelle 2
Rückstand in mg in je 1 l des gesammelten Regenwassers

	Asche	K_2O	CaO
Coffea am Morgen nach Abendregen	66—190	22	
nach Taufall	294—410	—78	
Nicotiana direkt nach Regen	34	3,7	1,3
im Herbst	764		
Topfpflanzen	477	53	
unter Glasdach	220	63	39
Tau	—294	78	
		23	24
Lagerstroemia 14 mm Regen	53	4,1	
50 mm Regen in 1 Std.		3,2	1,2
8 mm Regen in 2 Std.		6,2	

Die Zusammensetzung des Blattes vor und nach dem Regen ist sehr verschieden, bedingt erstens durch kutikulare Rekretion und zweitens durch Unterbindung der Salzaufnahme während des Regens, da die Pflanze nicht mehr transpiriert. Beispiele (Tabelle 3):

Tabelle 3
CaO- und K_2O-Gehalt der Blätter vor und nach einem Regen

		CaO/dm²	K_2O/dm²
Coffea arabica, gelbe Blätter	vor Regen	13,2 mg	22,1 mg
	nach Regen	8,6 mg	19,4 mg
Erythrina lithosperma	vor Regen	10,9 mg	8,1 mg
	nach Regen (24 Std.)	6,8 mg	7,3 mg

Die Werte sind abhängig von der Art des Blattes und seiner Lebensperiode und von der Art des Regens. Für Tabak ist der Tau sehr wichtig, ist doch die benetzte Fläche bei einer 2 m hohen Pflanze dann ungefähr achtmal so groß wie bei Regen (Blattfläche zirka achtmal Projektion).

Bei Eintauchversuchen abgeschnittener Blätter waren die gefundenen Werte etwa gleich wie bei Blättern am Baum und etwa gleich wie bei gleich langen Regen (Tabelle 4).

Tabelle 4

Durch einstündige Benetzung aus abgeschnittenen Blättern ausgewaschene Mengen

	Asche/dm²	K_2O/dm²	CaO/dm²
Kaffee	21—35 mg	2,4—5,3 mg	2,6 mg
Tabak	100 mg	24,3 mg	21,6 mg
in ½ Std.	76 mg	14,4 mg	18,0 mg
Dadap		3,8 mg	1,0 mg

Die Unterschiede sind aber sehr groß je nach Blattstellung, Blattalter, Temperatur usw.

Mothes (1938) stellte an unverletzten, auf destilliertem Wasser schwimmenden Blättern des Bilsenkrautes eine Abnahme des Alkaloidgehaltes fest; die durch die Kutikula ausgewanderten Alkaloide konnten im Benetzungswasser nachgewiesen werden. 1950 untersuchte er *Nicotiana*- und *Datura*-Pflanzen, die unter Glasdach gezogen wurden. Zum Teil wurden sie ständig künstlich beregnet, zum Teil nur die Wurzeln begossen. Er stellte fest, daß im Laufe einer Vegetationsperiode mehr als 50 % des in die Blätter eingewanderten Alkaloids wieder aus ihnen ausgespült wurde.

Cappenberg und Harms (1939) fanden bei Alkaloidbestimmungen von *Chelidonium majus* L. bei Ernten nach Regen eine Abnahme der Gesamtmenge der Droge auf 1/3 bis 1/2 gegenüber Pflanzen, welche in Trockenperioden geerntet wurden.

Als Ursache einer wachstumshemmenden Wirkung von Wermut auf benachbarte Pflanzen fand Bode (1939) eine beträchtliche kutikulare Ausscheidung, die zu 82—88 % organischer Natur war (viel Absinthiin); unter den mineralischen Stoffen überwog K. Der Trockenrückstand in dem von den Blättern abfließenden Regenwasser war nach Schönwetterperioden am größten, bei längeren Regenperioden sank er. Die Ausscheidung pro Flächeneinheit nimmt mit der Insertionshöhe des Blattes zu (Kutikula permeabler).

Tamm (1951) untersuchte das von den Bäumen fallende Regenwasser. Im Herbst, kurz vor der Vergilbung der Blätter, fand er (Tabelle 5):

Tabelle 5

Ca- und K-Gehalt des Regenwassers

	Ca	K
Auf offenem Feld	0,4 mg/l	0,2 mg/l
	0,5 mg/l	0,3 mg/l
Unter Föhre	4,0 mg/l	6,3 mg/l
Eiche	9,1 mg/l	15,0 mg/l
Birke	7,2 mg/l	17,4 mg/l

an einem andern Standort 20—72 mg Asche und 15—114 mg organische Substanz mit 1,7—5,9 mg Ca und 1,8—6,1 mg K/l.

M e s (1954) bestimmte die Rekretion von P^{32} und oxypyrentrisulfosaurem Natrium in Prozent der aus der Nährlösung aufgenommenen Mengen. Die Abgabe war nicht abhängig von der Aufnahme, dagegen von Klima und Jahreszeit. Im Februar wurden, fünf Tage nach Zugabe von P^{32} zur Nährlösung, durch Eintauchen der Blätter in destilliertes Wasser in 10 bis 15 Minuten bis 11 % des aufgenommenen P wieder ausgeschieden, im Sommer und Herbst höchstens 4 %. Wurden Zweige in Lösungen mit oxypyrentrisulfosaurem Natrium gestellt und dann Tropfen von destilliertem Wasser auf die Blätter gebracht, so wurden im Sommer an der Sonne in wenigen Minuten ansehnliche Mengen des Salzes ausgeschieden, im Schatten und bei künstlicher Belichtung bedeutend weniger, im Spätherbst und Winter selbst in warmen und trockenen Gewächshausräumen trotz guter Aufnahme sehr wenig bis gar nichts. Die Rekretmengen sind also nicht nur abhängig von der Transpiration, sondern auch von andern, die Lösungsverteilung und die Permeabilität der Kutikula beeinflussenden Faktoren.

Eingehende, auch quantitative Untersuchungen über die kutikulare Rekretion stammen von A r e n s (1934). Er untersuchte zunächst das *p*H von Tautropfen auf den Blättern und fand, daß es immer höher war als das von reinem Tau (Guttationswasser reagiert sauer). Exosmierte Stoffe sind K, Ca, Mg, CO_3, PO_4, organische Substanzen. Er analysierte dann trockene und benetzte Blätter derselben Pflanze auf ihren Aschengehalt und setzte die Aschendifferenz der durch Benetzung ausgewaschenen Menge gleich (Tabelle 6).

Tabelle 6

Aschendifferenzen zwischen unbenetzten und benetzten Blättern

Resultate:	*Fuchsia* (20 Std.)	20 % Aschendifferenz/dm²
	Hedera Helix	38 % Aschendifferenz/dm²
	Taxus	50 % Aschendifferenz/dm²
	Beta	4,5 mg K_2O + 6,8 mg CaO/dm²

Junge Blätter geben weniger Stoffe ab.

In den ersten Stunden nach Benetzung wird die größte Stoffmenge ausgeschieden. Wachsüberzüge hemmen die Ausscheidung. Durch Temperaturerhöhung um 10° wächst die Menge der ausgeschiedenen Stoffe ungefähr auf das Doppelte.

Wichtig ist die Zeitdauer und die Art der Benetzung: Regen, Nebel oder Tau.

In einigen Fällen wurde neben der Asche auch K und Ca bestimmt, bei *Beta* außer dem Gehalt trockener und benetzter Blätter noch der Rückstand im Benetzungswasser (Tabelle 7).

Tabelle 7

Aschen-, K_2O- und CaO-Gehalt trockener und benetzter Blätter, bei *Beta* auch Rückstände im Benetzungswasser

	Asche/dm²	K_2O/dm²	CaO/dm²
Fagus trocken	39,1 mg	5,8 mg	13,9 mg
24 Std. eingetaucht	32,3 mg	2,3 mg	12,3 mg
Differenz	6,8 mg	3,5 mg	1,6 mg
Beta trocken	48,4 mg	12,5 mg	8,3 mg
18 Std. benetzt	32,4 mg	5,8 mg	7,3 mg
Differenz	16,0 mg	6,7 mg	1,0 mg
Rückstand im Benetzungswasser	29,1 mg	4,5 mg	6,8 mg

Die Differenzen trocken—benetzt entsprechen bei weitem nicht den im Benetzungswasser gefundenen Mengen, obwohl Arens schreibt, daß die Menge im Rückstand fast gleich der aus dem Blatt verschwundenen Menge sei.

Die im Herbst erfolgende Abnahme gewisser Stoffe in den Blättern, welche von vielen Forschern durch Rückwanderung dieser Stoffe in Stengel (Stamm) und Wurzel der Pflanze erklärt worden war, ist nach Arens durch kutikulare Rekretion bedingt. Im Herbst sind in unserem Klima Nebel und Regen häufig, und zudem kann die nachlassende Wurzeltätigkeit die Verluste nicht mehr kompensieren. Bei Gewächshauspflanzen sei keine Abnahme der Trockensubstanz feststellbar.

Auf Grund seiner Untersuchungen kommt Arens zum Schluß, daß der gesamte Aschengehalt im Laufe einer Vegetationsperiode mehrfach umgesetzt werde (einige hundert Stunden Benetzung im Jahr).

Seine Untersuchungen wurden durch Lausberg (1935) fortgesetzt (Tabelle 8).

Tabelle 8

K-, Ca- und Aschendifferenz zwischen trockenen Blättern und solchen, die nach Reinigung 5 Std. eingetaucht waren

	Differenz trocken–benetzt mg/dm²			Asche trocken
	K	Ca	Asche	mg/dm²
Aesculus Hippocastanum	1,77	0,42	3,6	29,3
Cucurbita Pepo	6,05	1,96	10,4	90,2
Datura arborea	4,80	0,95	13,2	104,5
Hedera Helix	11,52	2,76	24,1	132,3
Helianthus annuus	5,46	3,84	14,5	120,7
Plantago lanceolata	5,78	1,78	11,3	114,2
Ricinus communis	7,65	1,74	16,8	84,9
Rosa	5,85	2,69	14,1	80,6
Taraxacum officinale	3,22	0,67	7,4	42,9
Viola tricolor	5,12	1,63	7,9	56,5
Vitis vinifera	4,08	2,42	7,3	78,3
Vincetoxicum officinale	5,22	2,43	10,4	67,1

Tabelle 9

Blätter von Freilandpflanzen, vor und nach einem 6stündigen Regen analysiert: K-, Ca- und Aschendifferenz zwischen trockenen und benetzten Blättern

	Differenz trocken–benetzt mg/dm²			Asche trocken
	K	Ca	Asche	mg/dm²
Beta vulgaris, äußerer Blattkreis	5,18	0,97	23,2	90,6
2. Blattkreis	5,93	0,85	18,3	89,3
innerer Blattkreis	2,38	0,21	4,5	38,5
Hedera Helix, 1jährig	17,94	2,31	35,3	121,1
mehrjährig	25,78	4,05	44,3	124,4
Ilex aquifolium, 1jährig	3,71	0,93	9,2	53,7
mehrjährig	9,84	3,03	24,5	84,5
mehrjährig	10,24	3,22	27,0	89,4
Solanum tuberosum Blätter	17,05	1,42	30,0	95,6

Mit zunehmendem Alter findet eine gesteigerte Salzausscheidung statt, sogar dann, wenn die jungen Blätter mehr K enthalten als die älteren, wie bei *Beta, Hedera, Ilex,* und trotzdem ihre Kutikula noch dünn ist (Tabelle 9).

Durch die Blattoberseite exosmierten die Salze in viel stärkerem Maße als durch die Unterseite (Tabelle 10).

Tabelle 10

Rückstände im Benetzungswasser nach 8stündiger Benetzung bei 18°, bezogen auf 1 dm² Blattfläche

Blätter entweder mit Ober- oder Unterseite benetzt oder mit Ober- und Unterseite gleichzeitig

		Ober- oder Unterseite			Ober- und Unterseite		
		mg K	mg Ca	mg Asche	mg K	mg Ca	mg Asche
Beta vulgaris	Oberseite	8,2	3,4	16,7	8,6	3,6	5,1
	Unterseite	2,2	1,4	5,1	4,2	2,3	10,9
Ficus elastica	Oberseite	9,4	4,6	17,2	10,2	3,1	18,5
	Unterseite	7,5	2,0	13,6	9,1	2,1	16,1
Ricinus communis	Oberseite	5,3	2,6	13,3	4,5	1,8	12,9
	Unterseite	1,9	0,8	4,2	2,1	0,8	6,6
Solanum tuberosum	Oberseite	7,1	3,4	18,0	10,2	2,3	17,6
	Unterseite	2,4	1,2	7,5	4,7	1,0	10,0
Vicia Faba	Oberseite	5,3	1,8	11,5	4,2	1,5	10,8
	Unterseite	1,2	0	3,8	2,5	0,6	5,8

Im Gewächshaus in Erde gezogene Pflanzen wurden mit destilliertem Wasser künstlich beregnet (Tabelle 11).

Der Aschenverlust der entreiften Blätter ist bedeutend größer als der von Blättern mit unversehrtem Wachsüberzug. Bei längerer Bereg-

Tabelle 11
Differenz des Gehaltes trockener und mit dest. Wasser künstlich beregneter Blätter in mg/dm²

	Std.	K	Ca	Asche	Asche trocken
		Differenz			
Brassica Napus	4	0,05	0,09	1,8	136,5
	8	2,86	0,67	5,4	138,4
entreift	4	6,7	1,4	15,7	142,6
	8	11,0	2,2	22,6	140,2
Pisum sativum	6	0,2	0	0,9	140,9
	8	2,25	0,5	3,1	137,8
entreift	6	5,97	1,29	12,7	139,6
	10	8,9	1,74	18,9	134,2

nung kann die Wachsschicht den Durchtritt der Salze nicht ganz verhindern. Die Benetzbarkeit nimmt allmählich zu.

Um die Salzabgabe über längere Perioden zu bestimmen, wurden *Ricinus communis*- und *Vicia Faba*-Pflanzen drei Wochen lang täglich eine Stunde in 1500 ml destilliertes Wasser getaucht. Bei *Ricinus* wurde der gesamte Aschengehalt einmal umgesetzt, Ca ebenfalls, K sogar zweimal, bei den jüngeren *Vicia*-Pflanzen wurden Asche, Ca und K je etwa einmal umgesetzt.

Zu ganz anderen Resultaten gelangt Engel (1939). Schon die *p*H-Messungen des Regenwassers widersprechen den Befunden von Arens. Reines Regenwasser hatte ein *p*H von 4—4,25(—5), Regenwasser auf den Blättern 4,25—4,5(—5), blieb also immer deutlich sauer, obschon sich die Leitfähigkeit auf den Blättern erhöht hatte. Die einzelnen Werte schwanken sehr stark, bedingt durch Verunreinigungen. Diesen Versuchen wäre allerdings entgegenzuhalten, daß Engel das am Ende des Regens noch auf den Blättern gebliebene Regenwasser gemessen hat. (Nach Arens wird dann nicht mehr viel ausgeschieden.)

Eine stärkere Erhöhung der Leitfähigkeit als Regen verursachte die Benetzung durch Tau; die *p*H-Werte schwanken zwischen 3,0 und 7,8, Mittelwert 4,6—5,0 (reiner Tau 5,0—5,4).

Auch durch Benetzung mit destilliertem Wasser konnte Engel keine allgemeine Erhöhung des *p*H feststellen. Am deutlichsten zeigte sich die Wirkung an Blättern, die bereits Anzeichen der Vergilbung aufwiesen, auch bei noch grünen Blättern gegen Ende der Vegetationsperiode.

Um die Menge der ausgewaschenen Stoffe festzustellen, bestimmte Engel

1. die Aschendifferenz zwischen trockenen und benetzten Blättern und
2. den Rückstand im Benetzungswasser.

Obwohl er 5 bis 10 Blätter je Bestimmung verwendete, sind die Aschendifferenzen bald positiv, bald negativ; der Mineralstoffgehalt der einzelnen Blätter ist sehr verschieden. (Arens und Lausberg geben nicht an, wie viele Blätter sie pro Bestimmung verwendet haben.) Bei allen untersuchten Pflanzen wurden Mineralstoffe abgegeben: bis 1 mg/dm². Die Aschenverluste waren meist unter 5 %, höchstens bis 8,5 %. Gelbe Blätter geben viel mehr ab als grüne. Zum Vergleich sind in Tabelle 12 einige Zahlen wiedergegeben.

