

Ein Beitrag zur Frage der Biologischen Wirkung der Thermen

Keimung und Jugendentwicklung von
Samenpflanzen unter Mineralwassereinfluß

Franz Bukatsh; Maria Bukatsch



ISBN 978-3-662-27088-2
DOI 10.1007/978-3-662-28568-8

ISBN 978-3-662-28568-8 (eBook)

Keimung und Jugendentwicklung von Samenpflanzen unter Mineralwassereinfluß.

(Ein Beitrag zur Frage der biologischen Wirkung der Gasteiner Thermen.)

Von Franz und Maria Bukatsch.

(Aus dem Forschungsinstitut Gastein.)

1. Einleitung.

Der Altmeister der deutschen chemisch-balneologischen Forschung, L. FRESSENTIUS, lenkte schon vor Jahren die Aufmerksamkeit der Balneologen auf die Beachtung der Flora der Mineralquellen und Thermen als einem wichtigen äußeren Kennzeichen und Unterscheidungsmittel der Heilquellen.

Nun sind aber die natürlichen Pflanzengesellschaften, vor allem die verschiedenen Vertreter der niederen Organismenwelt, Algen und Pilze, die sich in und um die Quelle unter dem spezifischen Einfluß ihres Wassers herausgebildet haben, durch die modernen hygienischen Vorkehrungen, wie Quelfassung u. a., meist gänzlich verschwunden.

In letzter Zeit wurde nun vielfach der Versuch unternommen, Mineralwässer auf verschiedene, auch höhere Pflanzen einwirken zu lassen, um derart Schlüsse auf die biologische Wirkung und Eigenart der Quellen zu gewinnen. Bei dem großen Abstand des pflanzlichen vom menschlichen Organismus in Bau und Funktion sind natürlich keine unmittelbar medizinisch verwertbaren Aufschlüsse aus solchen Versuchen zu erwarten. Wenn wir uns nun die Frage nach dem Zweck derartiger pflanzenphysiologischer Untersuchungen an Mineralquellen vorlegen, so lassen sich etwa folgende Gesichtspunkte anführen:

1. Den Versuchen kommt, soferne sie den Einfluß bestimmter Ionen auf Entwicklung und Stoffwechsel von Pflanzen eindeutig herauszustellen vermögen, die gleiche Bedeutung wie anderen botanisch-ernährungsphysiologischen Arbeiten zu.

2. Die Feststellung eines Erfolges am Patienten ist in vielen Fällen, wo es sich nur um eine Hebung des Allgemeinbefindens handelt, auf die subjektive Aussage des Kurgebrauches angewiesen. Schon aus diesem Grunde ist die objektive Feststellung einer besonderen biologischen Wirkung an einem einfacheren, der Einbildungskraft und Willkür entzogenen Lebewesen wünschenswert.

3. Der hier in erster Linie in Betracht zu ziehende Tierversuch ist oft wegen der notwendigerweise großen Zahl und der Wartung von Versuchs- und Kontrolltieren mit erheblichen Kosten verbunden und dabei wegen der doch beschränkten Zahl streng vergleichbarer Individuen (Tiere des gleichen Wurfs) nicht einwandfrei beweiskräftig.

4. Diese Lücke füllt der Pflanzenversuch aus: durch Verwendung erbgleichen Materials (reiner Linien) sind Versuche in fast unbeschränkter Zahl möglich, so daß bei statistischer Bearbeitung die biologische Schwankungsbreite der Einzelwesen aus dem Ergebnis herausfällt. Gerade in dem Fall der Mineralwässer, wo es sich vielfach um die Feststellung der Wirkung nur spurenweise vorhandener Elemente handelt, hat sich die Pflanze als besonders empfindliches Objekt erwiesen. Es sei hier nur an die von MOLISCH festgestellten Wirkungen von Laboratoriumsluft oder Tabakrauch erinnert, oder an die bekannte Giftigkeit kleinster Schwermetallmengen für Algen usw. Da die Pflanze — im Gegensatz zum Tier — ihre Organe nach außen hin entfaltet, ist bei ihr eine Veränderung oft leichter feststellbar als beim Tier.

5. Die neuere Naturforschung hat mannigfache und innige Beziehungen und Ähnlichkeiten zwischen pflanzlichen und tierischen Lebewesen in bezug auf chemischen Aufbau (z. B. der Zellbestandteile Plasma und Kern) oder im Stoffwechselgeschehen (enzymatische Spaltungsvorgänge, Ähnlichkeit der für den Gaswechsel wichtigen Pigmente Chlorophyll und Hämoglobin u. a., m.) festgestellt. In letzter Zeit finden sich auch Hinweise auf die Bedeutung der für Mensch und Tier so wichtigen Vitamine und Hormone auch

für den pflanzlichen Organismus (vgl. VIRTANEN 1936, STEFF und SCHROEDER 1936). In Ansehung dieser großen, die gesamte Organismenwelt umfassenden Gemeinsamkeiten ist neben dem botanischen Interesse diesen Versuchen eine allgemein biologische Bedeutung nicht abzusprechen.

6. Im Falle eines günstigen Einflusses auf das Pflanzenwachstum ist schließlich die Möglichkeit nicht zu vergessen, daß bei großer Ergiebigkeit der Quellen, die den für Kurzwecke nötigen Bedarf wenigstens zeitweise beträchtlich übersteigt, das überflüssige Wasser zur Förderung des Nutzpflanzenwachstums herangezogen werden kann. Diese Art einer natürlichen, bei geeigneter Anlage billigen „Düngung“ sollte gerade unter den augenblicklichen Verhältnissen, solange uns neuer Ackerboden in Form von Kolonien noch nicht verfügbar ist, im Sinne der „inneren Kolonisation“, der möglichsten Ertragsteigerung, nicht außer acht gelassen werden.

Um nun auf die eingangs erwähnten Untersuchungen zurückzukommen, seien zunächst nur zwei letztthin erschienene Arbeiten über die Wirkung deutscher Mineralwässer auf die Pflanzenentwicklung erwähnt: die Arbeit von STRANSKY (1935), in der auch die ältere Literatur dieses Gebietes angeführt ist, sowie die Untersuchungen BRÜNING'S (1936).

Beide Autoren untersuchten hauptsächlich den Einfluß auf das Wachstum junger Keimpflanzen; die Samenkeimungsversuche zeigten zumeist große unregelmäßige Schwankungen (STRANSKY).

STRANSKY verglich mit den Karlsbader Thermen einige andere deutsche sowie französische Mineralwässer und stellte in den meisten Fällen gegenüber gewöhnlichem Leitungswasser Hemmungen des Wachstums von Erbse und Feuerbohne fest, was er auf ungenügende Ionenbalance der Versuchswässer zurückführt.

BRÜNING dagegen fand bei seinen schwefelhaltigen Versuchswässern (Weilbacher Quelle, Wildunger Helenen-Quelle, Salzschlirfer Bonifaziusbrunnen) deutliche Wachstumsförderungen an Erbse, sofern die Salzkonzentration der Quellen nicht zu hoch, bzw. durch Verdünnung herabgesetzt war. Nach Verdünnung auf gleiche Konzentration zeigen die einzelnen Wässer dennoch deutliche Wirkungsunterschiede, so daß jede Quelle eine „charakteristische balneotherapeutische Einheit“ darstellt.

Unsere in dieser Arbeit geschilderten Versuche wurden mit den in den Hochalpen Salzburgs entspringenden Gasteiner Thermalwässern durchgeführt, welche sich neben ihrer Radioaktivität noch durch den Gehalt an manchen sonst in Quellen seltenen Stoffen auszeichnen¹. Die Untersuchung betrifft sowohl die Samenkeimung als auch das Jugendwachstum der Keimlinge.

2. Keimungsversuche.

a) *Material, Methode und Versuchswässer.* Das für unsere Versuche herangezogene Saatgut war zum Teil ausgesuchtes Samenmaterial der Firma Hüttig (Wien, I, Weihburggasse), zum Teil wurde es direkt von der Staatsanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung (Wien, II, Lagerhausstraße) bezogen. Verwendet wurden: verschiedene Erbsensorten („grüne Expreß“, „allerfrüheste Mai“, „Senator“, „Imperial II“); als weitere Vertreter stärkeführender Samen Bohnen („Wachsbritle“, „Wunder von Amerika“), Mais („Pettender Goldflut“). Sojabohnen („Platter Schwärze“) als Übergang zu den ölproteinführenden Samen und als Vertreter dieser letzten Gruppe Kürbis und Sonnenblume.

Vor dem Auslegen wurden die Samen eine bestimmte Zeit in den Versuchs- (bzw. Vergleichs-) Wässern eingequollen. Die vorgequollenen Samen wurden sodann, in der

¹ Nach LUDWIG und PANZER (1900) enthält 1 l Wasser der Badgasteiner Elisabeth-Quelle:

Kaliumoxyd	0,0036 g	Fluor	0,0025 g
Natriumoxyd	0,1061 g	Schwefelsäureanhydrid	0,1078 g
Lithiumoxyd	0,0004 g	Borsäureanhydrid	0,0041 g
Calciumoxyd	0,0299 g	Kieselsäureanhydrid	0,0410 g
Strontiumoxyd	0,0006 g	Kohlensäureanhydrid	0,0507 g
Magnesiumoxyd	0,0007 g	Phosphorsäureanhydrid	0,0001 g
Eisenoxyd	0,0020 g	Chlor	0,0252 g
Manganoxyd	0,0002 g	Titansäure	Spuren
Cäsium, Rubidium	Spuren	Flücht. Säuren	Spuren
Aluminium, Arsen	Spuren	Organ. Substanz	0,0008 g

Die Radioaktivität der Elisabeth-Hauptquelle beträgt nach MACHE: Radiumemanation $533 \cdot 10^{-10}$ Curie/l, Radium $6,3 \cdot 10^{-12}$ g/l.