Tabelle 12
Aschendifferenz zwischen trockenen und benetzten Blättern und Asche im Benetzungswasser in mg/dm² Blattfläche

	Std.	Asche trocken	Aschen-differenz	Asche im Benetzungswasser
Hedera Helix	24	64,9	— 7,9	0,29
	19	44,9	+ 1,9	0,43
Rhododendron species	26	46,3	+ 1,7	0,30
Prunus laurocerasus	21	92,7	+15,3	0
Polygonum sachalinense	23	29,5	— 4,4	0,29
Aristolochia clematitis	21	34,0	+ 0,7	0,25
Robinia pseudacacia	23	25,3	— 3,2	1,21
	19	22,7	— 2,3	1,76
Aristolochia Sipho	24	25,7	+ 3,1	0,51
Fagus silvatica .... gereinigt	25	37,9	+ 7,9	1,00
nicht gereinigt	24	57,8	— 5,1	1,74
Hedera Helix Oberseite	24	50,0		0,09
Unterseite	24	67,5		0,27
Ribes sanguinea Oberseite	25	41,4		0,15
Unterseite	25	40,4		0,68
Tilia americana grün	24	38,6		2,84
gelb	24	52,2		4,49
Aesculus hippocastanum grün	24	31,6		0,42
gelb	24	24,5		0,64
Diospyros Lotus grün	24	38,5	+ 0,8	0,20
gelb	24	28,9	+ 3,7	1,66

2. Stoffaufnahme durch die Blätter

Wenn Stoffe durch die Kutikula aus dem Blatt austreten können, muß es umgekehrt auch möglich sein, Stoffe von außen ins Blatt hineinzubringen, und zwar sowohl Wasser (Umkehr der Transpiration) als auch Mineralstoffe und organische Stoffe.

a) Aufnahme von Wasser

Bereits 1877 hat Boehm festgestellt, daß abgeschnittene Blätter von *Syringa,* die an der Luft fast die Hälfte des Gewichtes durch Verdunstung verloren hatten, durch Eintauchen in Wasser beinahe das ursprüngliche Gewicht wieder erreichten. Allerdings vertrockneten sie

nachher viel rascher als frisch geschnittene. Drei bis vier Wochen alte Nährlösungspflanzen wurden aus der Lösung genommen, die Wurzeln in feuchte Tücher geschlagen und die Blätter welken gelassen. Nachher wurde ein Teil der Pflanzen wieder mit den Wurzeln in Wasser gestellt und unter eine Glasglocke gebracht: sie starben trotzdem ab. Ein anderer Teil wurde nur mit den oberirdischen Pflanzenteilen unter Wasser getaucht: sie erholten sich wieder innerhalb von zwölf Stunden und wuchsen nachher normal weiter.

Daß tatsächlich Wasser aufgenommen wird und sogar an andere Blätter weitergegeben werden kann, zeigt auch folgender Versuch: 3 Wochen alte Pflanzen wurden abgeschnitten, der Stengel und ein Blatt befanden sich in Luft, ein Blatt ganz in Wasser. Das Ganze wurde zudem täglich 1 Stunde unter eine Glasglocke in CO_2haltige Atmosphäre gebracht: Die Pflanzen blieben sechs Wochen gesund.

Auch Wetzel (1924) untersuchte die Wasseraufnahme höherer Pflanzen durch oberirdische Organe. Angewelkte Blätter der untersuchten Pflanzen nahmen Wasser mit ihrer Oberfläche auf, wenn sie 12 Stunden benetzt wurden. Bedingung ist eine Benetzbarkeit der Kutikula: eine Wachsschicht wirkte stark hemmend, ebenso dichtstehende Haare. Junge Blätter, die über eine dünne Kutikula verfügen, nehmen mehr Wasser auf. Die Geschwindigkeit der Aufnahme durch die Blätter ist kleiner als bei Aufnahme durch die Wurzel. Die Versuche sprechen gegen eine Aufnahme durch die Spaltöffnungen.

Hiltner (1930) untersuchte die Wirkung des Taus auf oberirdische Organe. Eine Levkoje in Wasserkultur hatte in einer Nacht durch die Blätter 12,5 g Tau aufgenommen = 15,6 % des gesamten Wasserverbrauchs im Laufe eines Tages, eine andere Pflanze sogar 37 g = 46 % ihres Wasserverbrauches in 24 Stunden (= 32 % des auf die Pflanze gefallenen Taus). Eine 2 m hohe Erle mit 1320 Blättern hatte dagegen nur 6,7 g Tau aufgenommen (d. h. Wasseraufnahme durch die Blätter — Transpirations- und Atmungsverluste). Bepinseln mit reinem Wasser hatte eine günstige Wirkung auf das Wachstum von Hafer. Ebenso brachte künstliche Betauung bei Hafer und Senf trotz normaler Wasserversorgung eine Ertragssteigerung. Der Aschengehalt in Prozent der Trockensubstanz war geringer. Hiltner glaubt, daß das aufgenommene Wasser lösungsverdünnend wirke, was die Assimilationsmöglichkeit erhöhe und damit zur Bildung größerer Mengen organischer Substanz und zur Abnahme des Aschengehaltes führe. Die Blätter der Zimmerlinde, die gegenüber trockener Luft empfindlich sind, nehmen besonders rasch Wasser auf.

Krause (1935) ließ die Blätter verschiedener Pflanzen welken (meist um 15 % des Frischgewichtes) und tauchte sie dann mit der Spreite in Wasser. Die Wasseraufnahme war je nach dem Blattbau sehr verschieden:

Steppenpflanzen: *Onosma Visianii, Potentilla arenaria* und Gewächshaus-*Selaginellen:* rasche Wasseraufnahme; Wasserdefizit in wenigen Stunden aufgefüllt. (Dabei waren die Haarbasen bei *Onosma* hervorragend beteiligt. Siehe auch Strugger und Rouschal.)

Hartlaubgewächse, Sukkulenten: keine Aufnahme.

Laubbäume: Die Wasseraufnahmefähigkeit geht mit dem Erstarken der Kutikula nach der Blattentfaltung rasch zurück.

Härtel und Eisenzopf (1952) fanden, daß die kutikulare Wasseraufnahme bei Koniferennadeln im Sommer praktisch ohne Bedeutung ist, dagegen im Winter bei erschwerter Wasseraufnahme aus dem Boden die Wasserverluste innerhalb 24 Stunden reichlich kompensieren kann. Die kutikulare Wasseraufnahme ist größer an der Peripherie der Krone und an exponierten Standorten.

b) Aufnahme von Mineralstoffen

Schon Hiltner (1909) bemerkte, daß mit Cu-Präparaten bespritzte Reben oder Kartoffeln länger grün bleiben. Durch Aufspritzen verdünnter Lösungen von Eisenvitriol auf Blätter können bei der Kalkchlorose von Reben, Lupinen, *Ulex europaeum,* Besenginster, Erbsen, Wickenarten gute Wirkungen erzielt werden. Stärker konzentrierte Lösungen vernichten Hederich und Ackersenf.

1912 zog Hiltner Senf in reinem Quarzsand und fügte außer K alle Nährstoffe zu. Die Pflanzen stellten das Wachstum ein und gingen zugrunde. Wenn aber von Zeit zu Zeit sorgfältig 2 % Kalisalzlösungen (KCl, K_2SO_4) auf die Blätter aufgepinselt wurden, zeigten die Pflanzen normales, bis zur Fruchtreife führendes Wachstum.

Hiltner und Kronberger (1924) haben ihre Versuche auf Tabak ausgedehnt. Durch die Blätter wurden aufgenommen: K, Phosphat, Ammonium, Nitrat, Ca, Mg; die Wirkung war besonders deutlich, wenn nur ein Ion gegeben wurde. Bei Gelbhafer und Kürbis auf Quarzsand zeigte Bepinseln mit K oder Nitrat oder Phosphat, bei Abwesenheit dieser Ionen in der Nährlösung, gute Wirkung. Der Erfolg war zum Teil besser als bei Zugabe durch die Wurzeln, da diese geschädigt waren. Es konnten sogar kranke Wurzeln durch Ernährung von den Blättern aus geheilt werden.

Olivier (1952) besprühte Pflanzen mit radioaktiven Phosphaten. Nach kurzer Zeit war radioaktiver Phosphor in allen wachsenden Pflanzenteilen nachweisbar.

c) Aufnahme von organischen Stoffen

Went (1948) zeigte, daß die Pflanzen auch Zuckerlösungen durch die Blätter aufnehmen können. Pflanzen, die im Dunkeln gehalten wurden, wuchsen bei Zugabe von Zuckerlösungen zu den Blättern um so besser weiter, je mehr Blätter eingetaucht wurden. Der Zucker dringt

dabei durch die intakte Epidermis. Noch besser war allerdings die Wirkung, wenn man die Blätter bis ins Mesophyll punktierte. Es konnte festgestellt werden, daß kein Zucker durch die Stomata eindrang. Selbst bei belichteten Pflanzen bewirkte Zuckerzugabe ein besseres Wachstum, bessere Blütenbildung, wobei Eintauchen wirksamer war als Bespritzen.

3. Direkter Nachweis der kutikularen Rekretion

Der Nachweis der submikroskopischen Poren in der Kutikula gelang Strugger (1939) auf fluoreszenzoptischem Weg durch Einstellen des Sprosses von *Helxine Soleirolii* Req. in Berberinsulfat 1 : 100 und Auftragen von 0,5 % Gelatine + 0,9 Mol Glucose + 0,1 Mol KCNS. Nach zirka einer halben Stunde entstanden Ausblühungen von Berberinrhodanid an der Unterseite junger Blätter an Kutikularleisten der Stomata, basalen Zellen von Drüsenhaaren, später auch an Epidermisoberflächen.

Zum selben Ergebnis kamen Rouschal und Strugger (1940) auf dem umgekehrten Weg: Einstellen der Blätter in 0,1 m KCNS-Lösung, 1—3 Stunden frei transpirieren lassen; dann 5 % Gelatine + 1 Mol Glucose + 0,1 % Berberinsulfat auftragen. Nach wenigen Minuten wurden Kristalle von Berberinrhodanid sichtbar, bei *Urtica urens* vor allem auf den Drüsenhaaren, besonders am Blattrand, ebenso an Deckhaaren der Nerven, bei *Primula obconica* auch an Hydathodenspalten, bei *Viola tricolor* und *Stellaria media* an Kutikularleisten der Schließzellen.

Aus all diesen Versuchen ergibt sich also, daß nicht nur Wasser, sondern auch Salze und organische Stoffe durch die submikroskopischen Poren der Kutikula aus dem Blatt auswandern und vom Blatt auf demselben Weg aufgenommen werden können.

Die Ergebnisse der quantitativen Bestimmungen von kutikular ausgeschiedenen Stoffen gehen sehr stark auseinander. Damit wird die Bedeutung der kutikularen Rekretion auch ganz verschieden bewertet. Wir werden nach der Besprechung unserer eigenen Versuche auf diese Fragen zurückkommen.

III. Eigene Untersuchungen

1. Versuchsanordnung

Sämtliche Pflanzen wurden im Gewächshaus gezogen, um eine Verschmutzung der Blätter möglichst zu vermeiden.

Es wurden Pflanzen von *Ricinus communis* und *Nicotiana tabacum* (Mont-Calme brun) untersucht. Die *Ricinus*-Pflanzen wurden alle in Töpfen mit Erde gezogen, die Tabakpflanzen teilweise in Erde, teilweise auf Nährlösung in Wasserkultur.

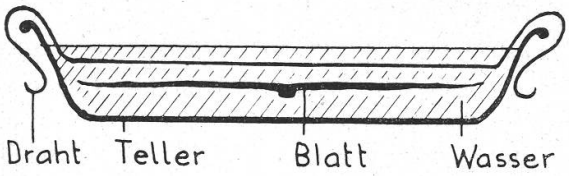
Als Nährlösung wurde folgende, von Huter (1947) speziell für Tabak zusammengestellte Lösung verwendet:

K_2HPO_4	200 mg/l	Lösung
$Ca(NO_3)_2$	450 mg/l	»
KNO_3	320 mg/l	»
KCl	90 mg/l	»
$MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$ . . .	200 mg/l	»
$FeSO_4 \cdot 7\,H_2O$ . . .	5 mg/l	»

Dazu pro Liter Lösung 1 ml der folgenden Spurenelemente-Lösung:

H_3BO_3	2,68 g/l
$MnCl_2$	1,81 g/l
$ZnSO_4$	0,22 g/l
H_2MoO_4	0,09 g/l

Die für den Versuch bestimmten Blätter wurden an der Pflanze von unten nach oben numeriert. Dann wurden sie entweder an der Pflanze, meist aber abgeschnitten und die Schnittflächen kurz in verflüssigtes Paraffin getaucht, rasch in einem Teller voll destillierten Wassers mit einem weichen Pinsel auf beiden Seiten von anhaftendem Staub befreit.



Figur 1
Versuchsanordnung

Darauf tauchten wir die Blätter einzeln in je einen mit 1 Liter destilliertem Wasser gefüllten Al-Teller (bei sehr großen oder unebenen Blättern benötigten wir manchmal mehr Wasser). Es wurde dafür gesorgt, daß sich keine Luftblasen unter den Blättern befanden. Damit die Blätter nicht an der Oberfläche schwammen, wurden sie mit Al-Drähten, die um den Rand des Tellers geklemmt wurden, unter die Oberfläche gedrückt. Verletzungen und Quetschungen der Blätter, besonders der Blattrippen, wurden sorgfältig vermieden. Waren die Blattflächen größer als der Teller, wurden sie so umgelegt, daß keine Knickstellen entstanden.

Während der Versuchszeit wurden die Gefäße in einem verschlossenen Schrank aufbewahrt, um jede Verunreinigung zu vermeiden.

Um allfällige Konzentrationsänderungen um das Blatt auszugleichen, wurden die Blätter vor dem Herausnehmen gründlich im Gefäß bewegt. Danach ließen wir sie über dem Teller gut abtropfen und an der Luft trocknen. Die Blätter wurden dann abgezeichnet und die Blattflächen planimetriert.

Das Benetzungswasser jedes Blattes wurde in drei gleiche Teile geteilt und in Bechergläsern unter Zugabe von einigen Tropfen konzentrierter HCl auf 50 bis 25 ml eingedampft. Konnten die Lösungen nicht

sofort eingedampft werden, gaben wir 3 Tropfen Phenol (85 %) pro Liter zu, um Wachstum von Bakterien, Pilzen, Algen zu vermeiden. Da das Benetzungswasser viel organisches Material enthielt, waren sonst oft schon nach einem Tag die Teller mit einem ganzen Rasen von Bakterien bedeckt. Nach dem Eindampfen wurde dann noch Phenol zugesetzt bis zu 2 Tropfen je 25 ml. Sofort eingedampfte Lösungen wurden erst nachträglich mit Phenol versetzt. Waren die Lösungen nicht absolut klar, wurden sie durch ein aschefreies Filter gegossen.

Wir beschränkten uns auf die Bestimmung der Kationen K und Ca, die sich nach Arens gemäß ihrer verschiedenen Wertigkeit und der verschiedenen Löslichkeit ihrer Salze unterschiedlich verhalten sollen.

Die Analysen wurden serienweise in einem Beckmann-Flammenspektrophotometer im agrikulturchemischen Institut der ETH (Prof. Deuel) ausgeführt, und ich möchte an dieser Stelle für das mir gewährte Gastrecht herzlich danken. Für die Bestimmung wurde die K-Linie bei 768 mμ und die Ca-Linie bei 554 mμ verwendet. Mit höchstens 1 % Fehler sind Konzentrationen bis 10 mg K/l und 50 mg Ca/l bestimmbar, mit 2 bis 3 % Fehler noch zehnmal kleinere Konzentrationen. Für eine Messung werden zirka 3 ml Lösung benötigt. Bei kleinen Konzentrationen findet keine gegenseitige Beeinflussung der Spektrallinien-Intensitäten dieser beiden Ionen statt. Für jede Serie wurden Eichkurven von Testlösungen aufgenommen, die die beiden Ionen K und Ca in gleichen Konzentrationen als Chlorid enthielten. Nach je 6—12 Versuchslösungen wurde die Einstellung mit der konzentriertesten Eichlösung wieder kontrolliert. Bei Konzentrationen bis 10 mg/l sind die Eichkurven für K und Ca gerade, bei größeren Konzentrationen schwach nach oben konvex. Aus den Eichkurven wurden dann die Konzentrationen der Versuchslösungen graphisch ermittelt und aus dem Mittelwert der drei Lösungen eines Blattes die ausgeschiedenen Mengen K und Ca je dm^2 Blattfläche berechnet.

Wie ältere Arbeiten zeigen (Swart, Wehmer, Bauer), ist die Wahl der Bezugsgröße außerordentlich wichtig. Frischgewicht, Trokkengewicht, Aschengehalt sind ungeeignet, da sie auch bei ausgewachsenen Blättern rasch wechseln können. Konstant ist bei ausgewachsenen Blättern nur die Blattfläche. Auf sie sollte man auch die Aschenanalysen beziehen, um etwas über die wirkliche Verschiebung einzelner Nährstoffe aussagen zu können.