Regel zu je 50 Stück, in große, mit feuchtem Filterpapier ausgelegte gläserne Krystallisierschalen gebracht, die Schalen sodann mit Glasplatten bedeckt. Die Keimung erfolgte im Dunkeln unter Stürzen, bzw. zur kühleren Jahreszeit in einem dunklen Thermostaten.

Die Länge der gebildeten Organe wurde in Abständen von je 2 Tagen bestimmt, dabei auch stets das Filterpapier der Schalen jeweils mit dem entsprechenden Wasser frisch befeuchtet. Die Versuchsdauer betrug etwa 1 Woche oder etwas mehr. Nach Beendigung der Versuchsreihen wurden die Keimlinge teils für die später zu beschreibenden Wasserkulturversuche weiterverwendet, teils ins Freiland verpflanzt oder verworfen.

Das Wasser der Gasteiner Thermalquellen wurde stets vor Verwendung von seiner ursprünglichen Temperatur (40—45°) auf Zimmertemperatur abgekühlt. Dieses Versuchswasser wird weiterhin kurz mit „Thermalwasser“ („ T “) bezeichnet; zur Analyse seiner Wirkung wurde es ferner bestimmten Veränderungen unterworfen, deren wichtigste hier angeführt seien:

1. Durchquirlen mit Luft, etwa 1 Stunde lang, wodurch der Großteil der in Form der gasförmigen Radiumemanation („Radon“) vorliegenden Radioaktivität durch den Luftstrom entfernt wurde. Wir nennen dieses so behandelte Wasser kurz „entemanirtes Thermalwasser“ („ eT “). Auf die geschilderte Weise ist es möglich, die unmittelbare Wirkung der radioaktiven Komponente praktisch auszuschalten, ohne den Chemismus des Wassers wesentlich zu verändern¹.

2. Konzentration durch schonendes Eindampfen auf dem elektrischen Herd. Dabei geht das Radon verloren; der etwaige Einfluß der chemisch wirksamen Bestandteile — kurz, die „Salzwirkung“ — wird aber entsprechend der Konzentration erhöht. Es wurde auf $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{10}$ des Ausgangsvolumens eingengt: „ $5eT$ “ bzw. „ $10eT$ “.

3. Filtrieren durch eine etwa 50 cm mächtige Permutitsäule. Der „Permutit“, ein wasserhaltiges Natrium-Aluminiumsilicat, hat die Eigenschaft, aus dem Wasser selektiv die Kationen zu absorbieren und gegen entsprechende Mengen Natrium zu ersetzen, worauf sich seine Verwendung in der Technik als Enthärter des Kesselspeisewassers gründet. Die Anionen bleiben unverändert erhalten. So gelingt es, beim „Salzeinfluß“ die Wirkung der als Kation vorliegenden Elemente von der Anionenwirkung zu unterscheiden. Das so erhaltene Wasser, kurz „permutiertes Thermalwasser“ („ pT “) genannt, büßt fast nichts von seiner Radioaktivität ein, es kann im Bedarfsfall „entemanirt“ oder konzentriert werden.

4. Zusatz künstlich hoch mit Radon angereicherten Wassers („+ Rn “). Das Hinzu-fügen bestimmter Mengen von Wasser, das durch Einhängen eines emanierenden Radiumpräparates bekannter Leistung hoch emanirt worden war, geschah zu dem Zwecke, den Einfluß der Radioaktivität gesondert herauszustellen.

Die hohen Radongaben wirkten nur während der Samenquellung ein; in den großen Glasschalen wären unübersehbare Radonverluste unvermeidlich gewesen. Um diese wenigstens bei der Quellung in kontrollierbaren Massen zu halten, erfolgte diese nicht wie sonst in flachen Schalen, sondern in mit Radonlösung halbgefüllten verschlossenen Pulvergläsern; auf diese Weise stellte sich mit dem darüber befindlichen verschlossenen Luftraum ein berechenbares Emanationsgleichgewicht ein (etwa $\frac{1}{5}$ verblieb im Wasser, $\frac{4}{5}$ des Radons gingen in die Luft über).

Hier seien auch gleich einige Worte zur Frage der Sauerstoffversorgung der keimenden Samen gesagt: KISSER und POSSNIG (1932) wiesen bekanntlich nach, daß Sauerstoffmangel Keimung und Keimlingswachstum deutlich zu hemmen vermag. Das Gasteiner Thermalwasser ist nun, wie der eine von uns (F. BUKATSCH, 1937) mitteilte, an Sauerstoff wesentlich untersättigt, da es — selbst nach raschem Abkühlen unter Luftzutritt — nur etwa bis zu $\frac{1}{3}$ des normalen Sättigungswertes enthält. Beim Quellen der Samen in flachen Schalen unter geringer Wasserbedeckung war Sauerstoffmangel nicht zu befürchten.

¹ Unter dem Einfluß der radioaktiven α -Strahlung des Radons konnten aber schon *vorher* bestimmte, z. B. kolloidchemische Veränderungen des Wassers stattgefunden haben, die sich, als „mittelbare Wirkungen“ der Radioaktivität so der Beobachtung entziehen. Deshalb wurde auch künstlicher, nachträglicher Radonzusatz versucht (s. Punkt 4).

Anders in den geschlossenen Pulvergläsern: hier machte sich — trotz des eingeschlossenen Luftraumes — der mit zunehmender Quelldauer immer deutlichere Sauerstoffmangel in einer Keimungsverzögerung bemerkbar. Da wegen des sonst unvermeidbaren Radonverlustes eine Durchlüftung nicht in Frage kam, wurde der Übelstand in Kauf genommen; zur Verminderung des Fehlers wurden die Kontrollen im nichtaktiven Wasser die gleiche Zeitdauer ebenfalls in halbgefüllten Pulvergläsern gehalten.

Als Vergleichswasser für die Kontrollen diente gewöhnliches Gasteiner Leitungstrinkwasser („L“) oder Wiener Hochquellwasser („H“), das bei Versuchen mit konzentriertem Thermalwasser ebenfalls in gleichem Maße eingeeengt zur Anwendung gelangte („₁₀L“). In einigen Fällen wurde auch Radon zugesetzt („+ Rn“).

Für bestimmte Untersuchungen wurde ferner ein Modell-Thermalwasser („M“) synthetisch hergestellt; es enthielt im Liter doppelt destilliertes Wasser folgende Bestandteile: 6,69 mg Kaliumsulfat; 157,5 mg Natriumsulfat; 1,98 mg Magnesiumsulfat; 30,5 mg Calciumsulfat; 77,85 mg Calciumchlorid; 96,4 mg Natriumbicarbonat und 0,15 mg sek. Natriumphosphat.

In den großen, etwa 25 cm im Durchmesser haltenden und 8 cm hohen Keimschalen war Sauerstoffmangel bei täglicher Lüftung kaum zu befürchten. Die bei der Atmung der gegen Versuchsene schon größeren Keimlinge in den Schalen entstehende höhere Kohlensäurekonzentration muß nicht hemmend (KISSER, l. c.) wirken, sondern kann nach THORNTON (1936) sogar zu Förderungen Anlaß geben.

b) *Das Ergebnis der Keimungsversuche.* Zur Orientierung wurden zunächst eine große Zahl von Versuchen in L, eT und T mit verschiedenen Samen (Erbse, Feuerbohne, Soja, Kürbis, Sonnenblume, Mais und Hafer) durchgeführt. Dabei erwiesen sich die Pflanzen als verschieden empfindlich, auch stellten sich teilweise jene Unregelmäßigkeiten im Keimungsverlauf heraus, die STRANSKY (l. c.) und BRÜNING (l. c.) zur Aufgabe der Keimungsversuche veranlaßten. Auch in unserem Falle waren derartige Schwankungen und Unregelmäßigkeiten im Keimungsverlauf, besonders beim Hafer, zu beobachten; die anderen Objekte ließen aber dank der zahlreichen, im Laufe von 2¹/₂ Jahren stets wiederholten Versuche doch ein recht einheitliches Ergebnis erkennen:

Im Gasteiner Thermalwasser sind die Zahlen der keimenden Samen sowie die gebildeten Organlängen zumeist geringer als bei der Kontrolle (in Leitungstrinkwasser); auch entmaniertes Thermalwasser weist eine schwächere, aber doch noch deutliche Hemmungswirkung auf. Dafür einige Beispiele aus den Versuchsprotokollen:

In den folgenden Tabellen bedeutet:

K% = Prozentsatz der keimenden Samen;

W = durchschnittliche Wurzellänge der Keimlinge (Mittelwert); bei Sonnenblume und Kürbis ist darunter die Gesamtlänge von Hypocotyl + Wurzel zusammengefaßt;

S = durchschnittliche Sproßlänge der Keimlinge (Epikotyl, Koleoptile).

Im allgemeinen bietet der Vergleich der gebildeten Organlängen gleichmäßigere und sicherere Anhaltspunkte für die Beurteilung der Wirkung der einzelnen Wassertypen als die bloße Zahl der auskeimenden Samen.

Tabelle 1.

Versuch 1: Erbse („grüne Expreß“).

Versuch 2: Sonnenblume.