Das destillierte Wasser wurde mit einer kleinen Ionenaustauscheranlage selber hergestellt. Für Kationen wurde Dawex 50, für Anionen Dawex 2 der Hydrochemie AG Zürich verwendet. Die Durchflußmenge betrug zirka 30 ml/min, was einer raschen Tropfenfolge entspricht. Die Kapazität der Anlage betrug zirka 200 l (je zirka 750 g Austauscher), dann mußten die Austauscher regeneriert werden. Das so hergestellte Wasser war stets absolut frei von K und Ca.

2. Vorversuche

a) Eindampfgefäße

In ausgekochten Pyrex- und Quarzbechergläsern von 1,5—2 l Inhalt wurde bis 1 Liter destilliertes Wasser mit wenig HCl sowie Lösungen mit bestimmtem KCl- und $CaCl_2$-Gehalt auf 25 ml eingedampft. Die Analysen zeigten, daß die Pyrexgefäße in diesen Versuchen keine K- und Ca-Ionen an das Wasser abgaben.

b) Eindampfen

Je 1 Liter Lösung mit 30, 15, 7,5, 3, 1,5, 0,75, 0,3 mg K und ebensoviel Ca wurde in je drei gleichen Teilen auf 50 ml eingedampft und je 4 Tropfen Phenol zugesetzt. Dann wurde analysiert. Die drei zusammengehörigen Werte stimmten immer sehr gut überein, und der Fehler ihres Mittelwertes gegenüber dem Sollwert war immer unter 1 %, bei Konzentrationen über 10 mg/l überhaupt 0. Durch das Eindampfen der Lösungen kann also ein Fehler von höchstens 1 % entstehen; es geht aus den Lösungen nichts verloren.

c) Reinigung der Blätter

Die zu untersuchenden Tabakblätter wurden gründlich mit einem trockenen Pinsel, darauf in üblicher Weise durch kurzes Eintauchen und Abpinseln in destilliertem Wasser gereinigt. Das Waschwasser wurde dann eingedampft und die noch vorhandenen Staubpartikel abfiltriert. Die Analyse ergab zum Beispiel:

$$0{,}095 \text{ mg K/dm}^2 + 0{,}395 \text{ mg Ca/dm}^2$$
$$0{,}204 \text{ mg K/dm}^2 + 0{,}328 \text{ mg Ca/dm}^2$$
$$0{,}149 \text{ mg K/dm}^2 + 0{,}551 \text{ mg Ca/dm}^2$$

Die K-Mengen sind von der Größenordnung der Rekretmengen, bei Ca betragen sie sogar ein Vielfaches davon. Die gründliche Reinigung der Blätter ist also eine wesentliche Voraussetzung für eine sinnvolle Rekretbestimmung.

Dabei waren wir uns klar, daß wir mit dieser Methode nicht nur anhaftenden Staub entfernten, sondern eventuell auch in geringer Menge Stoffe, die in der Epidermis abgelagert worden sind. In der kurzen Reinigungszeit werden jedoch kaum merkliche Mengen durch die Kutikula hindurch aus der Epidermis ausgewaschen. Der Fehler bei der Rekretbestimmung wird also auf diese Art sicher kleiner als bei ungenügender Reinigung der Blätter.

Geringe Verletzungen der Blätter vor dem Eintauchen, zum Beispiel beim Reinigen, waren entgegen unseren anfänglichen Annahmen ohne Einfluß auf die abgegebenen Rekretmengen: es wurde nicht mehr ausgeschieden.

d) Eintauchen

In einzelnen Fällen waren die Blätter nach dem Eintauchen teilweise mit Wasser infiltriert. Die Infiltration war aber ohne Einfluß auf die Rekretmengen. Die an die Atemhöhlen angrenzenden Zellen reagieren also gleich wie die andern Epidermiszellen. Popoff (1941) stellte ja auch fest, daß infiltrierte Blätter weiter assimilieren können.

3. Versuchsergebnisse

A. Tabak

a) Abgeschnittene Blätter/Blätter an der Pflanze

Es wurde festgestellt, ob abgeschnittene Blätter mehr ausscheiden als Blätter, die zum Eintauchen an der Pflanze belassen werden.

Versuch 1 (Tabelle 13)

Material: Jüngere Tabakpflanze aus einem Topf mit Erde, sehr schön grün, beginnt zu blühen.

Versuchsbedingungen: Blätter abwechselnd abgeschnitten bzw. an der Pflanze 16 Std. in je 1 Liter destilliertes Wasser eingetaucht.

Tabelle 13

Rekretmengen von abgeschnittenen Blättern und solchen, die an der Pflanze belassen wurden. Eintauchzeit 16 Std.

Blatt	mg K/dm²		mg Ca/dm²	
	an Pflanze	abgeschnitten	an Pflanze	abgeschnitten
1	0,280		0,196	
2		0,337		0,229
3	0,291		0,222	
4		0,228		0,136
5	0,112		0,112	
6		(0,538)		0,178
7	0,332		0,219	
8		0,256		0,189
9	0,251		0,139	
10		0,096		0,126
11	0,157		0,120	
12		0,172		0,178
13	0,094		0,123	
14		0,108		0,200
Mittel	0,217	0,200 (0,248)	0,162	0,177

Die Werte streuen ziemlich stark, aber es ist in 16 Stunden kein Unterschied feststellbar zwischen abgeschnittenen Blättern und Blättern, die an der Pflanze belassen wurden.

b) Dauernde und intermittierende Benetzung

Versuch 2 (Tabelle 14)

Material: Alte, nicht mehr ganz grüne Pflanze auf einfacher Knopscher Nährlösung.

Versuchsbedingungen: Blätter abgeschnitten, 8 Stunden eingetaucht, zum Teil wurde das Wasser nach je 2 Stunden erneuert, zum Teil blieben die Blätter 8 Stunden im selben Wasser, wurden dann aber nach je 2 Stunden gründlich bewegt.

Versuch 3

Wie Versuch 2, aber Blätter an der Pflanze eingetaucht.
Pflanze einen Monat älter.

Versuch 4

Wie Versuch 3, Pflanze jedoch eine Woche älter.

Beim K entsprechen die Totalmengen nach viermal 2 Stunden ungefähr den Werten der 8 Stunden ununterbrochen eingetauchten Blätter, beim Ca ergeben sich in viermal 2 Stunden höhere Werte als in 8 Stunden. Dies dürfte auf eine Verkleinerung des Konzentrationsgefälles bei fehlender Auswechslung des Wassers zurückzuführen sein, obwohl die Konzentrationen im Benetzungswasser außerordentlich gering sind: zirka 0,6 mg Ca/l. Bei Ca kann die totale Rekretmenge durch längere Benetzungszeiten also nur wenig gesteigert werden. Bei stets erneuerter Benetzung wird Ca verhältnismäßig rascher ausgewaschen als K.

c) Ernährung der Pflanzen

Benetzungsdauer überall 16 Stunden. Blätter abgeschnitten. Die Kurven geben die von den einzelnen Blättern abgegebenen K- und Ca-Mengen. Auf der Abszisse sind von links nach rechts die Nummern der Blätter aufgetragen.

○ = K
● = Ca

Die mit × bezeichneten Punkte wurden bei der Berechnung der Mittelwerte nicht berücksichtigt.

Versuche 5 bis 8 (Figur *2 a* bis *d*)

Material: 4 gleiche Pflanzen in Töpfen mit Erde. Die Pflanzen waren sehr schön grün und begannen eben zu blühen.

Versuch 6

10 Tage später als Versuch 5.

Versuch 7

22 Tage später.

Versuch 8

33 Tage später.

Tabelle 14

Blätter 8 Std. eingetaucht, z. T. ohne Unterbruch, z. T. wurde nach je 2 Std. das Benetzungswasser erneuert. K- und Ca-Mengen im Benetzungswasser

Versuch	Blatt	Zeit	mg K/dm²	in 8 Std.	mg Ca/dm²	in 8 Std.
2	1	0—2 Std.	0,068	0,211	0,107	0,384
		2—4	0,046		0,101	
		4—6	0,042		—	
		6—8	0,055		0,080	
	2	0—2	0,075	0,263	0,095	0,348
		2—4	0,053		0,079	
		4—6	0,083		0,099	
		6—8	0,052		0,075	
	3	0—8		0,141		0,117
	4	0—8		0,166		0,156
3	1	0—2 Std.	0,122	0,334	0,146	0,510
		2—4	0,063		0,149	
		4—6	0,059		0,033	
		6—8	0,090		0,182	
	2	0—2	0,130	0,414	0,264	1,012
		2—4	0,092		0,226	
		4—6	0,086		—	
		6—8	0,106		0,269	
	3	0—2	0,091	0,291	0,176	0,603
		2—4	0,095		0,178	
		4—6	0,040		0,034	
		6—8	0,065		0,215	
	4	0—8		0,222		0,273
	5	0—8		0,321		0,280
4	3	0—2 Std.	0,176	1,124	0,363	1,208
		2—4	0,256		0,272	
		4—6	0,366		0,304	
		6—8	0,326		0,269	
	4	0—2	0,383	1,029	0,533	1,614
		2—4	0,275		0,342	
		4—6	0,178		0,301	
		6—8	0,193		0,438	
	6	0—2	0,154	0,706	0,330	1,470
		2—4	0,208		0,572	
		4—6	0,178		0,283	
		6—8	0,166		0,285	
	1	0—8		0,760		0,693
	2	0—8		0,905		0,498
	5	0—8		0,638		0,495

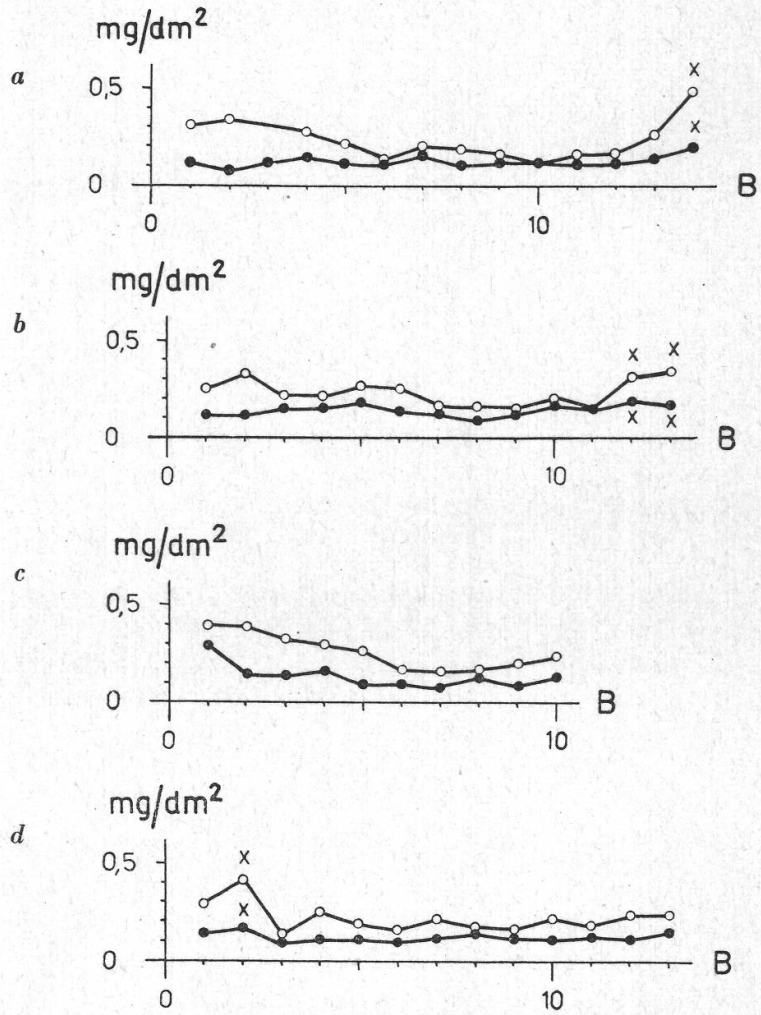
Versuche 9 bis 18

Material: Pflanzen derselben Serie in Erde, einfacher Nährlösung, dreifacher Nährlösung. Alter der Pflanzen verschieden.

Versuch 9 (Figur 3 *a*)

Pflanze in Erde, zirka 180 cm hoch, ohne Seitenzweige. Blätter dünn, schön grün. Alter 25 Wochen (Pflanze bereits verblüht).

Die untersten Blätter teilweise mit braunen, abgestorbenen Stellen am Rand.



Figur 2 *a—d*
Von einzelnen Blättern an das Benetzungswasser abgegebene Rekretmengen.
Benetzungszeit: 16 Std. Pflanzen in Erde
B = Blattnummer; ○ = K; ● = Ca

Versuch 10 (Figur 3 *b*)

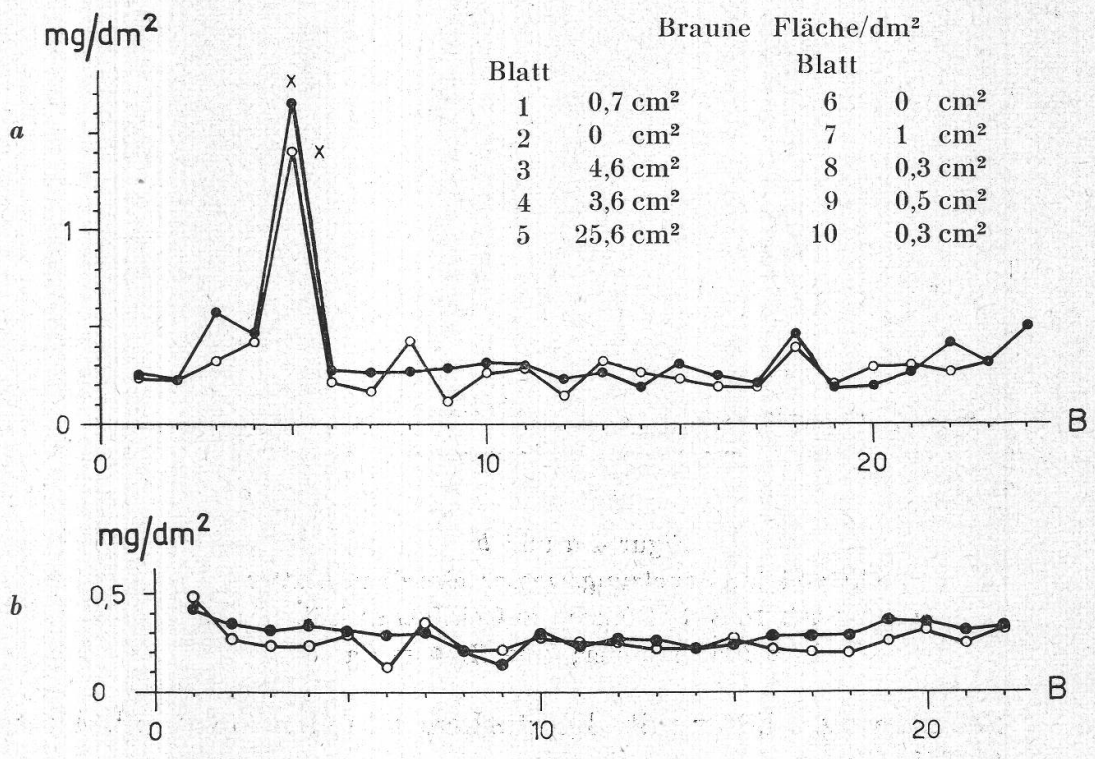
Wie Versuch 9. Blätter etwas gelblich, aber ohne abgestorbene Stellen. Alter 27 Wochen.

Versuch 11 (Figur 4 *a*)

Pflanze auf einfacher Nährlösung, sehr schön grün, mit Blütenknospe. Alter 15 Wochen.

Versuch 12 (Figur 4 *b*)

Pflanze auf einfacher Nährlösung, schön grün, blühend. Alter 20 Wochen.