30 Stunden Vorquellung in L, bzw. T; ausgelegt am 1. VI. 1936.

Beobachtungsdatum	Erbse						Sonnenblume					
	in L			in T			in L			in T		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
5. VI.	100	23	—	100	15	—	22	11	—	16	6	—
7. VI.	100	41	10	100	29	5	42	21	—	28	14	—
9. VI.	100	57	19	100	51	15	48	33	—	36	23	—
11. VI.	100	72	28	100	64	20	54	39	—	40	35	—

Tabelle 2.

Versuch 9: Mais („Pettender Goldflut“).

Versuch 10: Kürbis.

24 Stunden Vorquellen in L , eT und T ; ausgelegt am 17. VII. 1936.

Beobachtungsdatum	K% von Mais			K% von Kürbis		
	in L %	in eT %	in T %	in L %	in eT %	in T %
19. VII.	29	37 ¹	24	—	—	—
21. VII.	85	83	65	34	38 ¹	23
23. VII.	89	83	66	77	71	57

Tabelle 3.

Versuch 14: Erbse („Allerfrüheste Mai“).

Versuch 15: Mais.

24 Stunden in L , eT und T vorgequollen; am 25. VII. 1936 ausgelegt.

Beobachtungsdatum	Erbse									Mais								
	in L			in eT			in T			in L			in eT			in T		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
28. VII.	100	24	—	100	17	—	100	14	—	72	23	—	53	14	—	52	7	—
31. VII.	100	62	20	100	50	16	100	42	8	92	33	kl.	64	23	s. kl.	66	11	—

3. VIII.: In L weisen 18 Erbsenkeimlinge reichliche und stark entwickelte Seitenwurzeln auf; in eT zeigen 17 schwächere Ausbildung von Seitenwurzeln, in T waren diese nur an 6 Pflanzen schwach entwickelt.

Tabelle 4.

Versuch 16: Feuerbohne.

24 Stunden vorgequollen in L , eT und T ; ausgelegt am 12. VIII. 1936.

Beobachtungsdatum	Feuerbohne								
	in L			in eT			in T		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
16. VIII.	80	15	—	80	13	—	80	13	—
18. VIII.	90	45	10	90	30	kl.	80	25	kl.
21. VIII.	100	56	40	100	48	20	90	44	20

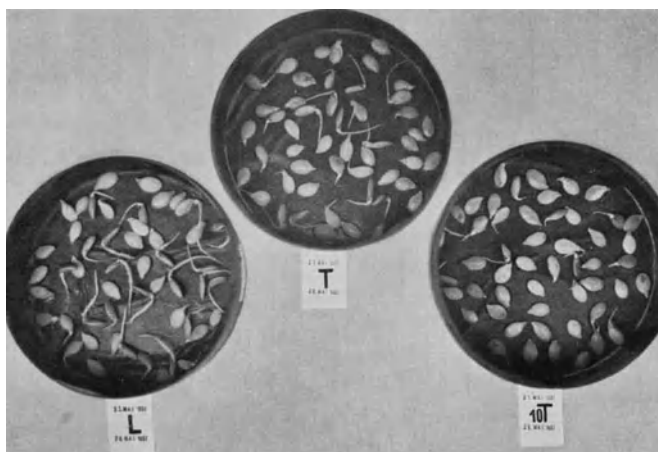


Abb. 1. Keimungsversuch mit Kürbis, 21.—28. V. 1937. mal L = Leitungswasser, T = radonhalt. Thermalwasser, $10T$ = entemianiertes 10mal konzentriertes Thermalwasser.

¹ In eT ist mitunter *anfangs* eine höhere Keimungszahl als in L zu beobachten; später kehrt sich das Verhältnis um.

Das Ergebnis, daß sich in entemanierem Thermalwasser wohl auch eine Keimungsverzögerung zeigt, aber in geringerem Maß als im radonhaltigen, führte uns zur Vermutung, daß für die Hemmung neben der Radioaktivität auch der Mineralstoffgehalt der Gasteiner Quellen verantwortlich sein könnte. Zur Klärung des Sachverhaltes wurde einerseits das Wasser durch Eindampfen konzentriert, wodurch die Wirkung der Salze erhöht, das Radon aber vollständig entfernt wurde. Auch das zur Kontrolle dienende Trinkwasser wurde in gleicher Weise eingedampft; außer ganz geringfügigen Spuren Calciumcarbonat schieden sich dabei keine Stoffe aus dem Wasser ab. Das Ergebnis wird durch die Abbildungen 1 bis 3 und Tabellen veranschaulicht:

Tabelle 5.

Versuch 20: Kürbis.

6 Stunden in L , T und 10^6T vorgequollen, am 22. V. 1937 ausgelegt. (Zur Verwendung kam Thermalwasser der Grabenbäckerquelle, Badgastein.)