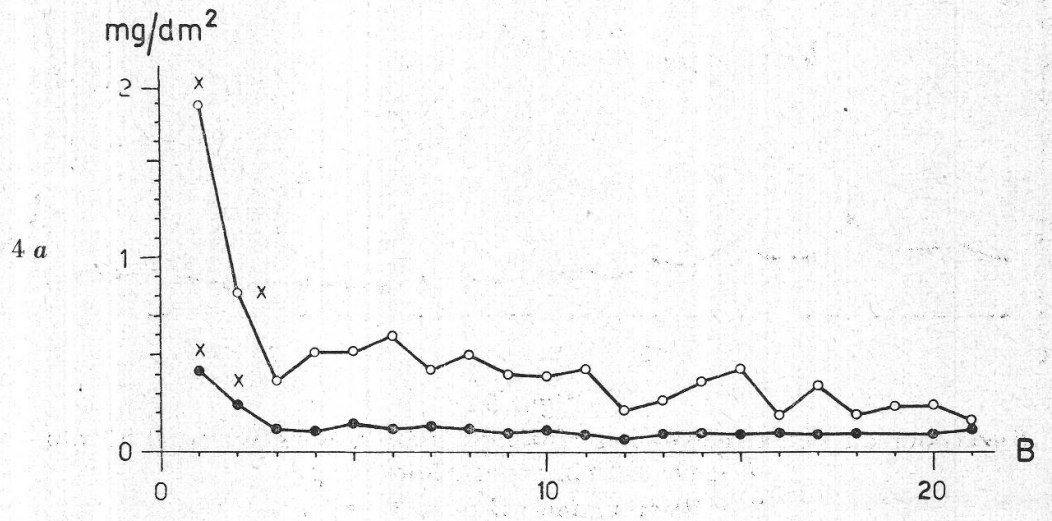
Figur 3 *a* und *b*
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter.
Benetzungszeit 16 Std. Pflanzen in Erde
B = Blattnummer; ○ = K; ● = Ca

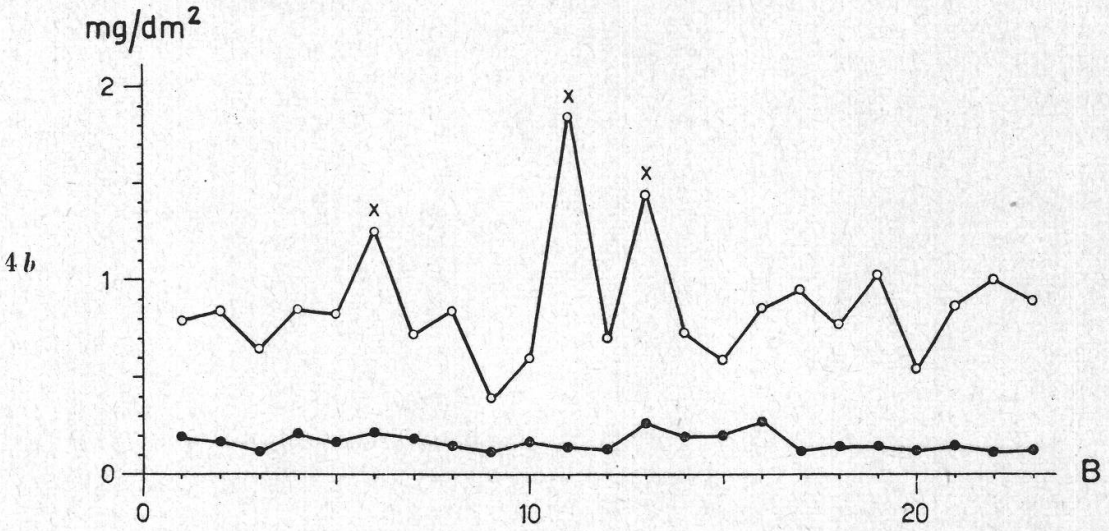
Versuch 13 (Figur 5)

Pflanze auf einfacher Nährlösung, schön grün. Alter 22 Wochen.

Versuch 14 (Figur 6)

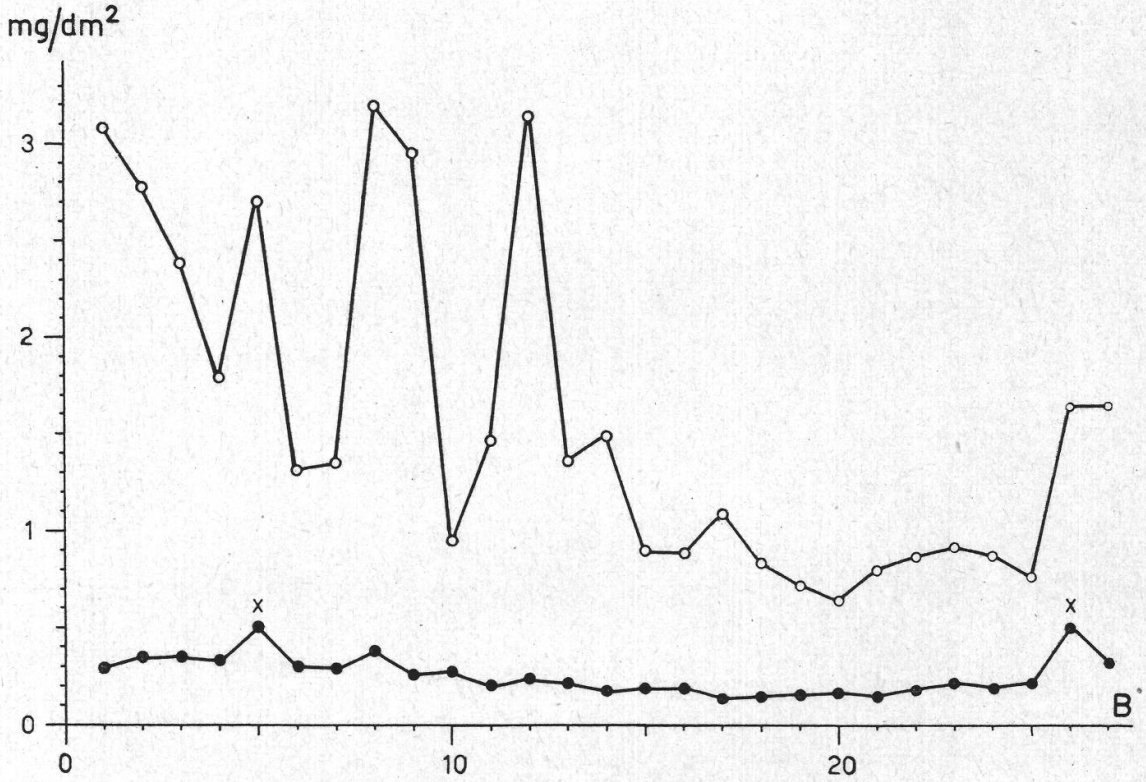
Pflanze auf einfacher Nährlösung. Alte, verblühte Pflanze mit





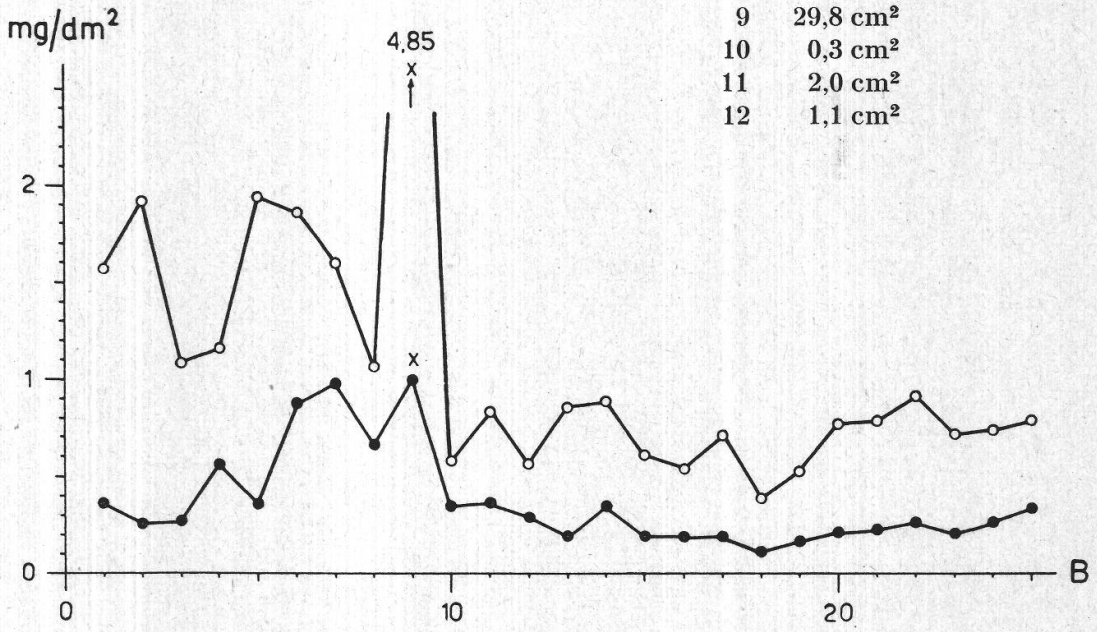
Figur 4 *a* und *b*
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter
Benetzungszeit 16 Std. Pfanzen auf einfacher Nährlösung
B = Blattnummer; O = K; ● = Ca

Seitenzweig. Blätter mit abgestorbenen Stellen am Rand. Alter 23 Wochen.



Figur 5
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std.
Pflanze auf einfacher Nährlösung
B = Blattnummer; O = K; ● = Ca

Blatt	Braune Fläche/dm²
1	6,0 cm²
2	5,6 cm²
3	4,6 cm²
4	6,8 cm²
5	15,7 cm²
6	14,4 cm²
7	12,1 cm²
8	10,3 cm²
9	29,8 cm²
10	0,3 cm²
11	2,0 cm²
12	1,1 cm²



Figur 6
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std.
Pflanze auf einfacher Nährlösung
B = Blattnummer; ○ = K; ● = Ca

Versuch 15 (Figur 7)

Pflanze auf dreifacher Nährlösung. Beginnt zu blühen. Alter 10 Wochen.

Versuch 16 (Figur 8 *a*)

Pflanze auf dreifacher Nährlösung, Blätter dick, zäh, unelastisch, etwas weniger grün. Alter 16 Wochen.

Versuch 17 (Figur 8 *b*)

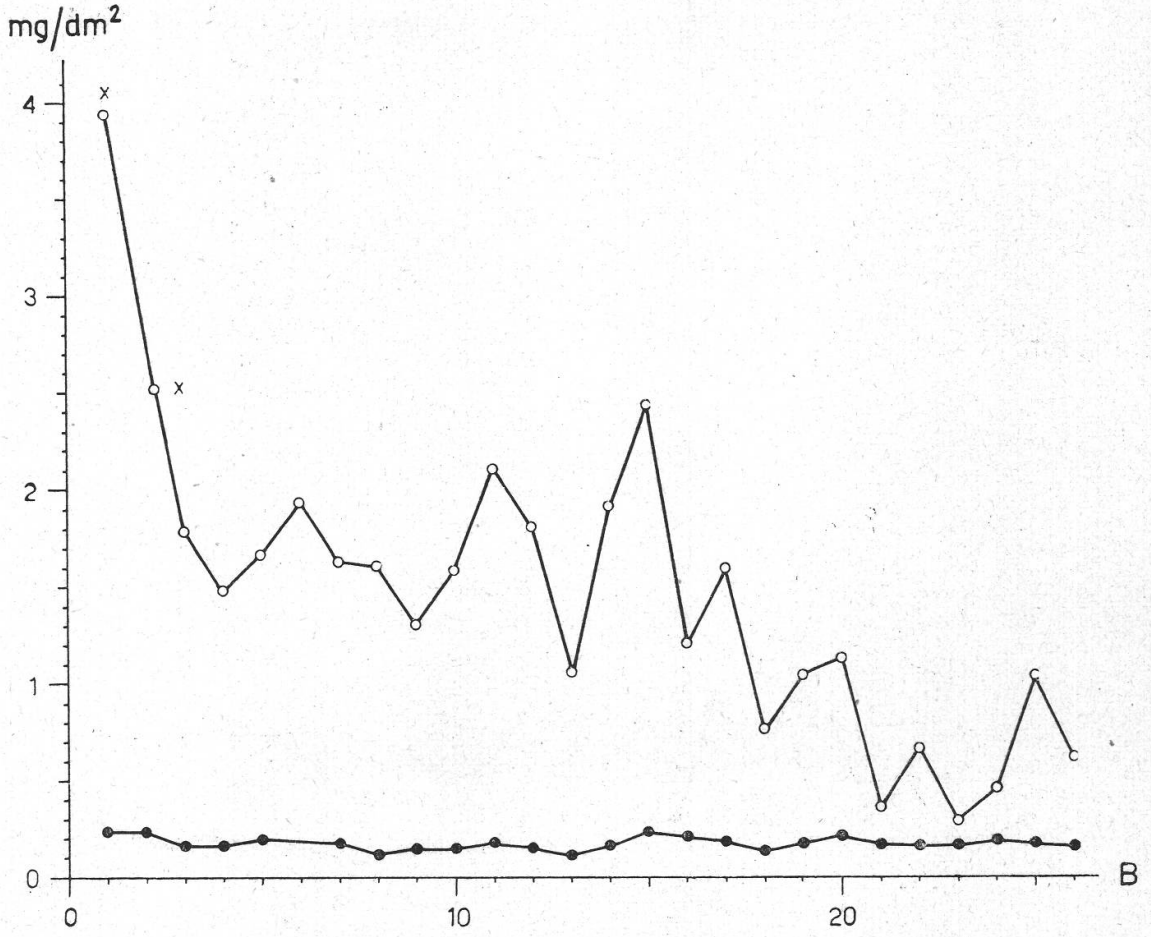
Pflanze auf dreifacher Nährlösung. Alter 17 Wochen.

Versuch 18 (Figur 9)

Pflanze auf dreifacher Nährlösung. Alter 18 Wochen.

Versuche 19 bis 23

Pflanzen derselben Serie.



Figur 7
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std.
Pflanze auf dreifacher Nährlösung
B = Blattnummer; ○ = K; ● = Ca

Versuch 19 (Figur 10 *a*)

Pflanze auf Erde. Blätter klein, dünn, zart, schön grün. Alter 22 Wochen.

Versuch 20

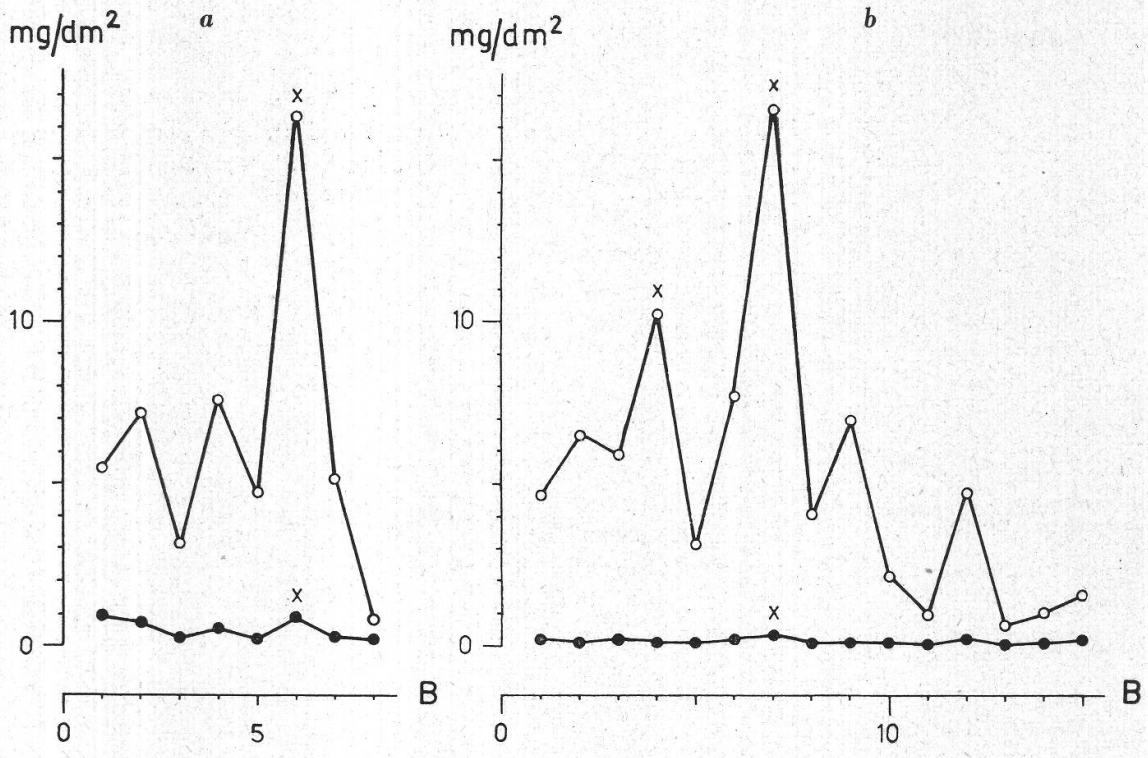
Wie Versuch 19 (Figur 10 *b*). Alter 30 Wochen.

Versuch 21 (Figur 11 *a*)

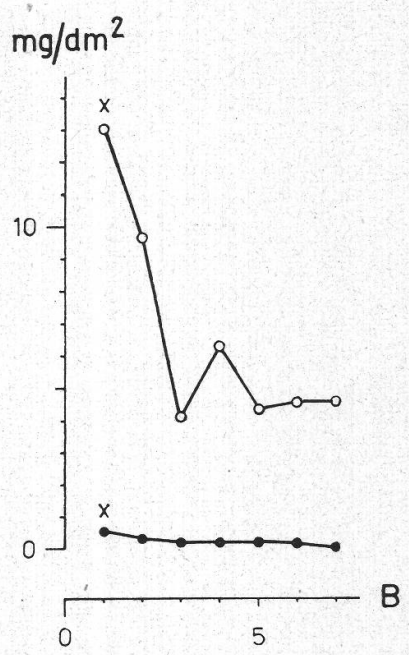
Pflanze in Erde, aber vor dem Versuch drei Wochen lang mit Nährlösung begossen. Blätter schön grün, eher klein, aber größer als bei Versuch 20. Alter 27 Wochen.

Versuch 22 (Figur 11 *b*)

Pflanze in Erde, acht Wochen mit Nährlösung begossen. Pflanze viel schöner als die mit Wasser begossenen. Blätter zart, groß. Alter 33 Wochen.



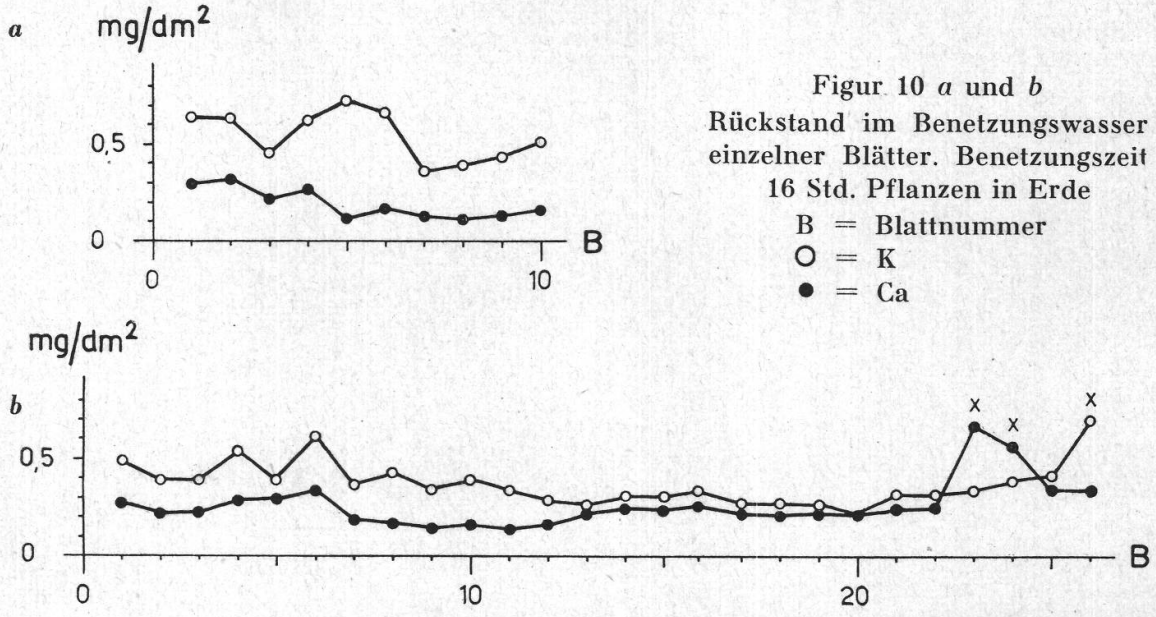
Figur 8 *a* und *b*
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std.
Pflanzen auf dreifacher Nährlösung
B = Blattnummer, O = K, ● = Ca



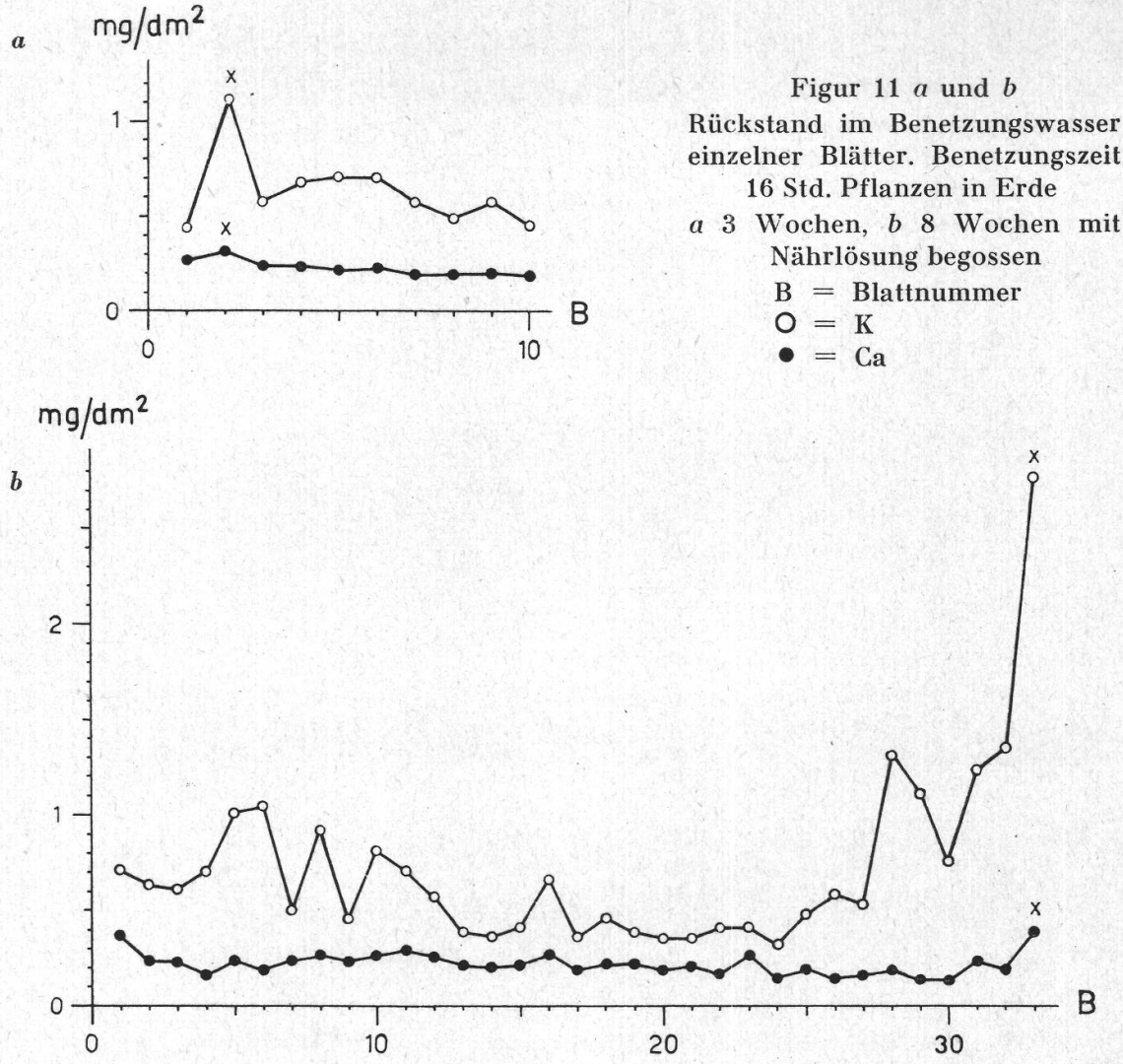
Figur 9
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter
Benetzungszeit 16 Std.
Pflanze auf dreifacher Nährlösung
B = Blattnummer; O = K;
● = Ca

Versuch 23 (Figur 12)

Pflanze auf einfacher Nährlösung. Alter 21 Wochen.

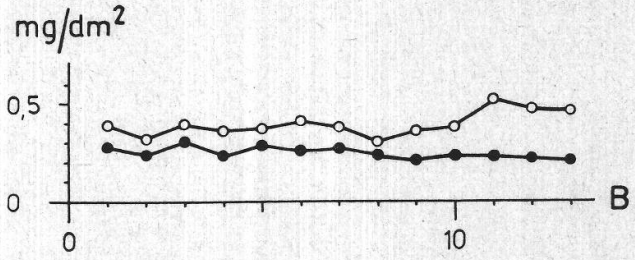


Figur 10 *a* und *b*
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std. Pflanzen in Erde
B = Blattnummer
○ = K
● = Ca



Figur 11 *a* und *b*
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std. Pflanzen in Erde
a 3 Wochen, *b* 8 Wochen mit Nährlösung begossen
B = Blattnummer
○ = K
● = Ca

Figur 12
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter
Benetzungszeit 16 Std.
Pflanze auf einfacher Nährlösung
B = Blattnummer;
○ = K; ● = Ca



Versuche 24 und 25 (Figur 13)

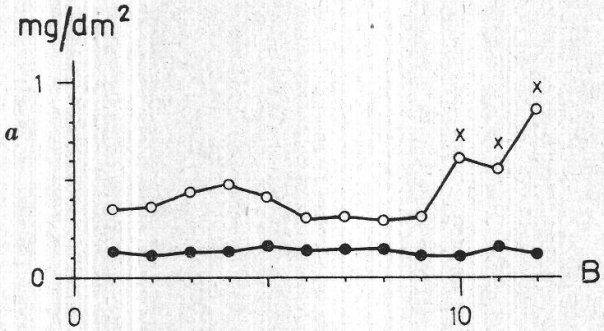
Zwei Pflanzen derselben Serie. In Gewächshauskabine mit guter Belüftung (Ventilatoren), hoher Luftfeuchtigkeit, warm.

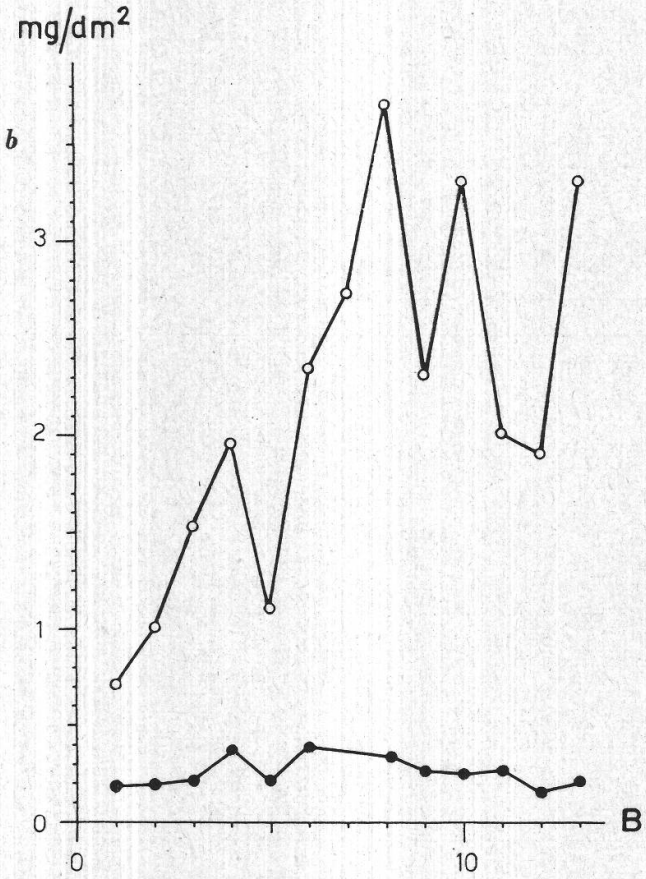
Versuch 24 (Figur 13 *a*)

Pflanze in einem sehr großen Topf mit Erde. Alter 18 Wochen.

Versuch 25 (Figur 13 *b*)

Pflanze in einem Beet, zirka 2 m hoch, in schönster Blüte. Alter 21 Wochen.

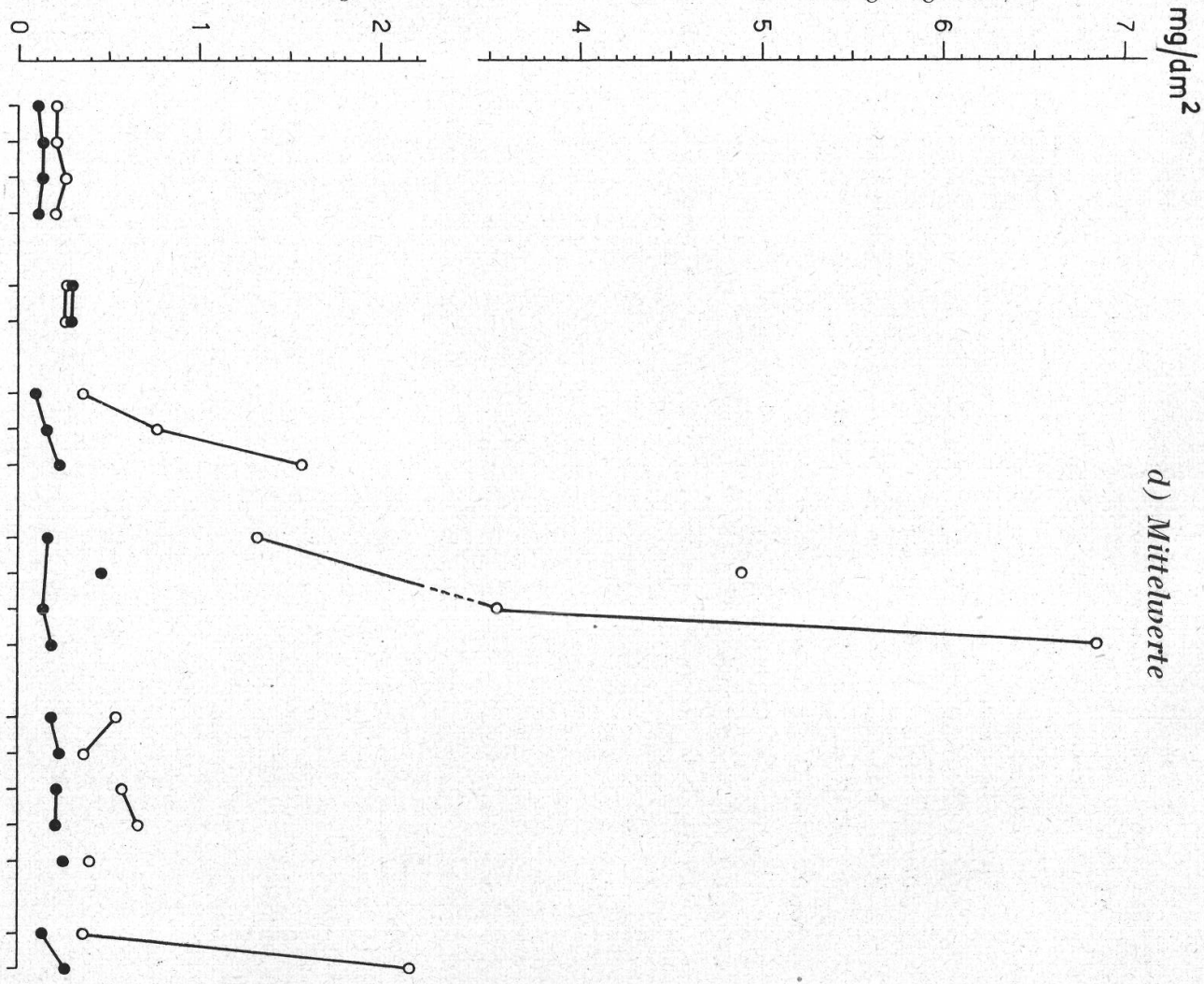




Figur 13 *a* und *b*
Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std. Pflanzen in Erde,
a in großem Topf,
b in Beet
B = Blattnummer;
○ = K; ● = Ca

Figur 14
Mittelwerte der Versuche 5—25 (E = Erde, 1×NL = einfache Nährlösung, 3 W NL = 3 Wochen mit Nährlösung begossen)

Mittelwerte mg/dm² K	Mittelwerte mg/dm² Ca	Alter (Wochen)	Ernährung	Versuch Nr.
0,21	0,11	15	E	5
0,21	0,13	15	E	6
0,26	0,13	15	E	7
0,20	0,11	19	E	8
0,27	0,30	25	E	9
0,26	0,29	27	E	10
0,35	0,10	15	1 × NL	11
0,77	0,16	20	1 × NL	12
1,57	0,24	22	1 × NL	13
1,32	0,17	10	3 × NL	15
4,89	0,46	16	3 × NL	16
3,54	0,15	17	3 × NL	17
6,85	0,19	18	3 × NL	18
0,54	0,19	22	E	19
0,36	0,23	30	E	20
0,58	0,22	27	E + 3 W NL	21
0,66	0,21	33	E + 8 W NL	22
0,40	0,25	21	1 × NL	23
0,36	0,13	18	E	24
2,17	0,26	21	Beet	25



B. Ricinus

a) Dauer der Benetzung

Versuche 26 bis 28 (Tabelle 15)

Blätter an den Pflanzen 15 Stunden eingetaucht.

Tabelle 15

Rückstand im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 15 Std.

Versuch	Blatt	mg K/dm²	mg Ca/dm²
26	1	0,11	0,133
	2	0,05	0,100
	3 + 5	0,08	0,092
	Mittel	0,08	0,108
27	1	0,10	0,201
	2 + 3	0,09	0,127
	4 + 5	0,06	0,105
	Mittel	0,08	0,144
28	1 + 2	0,040	0,099
	3 + 4	0,052	0,075
	5	0,044	0,096
	6	0,087	0,111
	7	0,034	0,095
	Mittel	0,051	0,095

Versuch 29 (Tabelle 16)

Blätter dreimal 3 Stunden hintereinander eingetaucht.