Beobachtungsdatum	Kürbis								
	in L			in T			in 10^6T		
	K %	W mm	Anmerkung	K %	W mm	Anmerkung	K %	W mm	Anmerkung
26. V.	36	3	—	24	1	—	4	1	—
29. V.	88	40	reichlich Seitenwurzeln 10 mm	72	27	kurze Seitenwurzeln 3 mm	68	14	vereinzelt kl. Seitenwurzeln, 1 mm
1. VI.	88	100	reichl. Seitenwurzeln	72	75	reichl. Seitenwurzeln	70	50	gut entwick. Seitenwurzeln

Tabelle 6.

Versuch 21: Bohne („Wachsbrittle“).

12 Stunden vorgequollen, am 1. VI. 1937 ausgelegt. (Thermalwasser der Grabenbäckerquelle.)

Beobachtungsdatum	Bohne											
	in L			in $10L$			in T			in 10^6T		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
3. VI.	92	29	—	94	29	—	94	24	—	32	6	—
7. VI.	94	88	47	96	73	32	94	86	36	46	40	10
10. VI.	94	158	120	98	160	107	94	120	108	60	45	30

Tabelle 7.

Versuch 22: Erbse („Imperial II“).

Behandlung wie bei Versuch 21 (vorhergehende Tabelle).

Beobachtungsdatum	Erbse											
	in L			in $10L$			in T			in 10^6T		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
3. VI.	90	25	—	86	21	—	93	23	—	26	5	—
7. VI.	94	128	55	88	76	37	94	94	45	76	18	5
10. VI.	94	199	126	88	104	80	94	180	116	76	25	20

Diese Ergebnisse sprechen deutlich für eine Hemmungswirkung der mineralischen Komponenten des Thermalwassers, da durch die Konzentrierung desselben die Keimungshemmung in einem Maß ansteigt, daß bei dem geringen Gehalt des Thermalwassers an gelösten Stoffen ($0,3\%$) nicht auf die bloße Erhöhung des osmotischen Wertes beim Eindampfen zurückgehen kann. In $10L$ ergeben sich ja auch nur geringfügige Hemmungen gegenüber den Werten in L (Abb. 3).

Nun handelt es sich darum, festzustellen, ob an der Wirkung die Kationen oder die Anionen bildenden Elemente entscheidend beteiligt sind, ferner um die Klärung der Frage, ob die Wirkung von in großer Menge im Thermalwasser vorhandenen Elementen oder von

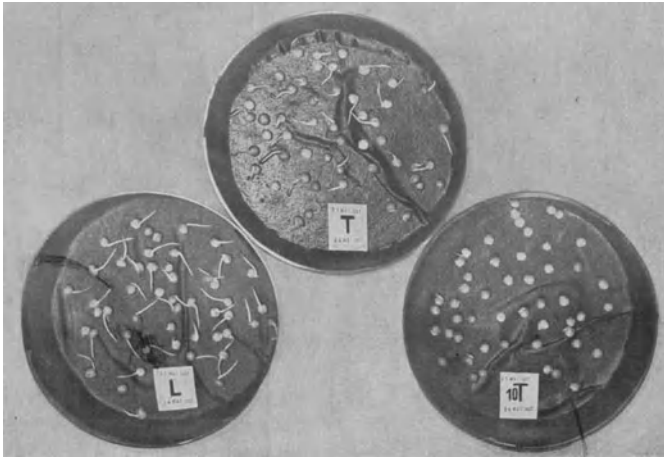


Abb. 2. Keimungsversuch mit Erbse („Allerfrüheste Mai“), 21.—24. V. 1937, L = Leitungswasser, T = radonhalt. Thermalwasser, $_{10}T$ = entemanisiertes 10 mal konzent. Thermalwasser.

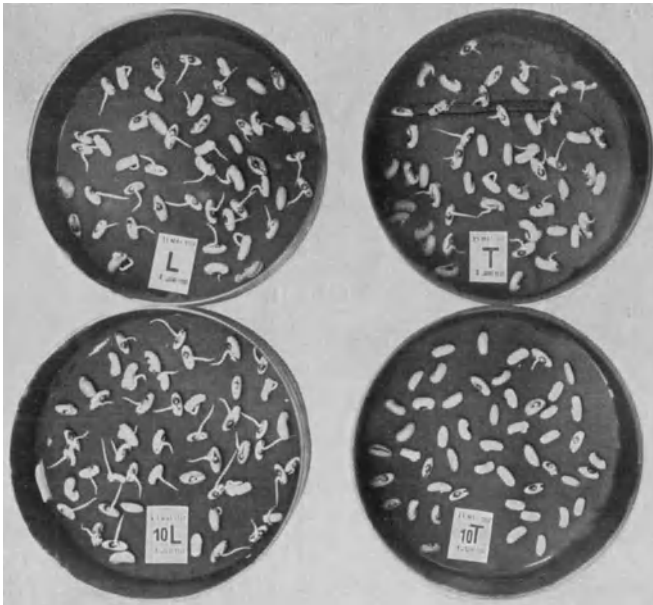


Abb. 3. Keimungsversuch mit Bohne („Wachsbrittle“), 31. V. bis 3. VI. 1937, L = Leitungswasser, $_{10}L$ = 10 mal konzent. Leitungswasser, T = radonhaltiges Thermalwasser, $_{10}T$ = 10 mal konzent. enteman. Thermalwasser.

den „Spuren-Elementen“ ausgeht. Zu diesem Zweck wurde permutiertes Thermalwasser (pT), dem die Kationen — außer Na — fehlen, sowie „Modell-Thermalwasser“ (M) für die Versuche herangezogen, von denen einige in den folgenden Tabellen wiedergegeben sind:

Tabelle 8.