Tabelle 16

Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 3×3 Std.

Blatt	Zeit	mg K/dm²	Total	mg Ca/dm²	Total
1 + 2	0—3 Std.	0,07	0,24	0,08	0,13
	3—6	—		0,03	
	6—9	0,09		0,01	
3 + 4	0—3	0,07	0,19	0,04	0,07
	3—6	0,08		0,02	
	6—9	0,04		0,01	
5	0—3	0,08	0,19	0,07	0,12
	3—6	0,05		0,00	
	6—9	0,06		0,05	
6	0—3	0,06	0,18	0,08	0,09
	3—6	0,08		0,01	
	6—9	0,04		0,00	

Versuch 30 (Tabelle 17)

Blätter 12 Stunden eingetaucht, zum Teil wurde nach je 3 Stunden das Wasser erneuert, zum Teil blieben die Blätter 12 Stunden im selben Wasser, wurden dann aber nach je 3 Stunden bewegt.

Tabelle 17

Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 4×3 bzw. 12 Std

Blatt	Zeit	mg K/dm²	Total	mg Ca/dm²	Total
1	0— 3	0,46	1,57	0,23	0,65
	3— 6	0,42		0,14	
	6— 9	0,42		0,20	
	9—12	0,27		0,08	
2	0— 3	0,41	1,55	0,17	0,41
	3— 6	0,38		0,10	
	6— 9	0,40		0,06	
	9—12	0,36		0,08	
5	0— 3	0,38	1,58	0,23	0,62
	3— 6	0,46		0,13	
	6— 9	0,44		0,11	
	9—12	0,30		0,15	
8	0— 3	0,21	0,73	0,15	0,37
	3— 6	0,16		0,12	
	6— 9	0,14		0,05	
	9—12	0,22		0,05	
3 + 4	0—12		0 34		0,10
6	0—12		0,59		0,19
7	0—12		0,46		0,17

b) Benetzung über längere Perioden

Versuche 31 und 32 (Tabelle 18)

Benetzung je 2 Stunden an drei aufeinanderfolgenden Tagen.

Tabelle 18

Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzung je 2 Std. an drei aufeinanderfolgenden Tagen

Versuch	Blatt	mg K/dm²			mg Ca/dm²		
		1. Tag	2. Tag	3. Tag	1. Tag	2. Tag	3. Tag
31	1 + 2	0,04	0,04	0,08	0,014	0	0,002
	3	0,04	0,03	0,07	0,045	0	0,011
	4	0,04	0,04	0,02	0,059	0	0,001
	5	0,05	0,03	—	0,036	0	—
	6	0,12	0,02	0,03	0,096	0,017	0,003
	Total	0,29	0,16	0,25	0,250	0,017	0,017
	Mittel	0,06	0,03	0,05	0,05	0,003	0,003
32	1	0,088	0,176	0,056	0,462	0,332	0,054
	2	0,087	0,098	0,083	0,405	0,354	0,078
	3	0,089	0,096	0,129	0,590	0,364	0,052
	4	0,100	0,094	0,058	0,298	0,312	0,056
	Total	0,364	0,464	0,326	1,755	1,362	0,240
	Mittel	0,091	0,116	0,082	0,439	0,340	0,060

Versuche 33 und 34 (Tabelle 19)

Benetzung je 5 Stunden an vier aufeinanderfolgenden Tagen.

Tabelle 19

Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzung je 5 Std. an vier aufeinanderfolgenden Tagen

Versuch	Blatt	mg K/dm²				mg Ca/dm²			
		1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag
33	1	0,08	0,10	0,13	(0,20)	(0,172)	(0,286)	(0,156)	—
	2 + 3	0,09	0,10	0,08	0,10	0,078	0,047	0,117	0,075
	4 + 5	0,09	0,09	0,13	0,14	0,045	0,020	0,078	0,088
	6 + 7	0,03	0,11	0,13	0,11	0,048	0,021	0,090	0,089
	Total	0,29	0,40	0,47	0,47	0,228	0,117	0,380	0,336
	Mittel	0,07	0,10	0,12	0,12	0,057	0,029	0,095	0,084
34	1	0,05	0,05	0,07	0,02	0,081	0,116	0,145	0,042
	2	0,08	0,07	0,07	0,04	0,126	0,245	0,153	0,042
	3 + 4	0,08	0,07	0,08	0,09	—	—	0,099	0,072
	5	0,06	0,07	0,08	0,04	0,062	0,114	0,165	0,019
	Total	0,27	0,26	0,30	0,19	0,359	0,633	0,562	0,175
	Mittel	0,07	0,07	0,08	0,05	0,090	0,158	0,140	0,044

c) Alte Pflanze/junge Pflanze

Blätter abgeschnitten, 16 Stunden in destilliertes Wasser getaucht.

Versuch 35 (Tabelle 20)

Alte Pflanze.

Versuch 36 (Tabelle 20)

Junge Pflanze.

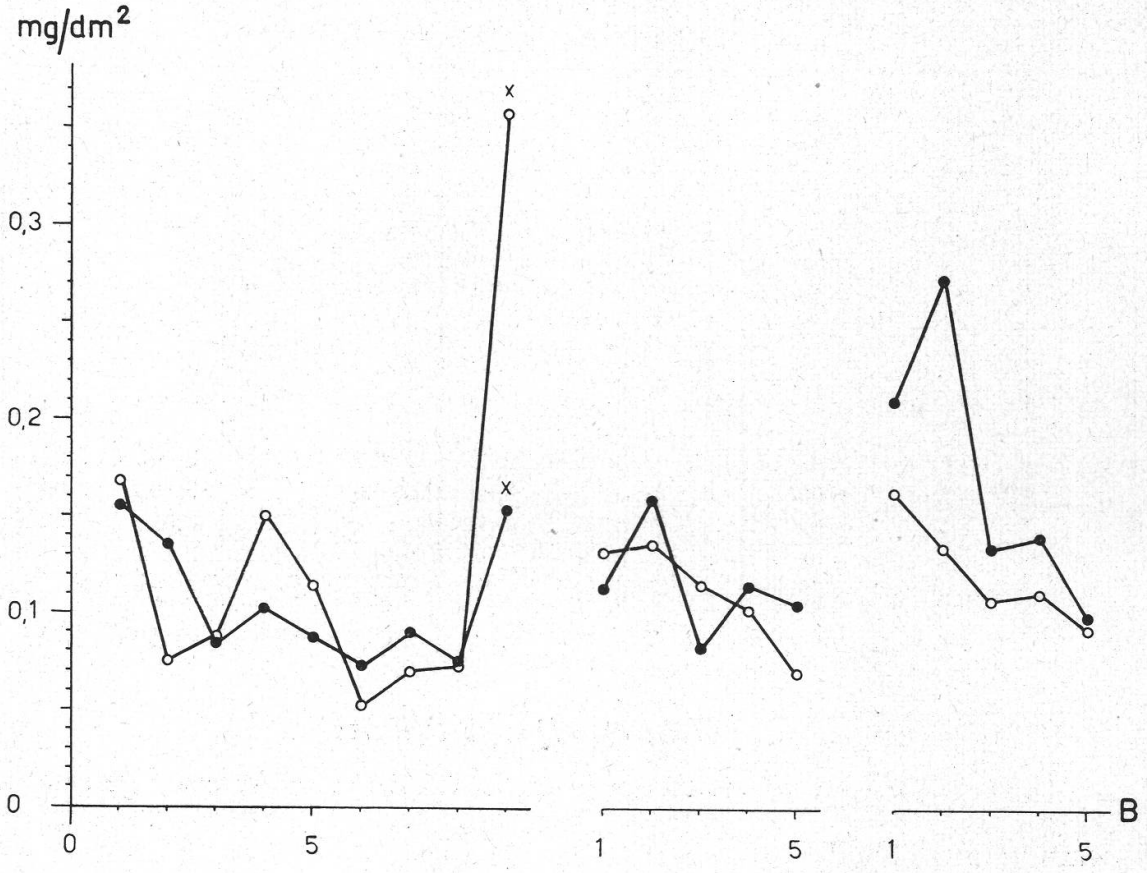
Tabelle 20

Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 16 Std.
Versuch 35: alte Pflanze, Versuch 36: junge Pflanze

Versuch	Blatt	mg K/dm²	mg Ca/dm²
35	1	0,250	0,200
	2 + 3	0,220	0,125
	Mittel	0,235	0,163
36	1	0,150	0,075
	2	0,138	0,057
	3	0,164	0,057
	4	0,146	0,071
	Mittel	0,149	0,065

Versuche 37 bis 39 (Figur 15)

Pflanzen der gleichen Serie wie Versuch 36, aber alle vier Monate älter.



Figur 15
Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter. Benetzungszeit 16 Std.
3 gleiche Pflanzen. B = Blattnummer; ○ = K; ● = Ca

d) Ernährung

Alle Pflanzen von derselben Serie, teilweise mit Wasser, teilweise mit Nährlösung begossen. Die mit Nährlösung begossenen waren schöner, mit größeren Blättern.

Versuch 40 (Figur 16 *a*)

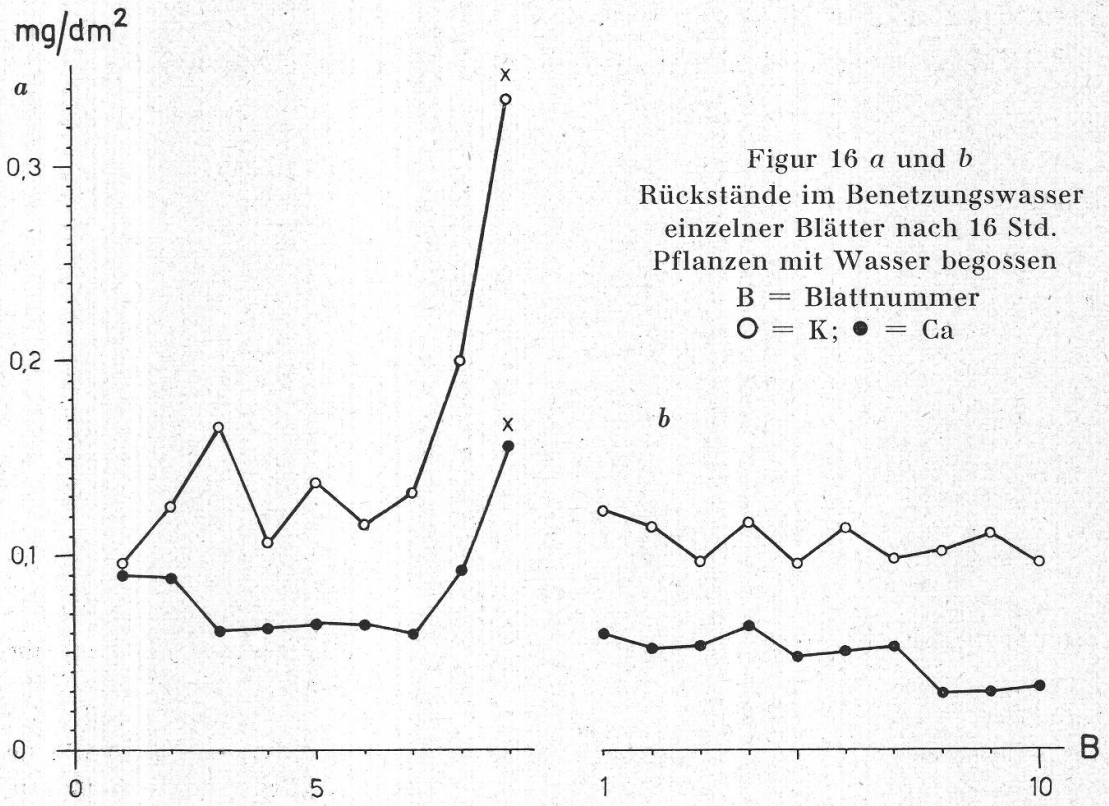
Wasser. Pflanze blüht. Alter 22 Wochen.

Versuch 41 (Figur 16 *b*)

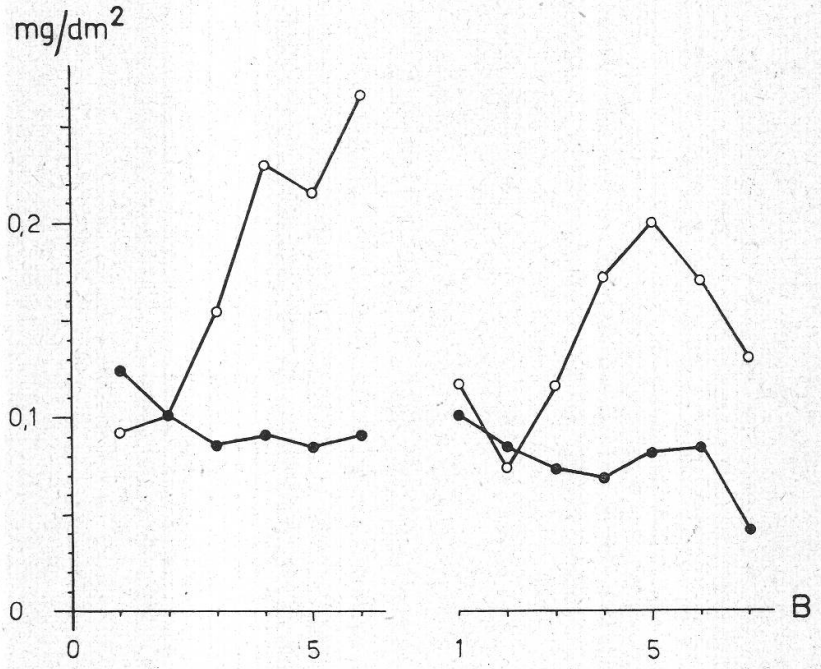
Wie Versuch 40. Alter 24 Wochen.

Versuche 42 und 43 (Figur 17)

Wasser. Nach dem Blühen. Alter 32 Wochen.



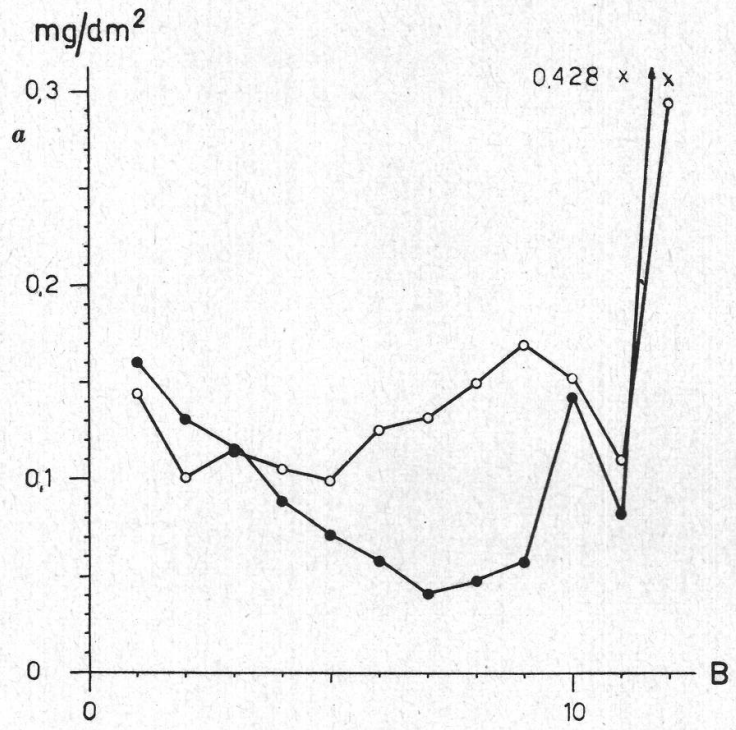
Figur 16 *a* und *b*
Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 16 Std. Pflanzen mit Wasser begossen
B = Blattnummer
○ = K; ● = Ca



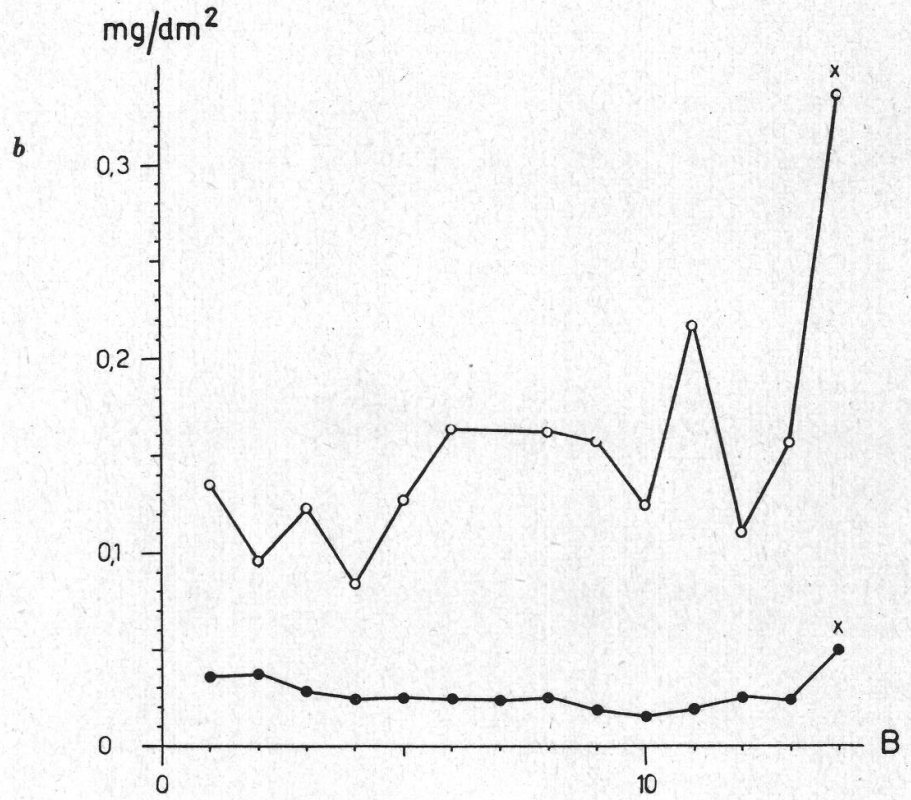
Figur 17
Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 16 Std. Pflanzen mit Wasser begossen
B = Blattnummer; ○ = K; ● = Ca

Versuch 44 (Figur 18 *a*)

Pflanze während sieben Wochen täglich mit Nährlösung begossen. Alter 22 Wochen.



Figur 18 *a* und *b*
Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 16 Std.
a 7 Wochen, *b* 10 Wochen täglich mit Nährlösung begossen
B = Blattnummer
○ = K; ● = Ca

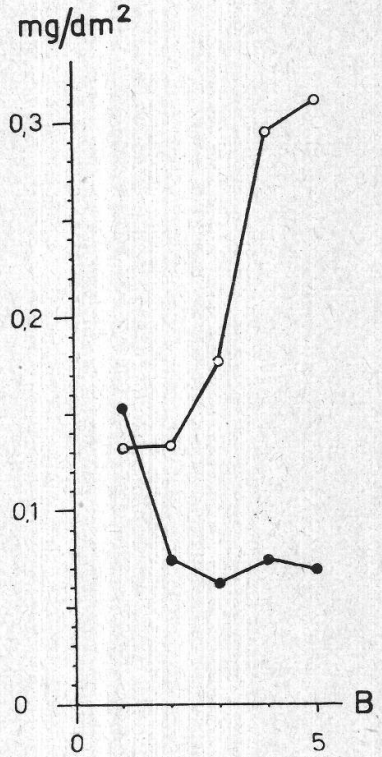


Versuch 45 (Figur 18 *b*)

Pflanze zehn Wochen mit Nährlösung begossen. Blüht. Alter 24 Wochen.

Versuch 46 (Figur 19)

Pflanze 17 Wochen mit Nährlösung begossen. Nach dem Blühen. Alter 32 Wochen.



Figur 19
Rückstände im Benetzungswasser einzelner Blätter nach 16 Std.
Pflanze 17 Wochen mit Nährlösung begossen
B = Blattnummer
○ = K; ● = Ca

e) Längere Benetzung alter Blätter

Versuch 47 (Tabelle 21)

Gelbe und grüne alte Blätter 48 Stunden eingetaucht.

Tabelle 21
Rückstände im Benetzungswasser alter Blätter nach 48 Std.

Blatt	Farbe	mg K/dm²	mg Ca/dm²
1	gelb	1,252	0,339
2	gelb	1,197	0,518
3	grün	0,288	0,335

f) Mittelwerte (Tabelle 22)

(Die in den Kurven mit × bezeichneten Punkte und die in den Tabellen eingeklammerten Werte wurden für die Berechnung der Mittelwerte nicht berücksichtigt.)

Tabelle 22

Mittelwerte der Rekretmengen einzelner Blätter aus den Versuchen 26—46 mit *Ricinus*
(Alter: Alter der Pflanze in Wochen. E = Erde, NL = Nährlösung)

Versuch	Zeit	Alter	Ernährung	K/dm²	Ca/dm²	
26	15 Std.	20	E	0,08	0,11	Serie I
27	15	20	E	0,08	0,144	
28	15	34	E	0,051	0,095	
29	3	21	E	0,07	0,03	
31	2	21	E	0,04	0,02	
32	2	40	E	0,096	0,28	
33	5	23	E	0,10	0,066	
34	5	23	E	0,065	0,108	
35	16	44	E	0,235	0,163	
36	16	20	E	0,149	0,065	Serie II
37	16	36	E	0,099	0,100	
38	16	36	E	0,111	0,115	
39	16	36	E	0,121	0,171	
40	16	22	E	0,126	0,070	Serie III
41	16	24	E	0,107	0,054	
42	16	32	E	0,177	0,096	
43	16	32	E	0,140	0,078	
44	16	22	E+7 W NL	0,128	0,090	
45	16	24	E+10 W NL	0,136	0,025	
46	16	32	E+17 W NL	0,210	0,103	

IV. Diskussion

1. Besprechung der Versuchsergebnisse

a) Individuelle Unterschiede

Zunächst fallen die großen Unterschiede der rekretierten K- und Ca-Mengen von einem Blatt zum andern an derselben Pflanze auf. Es handelt sich um individuelle Schwankungen, die sich nicht durch Versuchsfehler erklären lassen. Die Ausschläge werden mit zunehmendem Alter der Pflanze und mit steigender Konzentration der Nährlösung oder besserer Ernährung größer. Auch Schweizer (1940) hat auf die große Blattindividualität hingewiesen, als er den Einfluß der Fruchttracht auf die Blätter der Kaffeepflanze untersuchte. Ebenso erklärt Engel die teils positiven, teils negativen Aschendifferenzen zwischen benetzten und unbenetzten Blättern durch große individuelle Unterschiede im Aschengehalt der Blätter. Obwohl seine Werte Mittel von je 5 bis 10 Blättern vorstellen, glichen sich die Unterschiede nicht aus.

b) Stellung bzw. Alter der Blätter an der Pflanze

Trotz dieser Schwankungen erkennt man bei vielen Versuchsreihen von Tabak (Versuche 5, 6, 11, 13, 15, 20, 21, 22, 24), daß die abgege-

benen Rekretmengen abhängig sind von der Stellung des Blattes an der Pflanze, also von seinem Alter: die unteren und oberen Blätter scheiden mehr K und Ca aus als die mittleren. Für die unteren, d. h. älteren Blätter läßt sich das leicht erklären: Im Laufe der Vegetationsperiode wird Trockensubstanz im Blatt angehäuft, besonders bei Pflanzen im Gewächshaus, die bei großer Transpiration keine Möglichkeit zu einer Rekretion haben. So nimmt nach Smirnow (1940, Tabelle 99) der Trockensubstanzgehalt von Tabak in g/m² Blattfläche mit dem Blattalter ständig zu (Tabelle 23).

Tabelle 23
Trockensubstanzgehalt in g/m² Blattfläche bei Tabak (nach Smirnow, Tabelle 99)

Setzlinge	21,4
Pflanze mit 5–6 Blattpaaren	24,9
Bildung von Blütenknospen	35,7
Blüte	35,4
Kapselbildung	34,2
Reife Blätter	42,0
Gelb werdende Blätter	71,7

Zudem wird die Permeabilität der Kutikula mit zunehmendem Alter größer, der Widerstand gegen Auswaschung nimmt ab. (Bei *Ricinus* fallen die unteren Blätter meist nach einiger Zeit ab, so daß im allgemeinen nicht viele Blätter an einer Pflanze bleiben. Ein Anwachsen der Rekrete bei älteren Blättern an der Pflanze ist daher nicht feststellbar.)

Aus abgestorbenen braunen Stellen werden viel größere Rekretmengen ausgewaschen als aus lebenden Blättern (Versuche 9 und 14, bei denen die braune Fläche angegeben ist).

Daß die jüngsten Blätter einer Pflanze, und zwar sowohl bei Tabak als bei Ricinus, wieder mehr Rekrete abgeben (vor allem K), ist wohl darauf zurückzuführen, daß ein großer Zustrom vor allem von K in diese wachsenden Organe stattfindet. Das Flächenwachstum ist noch nicht abgeschlossen, die Kutikula noch nicht erstarkt.

c) Alter der Pflanze

Mit zunehmendem Alter der Pflanze wächst die Menge des ausgeschiedenen K und Ca, besonders bei großer Nährstoffzufuhr (Versuche 11 bis 13 und 15 bis 18 und die entsprechenden Mittelwerte auf S. 232).

In einigen Fällen (Versuche 19 und 20, 28, 36 bis 38) werden bei sehr alten Pflanzen die Rekretmengen wieder kleiner. Sofern es sich nicht um individuelle Schwankungen handelt, müssen wir annehmen, daß Stoffe, besonders K, aus den Blättern in Stengel und Wurzeln zurückgenommen werden (Ca dagegen nicht!). Daß wir diese Abnahme

bei Nährlösungspflanzen nicht finden, sondern nur bei Erdkulturpflanzen, stimmt mit den Beobachtungen von G ä u m a n n (1935) u. a. überein, wonach besonders Pflanzen unter schlechten Ernährungsbedingungen (kleine Töpfe) gegen Ende der Vegetationsperiode Stoffe aus den Blättern zurückziehen.

d) Benetzungsdauer

Deutlich zeigt sich eine Abhängigkeit der ausgeschiedenen K- und Ca-Mengen von der Dauer der Benetzung (Versuche 2 bis 4, 30). Wie bereits erwähnt, entspricht die in 8 Stunden ausgeschiedene K-Menge ungefähr der Summe der in viermal 2 Stunden ausgeschiedenen, dagegen ist die Summe des in viermal 2 Stunden ausgeschiedenen Ca viel größer als die in 8 Stunden ausgeschiedene Menge.

e) Ernährungsbedingungen

Besonders stark wirkt sich die Art der Ernährung auf K aus; Ca reagiert weniger deutlich. Durch Aufzucht der Tabakpflanzen auf dreifacher Nährlösung steigt die rekretierte K-Menge bis auf 8 mg/dm² in 16 Stunden, während die höchsten Durchschnittswerte für einfache Nährlösung bei 1,2 mg/dm² liegen. Die Zunahme beträgt viel mehr als das Dreifache. Die Durchschnittswerte für Ca liegen kaum höher als die von einfacher Nährlösung. Dazu ist allerdings zu bemerken, daß die dreifache Nährlösung mit der Zeit trüb wurde, da Ca als Phosphat ausfällt, so daß die den Wurzeln zur Verfügung stehende Ca-Menge gegenüber einfacher Nährlösung nicht stark zugenommen hat.

Auch bei der Tabakpflanze aus dem Beet in Idealbedingungen (Versuch 25) steigt K auf 2 mg/dm²; Ca liegt mit 0,2 mg/dm² deutlich höher als bei der entsprechenden Pflanze im Topf (Versuch 24) und erreicht ungefähr den Wert auf Nährlösung.

f) Tabak und Ricinus

Tabak scheidet ein Vielfaches der K- und Ca-Mengen von *Ricinus* aus und ist empfindlicher auf Änderungen der Versuchsanordnung.

2. Vergleich mit früheren Arbeiten

Wie unsere eigenen Versuche zeigen, ist ein Vergleich zwischen verschiedenen Pflanzenarten nicht möglich, auch nicht ein Vergleich zwischen verschiedenen Serien derselben Pflanze; verschiedene Ernährungs- und Umweltsbedingungen wirken sich unter Umständen stark auf die rekretierten K- und Ca-Mengen aus. Aus Aschendifferenzen zwischen benetzten und unbenetzten Blättern darf nicht auf die Rekretmengen geschlossen werden, selbst wenn eine größere Anzahl von Blättern gemittelt wird, denn die individuellen Unterschiede der Blätter sind außerordentlich groß.

Trockensubstanz und Aschengehalt sind als Bezugsgrößen ganz ungeeignet, da sie auch bei ausgewachsenen Blättern keineswegs konstant sind. Verschiebungen in der prozentualen Zusammensetzung von Trockensubstanz und Aschengehalt vermögen nichts auszusagen über die tatsächliche Verschiebung von Nährstoffen. Sofern die Analysenresultate früherer Arbeiten nicht gleichzeitig Angaben über den Trockensubstanzgehalt pro Fläche oder pro Blatt enthalten, sich also nicht auf Flächeneinheiten umrechnen lassen, sind sie für uns wertlos.

In Tabelle 24 sind nochmals einige Werte zusammengestellt.

Tabelle 24
Von verschiedenen Autoren gefundene Rekretmengen an K und Ca

Autor	Std.	mg K/dm²	mg Ca/dm²
Arens *(Beta)*	18	3,7	4,8
Lausberg	8	6,6—19,3	2—6
Schweizer *(Coffea, Erythrina)*	1	2— 4,5	—1,9
(Nicotiana)	1	21	15
Engel (0,3—1,7 mg Asche/dm², davon je zirka 15% K und Ca)	ca. 24	0,05—0,25	0,05—0,25

Arens berechnet für *Beta* und *Fagus* die Rekretmengen pro ha und Jahr (330 Stunden Benetzung, Tabelle 25): *Beta:* 80 000 Pfl./ha mit 1695 kg Blatt-Trockengewicht; *Fagus:* 198 Stämme/ha mit 23,6 Millionen Blättern.

Tabelle 25
Jährlich ausgeschiedene Rekretmengen pro ha nach Arens

		Gehalt	Rekrete/Jahr
Beta:	Asche	307,8 kg	1140 kg = 3,7 × Gehalt
	K_2O	75,5 kg	710 kg = 9,5 × Gehalt
	CaO	55,6 kg	96 kg = 1,7 × Gehalt
Fagus:	Asche	109,5 kg	260 kg = 2,4 × Gehalt
	K_2O	16,2 kg	135 kg = 8,3 × Gehalt
	CaO	38,9 kg	62 kg = 1,6 × Gehalt

Der gesamte Aschengehalt wird also zwei- bis viermal umgesetzt im Jahr, K sogar acht- bis neunmal.

Schweizer berechnet (1941), daß bei *Erythrina* in den Tropen der gesamte Aschengehalt ungefähr einmal umgesetzt werde.

Berechnen wir nach Angaben von Frey-Wyssling die Verhältnisse für Tabak mit den von uns gefundenen Rekretmengen, so ergibt sich:

Tabak: 25 000 Pfl./ha, 1 Pfl. = 5000 cm² Blattfläche, also 13 000 m²/ha. Mittelwerte aus Smirnow, Tab. 114 und 117, ergeben für 100 Pflanzen:

Trockensubstanz . . .	8000 g
Asche	1000 g
K_2O	370 g
CaO	280 g

Nehmen wir eine Rekretion von 2 mg K und 0,2 mg Ca/dm² in 16 Stunden an, so ergibt sich (320 Stunden Benetzung/Jahr) (Tabelle 26):

Tabelle 26
Jährlich ausgeschiedene Rekretmengen pro ha

	Gehalt	Rekrete/Jahr
Asche	250 kg	
K_2O (K)	92 (77) kg	62 (52) kg = 0,7 × Gehalt
CaO (Ca)	70 (50) kg	7,3 (5,2) kg = 0,1 × Gehalt

Die von uns gefundenen Mengen entsprechen in der Größenordnung ungefähr denen von Engel, sind also bedeutend geringer als die von Arens und Lausberg (und Schweizer) gefundenen. Die von ihnen untersuchten Pflanzen müssen entweder alle auf sehr nährstoffreichen Böden gewachsen sein, oder die Reinigung vor dem Eintauchen war weniger gründlich. (Die hohen Werte von Schweizer können durch die erhöhte Transpiration und damit Salzanhäufung in den Tropen erklärt werden.)

3. Rekretmengen und Aschengehalt der Blätter

Es wäre denkbar, daß zwischen den ausgeschiedenen Rekretmengen und dem Aschengehalt der Blätter eine direkte Abhängigkeit besteht. Auch in den Untersuchungen über Mineralstoffgehalt von Blättern finden wir überall sehr große Schwankungen je nach Pflanzenart, Bodenbeschaffenheit, Klima, aber auch bei gleichen Pflanzen unter den genau gleichen Bedingungen, ja selbst zwischen einzelnen Blättern derselben Pflanze.

Rissmüller (1874) untersuchte den jahreszeitlichen Verlauf des K-Gehaltes von Blättern und stellte eine Zunahme von Mai bis Juli von 0,77 g/1000 Blätter auf 1,28 g/1000 Blätter fest; darauf folgte eine Abnahme bis November auf 0,74 g/1000 Blätter.