Versuch 24: Erbse („Grüne Expresß“).
6 Stunden vorgequollen in L , eT , T , pT ; ausgelegt am 21. VIII. 1937.

Beobachtungs- datum	Erbse							
	in L		in eT		in T		in pT	
	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm
24. VIII.	94	15	84	13	84	13	80	15
26. VIII.	98	39	94	34	90	30	86	32
28. VIII.	98	69	96	55	92	51	88	54

Tabelle 9.

Versuch 25: Kürbis.
Versuch 26: Bohne.
24 Stunden vorgequollen in L , T , pT ; ausgelegt am 22. VIII. 1937.

Beobachtungs- datum	Kürbis						Bohne					
	in L		in T		in pT		in L		in T		in pT	
	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	W %	W mm	K %	W mm
26. VIII.	—	—	—	—	—	—	88	—	80	—	76	—
28. VIII.	40	—	36	—	34	—	96	32	88	27	88	23
30. VIII.	78	21	72	17	78	14	96	44	88	38	88	35
1. IX.	90	51	76	46	90	41	—	—	—	—	—	—

Tabelle 10.

Versuch 27: Erbse („Allerfrüheste Mai“).
12 Stunden vorgequollen in L , M , pT und T ; ausgelegt am 30. VIII. 1937.

Beobachtungs- datum	Erbse							
	in L		in M		in pT		in T	
	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm
1. XI.	96	29	100	26	92	22	86	21
3. XI.	96	44	100	39	94	33	90	34
5. XI.	96	64	100	59	96	52	92	53

Tabelle 11.

Versuch 29: Sonnenblume.
12 Stunden vorgequollen in L , M , pT , T ; ausgelegt am 7. IX. 1937.

Beobachtungs- datum	Sonnenblume							
	in L		in M		in pT		in T	
	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm
10. IX.	50	—	38	—	30	—	32	—
12. IX.	64	15	64	20	52	11	50	12
14. IX.	64	39	64	34	56	20	56	19

Das permutierte Thermalwasser bringt etwa die gleiche Hemmung hervor wie das gewöhnliche Thermalwasser; das Modell-Thermalwasser zeigt eine geringere Keimungsverzögerung, schließt sich also mehr an das Leitungswasser an. Der Umstand, daß aber doch auch im Modellwasser eine gewisse Hemmung erfolgt, spricht dafür, daß das verhältnismäßige Überwiegen des Na_2SO_4 für die Verringerung der Keimungsgeschwindigkeit von Belang ist. Dies gilt in noch stärkerem Maß für pT , wo das Na-Ion noch mehr vorherrscht.

Versuche mit $_{10}L$, $_{10}eT$ und $_{10}pT$ ergaben nun eine besonders starke Hemmung im konzentrierten permutierten Thermalwasser (s. Tabelle 12), somit ist es wahrscheinlich,

daß neben dem Na auch noch die spurenweise vorhandenen Anionen an der Keimungsverzögerung mitwirken.

Tabelle 12.

Versuch 41: Bohne („Wachsbritle“).

8 Stunden vorgequollen in $_{10}L$, $_{10}eT$ und $_{10}pT$; ausgelegt am 30. VIII. 1937.

Beobachtungsdatum	Bohne								
	in L			in $_{10}eT$			in $_{10}pT$		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
1. IX.	85			15			0		
4. IX.	85	25	—	40	17	—	20	10	—
7. IX.	90	60	30	70	35	—	40	20	—

Bei der Suche nach den verantwortlichen Anionen wurde in weiteren Versuchen die Keimung in Modell-Thermalwasser ohne oder mit (der Analyse entsprechenden Mengen-) Zusätzen von Arsen (0,01 mg/l), Bor (4,0 mg H_2BO_3/l) bzw. Fluor (2,5 mg/l) verglichen. Aus vielen Versuchen mit Erbse, Bohne, Sonnenblume und Mais ging hervor, daß die 3 genannten Anionen *gemeinsam* stets eine Hemmung zeitigten, daß sie aber, jedes für sich allein, ganz verschieden wirken können: während *Fluor* und — trotz der minimalen Konzentration von $1 \cdot 10^{-5}$ g/l — auch das *Arsen* die Keimung verzögern, kommt dem *Bor* oft eine *fördernde Wirkung* auf den Keimungsverlauf zu,

Tabelle 13.