Dem entsprechen Angaben von Sabalitschka (1926), der an Pappeln eine Abnahme von K/Trockensubstanz vom August bis Mitte Oktober auf 1/3 des ursprünglichen Wertes fand. Da die Abnahme der Trockensubstanz viel geringer ist, resultiert also eine tatsächliche Abnahme von K.

Ebenso findet Herschler (1933) in Rebenblättern im allgemeinen einen maximalen K-Gehalt (bezogen auf Trockensubstanz) im Juni, dann fällt er, um eventuell im August oder September nochmals anzusteigen (infolge Abnahme der Trockensubstanz?). Die Unterschiede von Rebstock zu Rebstock sind außerordentlich groß; die Nährstoffaufnahme und der Nährstoffgehalt können bei zwei benachbarten, gleich behandelten Stöcken ganz entgegengesetzt verlaufen. Leider ist auch hier wieder die Trockensubstanz als Bezugsgröße gewählt, so daß wir keinen Einblick in den absoluten K-Gehalt eines Blattes erhalten.

Tamm (1951) analysiert Birkenblätter von verschiedenen Bäumen und findet große Unterschiede im Verlauf der Nährstoffgehalte je nach Standort:

a) Bei zwei Birken aus einem teilweise gelichteten Hartholzwald fällt der K-Gehalt der Trockensubstanz vom Frühsommer an ständig (außer 15. September bis 2. Oktober), auch beim Vergilben, während der Ca-Gehalt ständig zunimmt;

b) bei anderen Bäumen aus einer trockenen, humusarmen Lage einer ehemaligen Kiesgrube mit Pioniervegetation fällt der K-Gehalt bis zu einem Minimum im Juli, steigt an bis August, um dann bei der Vergilbung wieder abzunehmen. Der Ca-Gehalt wächst, scheinbar selbst während des Vergilbens, bedingt durch Abnahme der Trockensubstanz.

Demgegenüber stellte Kübler (1912) an Hunderten von gedüngten und ungedüngten zweijährigen Buchen eine ständige Zunahme des Trockensubstanzgehaltes fest bis zum Laubfall (17. September), bei den gedüngten im letzten Monat bedeutend mehr als bei den ungedüngten.

Auch Büsgen (1927) schreibt, daß der Mineralstoffgehalt der Blätter steigt, solange Wasser in ihnen zur Verdunstung gelangt.

Über den Nährstoffgehalt vergilbender Blätter im besondern sagt Ramann (1912), daß 12—31 % des K-Gehaltes grüner Blätter beim Vergilben auswandern, bei Eiche sogar bis 57 %, während Ca ständig zunimmt bis um 35 %, beim Absterben der Blätter sogar bis um 128 %.

Schweizer (1935) erhält bei normalen Verhältnissen im Kaffeeblatt eine Zunahme der Trockensubstanz/dm² auf 0,62 g bis Ende Juli, dann bis September eine Abnahme auf 0,50 g (Vergilbung). Es müssen also im Herbst Stoffe aus den Blättern zurückgenommen werden.

Sehr eingehende und gründliche Untersuchungen verdanken wir Gäumann (1935). Er untersuchte den Nährstoffgehalt von Blättern, Zweigen, Ästen, Stämmen und Wurzeln von Buchen im Laufe einer Vegetationsperiode und versuchte daraus Schlüsse zu ziehen auf die Wanderung und Verschiebung von Nährstoffen. Rechnen wir die Werte auf Blattflächeneinheiten um, dann finden wir folgenden Gehalt in mg/dm² (Tabelle 27):

Tabelle 27
Mineralstoffgehalt von Buchenblättern im Laufe einer Vegetationsperiode
Werte in mg/dm² Blattfläche (nach Gäumann)

	K_2O	CaO	SiO_2
15. Juni	5,42	4,52	3,63
14. August	8,19	9,59	11,5
16. November	7,06	6,92	12,5

Der K- und Ca-Gehalt nimmt zu bis zum 14. August, um dann wieder abzusinken, während SiO_2 ständig, wenn auch nur noch wenig, zunimmt bis zum Abfallen der Blätter. Ob die herbstliche Abnahme durch Rekretion bedingt ist (viel Niederschläge im Oktober) oder durch Rückwanderung, läßt sich daraus nicht erkennen.

Die Nährstoffverluste am Ende der Vegetationsperiode sind also offenbar durch zwei Erscheinungen bedingt: Gewisse Stoffe scheinen beim Vergilben der Blätter in die verbleibenden Organe zurückzuwandern; durch kutikulare Rekretion können gelbe, teilweise abgestorbene Blätter relativ große Mengen an Aschebestandteilen verlieren, besonders in unserem Klima, wo Niederschläge und Nebel im Herbst häufig sind.

Eine Abnahme des Trockensubstanzgehaltes im Laufe des Sommers wird hingegen nur zu einem geringen Teil durch Rekretion bedingt sein; größer wird die Wirkung der Niederschläge sein durch Abwaschen von Staub von den Blättern, durch Verminderung der Transpiration und damit geringere Salzanhäufung (eventuell verbunden mit Wasseraufnahme durch das Blatt), was dann eine Zunahme der Assimilationskapazität und somit Abnahme des Aschegehaltes zur Folge hat (Schweizer, 1935).

Man sieht aus dieser kurzen Zusammenstellung, daß die untersuchten Pfanzen sich offenbar ganz verschieden verhalten. Zudem sind die Schwankungen sehr groß (vgl. auch Gäumann). Es lassen sich also aus der Literatur keine allgemeinen Schlüsse auf den Verlauf des Mineralstoffgehaltes der Blätter im Laufe einer Vegetationsperiode ziehen.

Um abzuklären, ob eine Parallelität besteht zwischen den ausgeschiedenen Rekretmengen und dem Gehalt des Blattes an den betreffenden Stoffen, müßten also gleichzeitig mit den Rekretionsmessungen Aschebestimmungen ausgeführt werden.

4. Bedeutung der Rekretion

Um die Bedeutung der Rekretion abschätzen zu können, müßten noch Analysen über die andern durch Rekretion ausgeschiedenen Stoffe gemacht werden, vor allem über die Anionen und die Natur der organischen Stoffe. Auf Grund unserer Analysen darf man eher annehmen,

daß es sich um eine rein passive Auswaschung handelt, verursacht durch das Konzentrationsgefälle zwischen Blatt und Benetzungswasser.

Obwohl die Menge der durch kutikulare Rekretion abgegebenen Stoffe gering ist, scheinen die Pflanzen teilweise auf diese Abgabe angewiesen zu sein. Die Hauptwirkung der Benetzung beruht aber auf Reinigung von Staub, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und damit Verminderung der Transpiration und der Salzanhäufung (eventuell Wasseraufnahme durch die Blätter und erhöhte Assimilationsintensität). Auch der günstige Einfluß der Beregnung auf Zimmerpflanzen wird eher auf diese Weise erklärt werden müssen.

V. Zusammenfassung

1. Anhand der Literatur wird gezeigt, daß die Kutikula Stoffe permeieren läßt.
   a) Arbeiten über Stoffausscheidung werden besprochen, dann
   b) solche über Aufnahme anorganischer und organischer Stoffe.
   c) Es wird gezeigt, daß die quantitativen Untersuchungen von Arens und Lausberg (und Schweizer) einerseits und Engel anderseits sich sehr widersprechen.

2. Die Versuchsmethodik unserer Arbeit wird dargelegt. Blätter von *Ricinus communis* und *Nicotiana tabacum* werden nach gründlicher Reinigung mit destilliertem Wasser während 2 bis 16 Stunden in destilliertes Wasser gelegt und die in dieser Zeit ausgeschiedenen K- und Ca-Mengen flammenphotometrisch (Beckman) gemessen.

3. Die Resultate sind die folgenden:
   Tabak: Die Werte sind abhängig von Ernährung, Alter, Eintauchzeit.
   a) Mit zunehmender Konzentration der Nährlösung wächst die Rekretmenge von K stark an, während Ca fast unverändert bleibt. Die in 16 Stunden ausgeschiedenen Mengen betragen:

einfache Nährlösung:	0,35—1,57 mg K +	0,10—0,24 mg Ca/dm²
dreifache Nährlösung:	1,32—6,85 mg K +	0,17—0,19 mg Ca/dm²
Beet:	2,17 mg K +	0,26 mg Ca/dm²

   b) Mit zunehmendem Alter sowohl des Blattes an der Pflanze als auch der ganzen Pflanze steigt die Rekretmenge. Auch ganz junge Blätter geben mehr Rekrete ab.
   c) Die Rekretmenge nimmt zu mit längerer Eintauchzeit. Die Unterschiede zwischen einzelnen, genau gleichen Pflanzen sind sehr groß, ebenso die Differenzen zwischen einzelnen Blättern einer Pflanze.

Ricinus: Die Werte sind noch kleiner als bei Tabak: In 16 Stunden werden ausgeschieden: 0,10—0,23 mg K + 0,05—0,15 mg Ca/dm². In kürzeren Zeiten wird weniger ausgeschieden. Auch hier sind die Schwankungen groß.

4. Ähnlichen Schwankungen, wie wir sie für die Rekrete fanden, unterliegt nach Angaben in der Literatur der Aschengehalt der Blätter. Die Unterschiede sind je nach den Bedingungen und unter gleichen Bedingungen von einer Pflanze zur andern so groß, daß sich daraus keine allgemeinen Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen.
5. Es wäre möglich, daß zwischen dem Aschengehalt der Blätter und der Rekretmenge eine direkte Abhängigkeit besteht und daß sich eventuell auch die großen individuellen Schwankungen von einem Blatt zum andern auf Unterschiede des Aschengehaltes zurückführen lassen.
6. Die kutikulare Rekretion wird auf Grund der geringen Mengen, die ausgeschieden werden, als eine passive Auswaschung von Stoffen aus dem Blatt betrachtet.

VI. Literatur

Arens, K., 1934. Die kutikuläre Exkretion des Laubblattes. Jb. wiss. Bot., **80,** 248.

— 1936. Kann man in allen Fällen aus den Ergebnissen der Aschenanalyse Schlüsse auf die Lebensfunktionen der Pflanze ziehen? Landw. Jb., **82/3,** 453.

Bauer, H., 1912. Zur Periodizität der Stoffbildung und Nährstoffaufnahme in jungen Laubhölzern. Naturw. Z. Forst- u. Landw., **10,** 188.

Bode, H. R., 1939. Über die Blattausscheidungen des Wermuts und ihre Wirkung auf andere Pflanzen. Planta, **30,** 567.

Böhm, J., 1877. Über die Aufnahme von Wasser und Kalksalzen durch die Blätter der Feuerbohne. Landw. Vers.Sta., **20,** 51.

Büsgen, M., und Münch, E., 1927. Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena.

Cappenberg, H., und Harms, H., 1939. Zur Pharmakognosie des Schöllkrautes (*Chelidonium majus* L.). Dtsch. Heilpfl., **5,** 98.

Cholodny, N., 1932. Zur Kenntnis der durch das regnerische Wetter verursachten Ertragsabnahme bei Getreidearten. Ber. Dtsch. Bot. Ges., **50,** 562.

Clerc, J. A., und Breazeale, J. F., 1908. Plant Food Removed from Growing Plants by Rain or Dew. U. S. Agr. Dept. Yearbook 1908, 389.

Engel, H., 1939. Das Verhalten der Blätter bei Benetzung mit Wasser. Jb. wiss. Bot., **88,** 816.

Frey-Wyssling, A., 1935. Het geheim van het natregenen der tabak. Trop. Natuur, **XXIV,** 12.

— 1935. Die Stoffausscheidung der höheren Pflanzen. Berlin.

Gäumann, E., 1935. Der Stoffhaushalt der Buche (*Fagus silvatica* L.) im Laufe eines Jahres. Ber. Schweiz. Bot. Ges., **44,** 157.

Härtel, O., und Eisenzopf, R., 1953. Zur Physiologie und Ökologie der kutikulären Wasseraufnahme durch Koniferennadeln. Zbl. ges. Forst- und Holzw., **72,** 1, 47.

Hasler, A., 1940. Beitrag zur Kenntnis der quantitativen Flammenspektroskopie. Diss. ETH.

Herschler, A., 1933. Analysen von Rebblättern zur Feststellung des Nährstoffbedürfnisses des Bodens und zur Erkennung von Ernährungsstörungen. Arb. biol. Reichsanst. Berl., **20,** 633.

Hiltner, E., 1930. Der Tau und seine Bedeutung für den Pflanzenbau. Arch. Land- und Forstw., A. **3,** 1.

— und Kronberger, M., 1924. Über die Zuführung von Nähr- und Heilstoffen durch die Blätter. Ernähr. Pfl., **XX,** 65 und 73.

Hiltner, L., 1909. Beeinflussung des Wachstums durch Bespritzen mit Stoffen. Prakt. Bl. Pfl.bau, 7. Jg., 17, 29 und 65.

— 1912. Ernährung der Pflanzen mit mineralischen Stoffen durch die Blätter. Prakt. Bl. Pfl.bau, 10. Jg., 6.

Hofstetter, J., 1953. Die flammenphotometrische Bestimmung der Alkalien und Erdalkalien. Diss. ETH.

Huter, R., 1947. Die Stickstoffernährung der Tabakpflanze. Diss. ETH.

Krause, M. H., 1935. Beiträge zur Kenntnis der Wasseraufnahme durch oberirdische Pflanzenorgane. Öst. Bot. Z., **94,** 241.

Kübler, W., 1912. Die Periodizität der Nährsalzaufnahme und Trockensubstanzbildung von zweijährigen Buchen. Naturw. Z. Forst- und Landw., **10,** 161.

Lausberg, Th., 1935. Quantitative Untersuchungen über die kutikuläre Exkretion des Laubblattes. J. wiss. Bot., **81,** 769.

Mes, M. G., 1954. Excretion (Recretion) of Phosphorus and Other Mineral Elements by Leaves under the Influence of Rain. South African J. of Science, **50,** 167.

Mothes, K., 1938. Über die Ausscheidung von Solanaceen-Alkaloiden aus gesunden Blättern. Dtsch. Apoth.Ztg., **53,** 1271.

— 1950. Das Alkaloidproblem. Süddtsch. Apoth.Ztg., **21,** 378.

Olivier, W. F., 1952. Absorption and Translocation of Phosphorus by Foliage. Sci. Agric., **32,** 427.

Popoff, K. J., 1941. Über die Assimilation von Landpflanzenblättern unter Wasser. Jb. wiss. Bot., **89,** 754.

Ramann, E., 1888. Die Einwirkung von Wasser auf Buchen- und Eichenstreu. Z. Forst- und Jagdw., **20,** 1.

— 1912. Die Wanderung der Mineralstoffe beim herbstlichen Absterben der Blätter. Landw. Vers.Sta., **76,** 157.

Rissmüller, L., 1874. Über die Stoffwanderung in der Pflanze. Landw. Vers.Sta. B., **XVII,** 17.

Rouschal, E., und Strugger, S., 1940. Der fluoreszenzoptisch-histochemische Nachweis der kutikulären Rekretion und des Salzweges im Mesophyll. Ber. Dtsch. Bot. Ges., **58,** 2, 50.

Sabalitschka, Th., und Wiese, A., 1926. Das Verhalten des K vor und bei dem herbstlichen Absterben der Blätter von *Populus nigra* L. und *Hedera Helix* L. Z. Pfl.Ernähr. Düng., **7,** 166.

Schweizer, J., 1935. Over physiologische verschijnselen bij enkele cultuurplanten gedurende abnormale droogte. Verslag van de 15e vergadering van de vereeniging van proefstation-personeel te Batavia, 168.

— 1940. Physiologische studies bij koffie I. Arch. Koffiecult. Ned.-Ind., **14,** 2.

Smirnow, A. I., 1940. Biochemie des Tabaks. Den Haag.
Strugger, S., 1939. Die luminiszenzmikroskopische Analyse des Transpirationsstromes in Parenchymen. Biol. Z. Bl., **59,** 409.
Swart, N., 1914. Die Stoffwanderung in ablebenden Blättern. Jena.
Tamm, C. O., 1951. Removal of Plant Nutrients from Tree Crowns by Rain. Physiol. Plant., **4,** 184.
Wallace, T., 1930. Experiments on the Effects of Leaching with Cold Water on the Foliage of Fruit Trees I., Pomol. Hort., **8,** 44.
Wehmer, C., 1892. Zur Frage nach der Entleerung absterbender Organe, insbesondere der Laubblätter. Landw. Jb., **10,** 152.
Went, F. W., und Carter, M., 1948. Growth Response of Tomato Plants to Applied Sucrose. Amer. J. Bot., **35,** 2, 95.
Wetzel, K., 1924. Die Wasseraufnahme der höheren Pflanzen durch oberirdische Organe. Flora, **117,** 221.