Versuch 45: Erbse („Allerfrüheste Mai“).

12 Stunden vorgequollen in L , T , M , $M + As + B + F$; ausgelegt am 29. IX. 1937.

Beobachtungsdatum	Erbse											
	in L			in T			in M			in $M + As + B + F$		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
2. X.	100	24	—	96	22	—	100	25	—	88	22	—
4. X.	100	56	9	96	46	7	100	53	7	88	43	5
6. X.	100	77	15	96	67	12	100	76	12	88	58	10

Tabelle 14.

Versuch 46: Erbse („Allerfrüheste Mai“).

12 Stunden gequollen in M , $M + As$, $M + B$, $M + F$, $M + As + B + F$; ausgelegt am 1. X. 1937.

Beobachtungsdatum	Erbse														
	in M			in $M + As$			in $M + B$			in $M + F$			in $M + As + B + F$		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
2. X.	92	17	—	100	12	—	84	15	—	88	13	—	88	11	—
4. X.	96	67	—	100	63	—	96	57	—	96	54	—	96	35	—
6. X.	96	102	25	100	93	22	96	96	38	100	89	22	96	75	20

Versuch 47: Mais („Pettender Goldflut“).

12 Stunden gequollen in M , $M + As$, $M + B$, $M + F$, $M + As + B + F$; ausgelegt am 1. X. 1937.

Beobachtungsdatum	Mais														
	in M			in $M + As$			in $M + B$			in $M + F$			in $M + As + B + F$		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
2. X.	24	5	—	20	1	—	24	4	—	20	3	—	16	1	—
4. X.	68	55	—	64	38	—	80	53	—	68	48	—	60	32	—
6. X.	76	105	35	76	78	20	80	112	40	76	83	34	68	80	23

(Die fetten Werte geben die Förderung durch Bor an.)

Tabelle 15.

Versuch 52: Bohne („Konservenkönigin“).

8 Stunden gequollen in M , $M + As$, $M + B$, $M + F$, $M + As + B + F$; ausgelegt am 25. I. 1938.

Beobachtungsdatum	Bohne									
	in M		in $M + As$		in $M + B$		in $M + F$		in $M + As + B + F$	
	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm
29. I.	50	8	65	7	70	10	35	6	55	5
31. I.	75	17	70	17	80	20	65	14	65	16
2. II.	80	30	75	22	80	40	80	16	70	23

(Fette Werte: Förderungen durch Bor.)

Die *Sojabohne* erwies sich in wiederholten Versuchen als wesentlich unempfindlicher gegenüber Thermalwasser: die Unterschiede in der Keimung sind zwischen L und T gering; immerhin drückt sich aber bei Anwendung konzentrierten Thermalwassers ($_{10}eT$) auch bei ihr die Hemmung durch die Salzbestandteile der Therme aus.

Tabelle 16.

Versuch 32: Sojabohne („Platter Schwarze“).

6 Stunden vorgequollen in L , $_{10}L$, T und $_{10}eT$; ausgelegt am 7. VIII. 1937.

Beobachtungsdatum	Sojabohne							
	in L		in $_{10}L$		in T		in $_{10}eT$	
	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm	K %	W mm
9. VIII.	94	16	96	15	88	16	86	12
11. VIII.	100	39	100	32	98	36	96	20
12. VIII.	100	53	100	52	98	48	96	23

Um die Wirkung der *Radiumemanation* auf die Samenkeimung herauszustellen, wurden Versuche mit verschiedenem *Radonzusatz* zu L , eT oder M durchgeführt. Dabei ergaben niedrige, der Aktivität der Thermen entsprechende Dosen nicht immer deutliche Hemmungen, höhere Radonzusätze aber stets. Dies geht aus den folgenden Protokollen hervor.

Tabelle 17.

Versuch 61: Erbse („Wunder v. Amerika“).

12 Stunden gequollen in halbgefüllten, verschlossenen Pulvergläsern in: M , $M + 100 ME.$, $M + 500 ME.$, $M + 1000 ME.$ und $M + 5000 ME.$; ausgelegt am 9. VIII. 1938.

Beobachtungsdatum	Erbse														
	in M			in $M + 100 ME.$			in $M + 500 ME.$			in $M + 1000 ME.$			in $M + 5000 ME.$		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
11. VIII.	94	23	2	82	22	—	86	22	—	84	22	—	82	21	—
17. VIII.	94	62	16	84	53	14	86	44	12	84	40	10	82	36	11

Aus Versuch 50 (Tabelle 18), in welchem besonders lange Quellungsdauer unter teilweise Luftabschluß angewendet wurde, geht hervor, daß wohl der Sauerstoffmangel an sich eine Entwicklungshemmung verursachen kann, dadurch wird aber die Wirkung hoher Radongaben nicht verwischt; außerdem trat bei den Pflanzen, die hohen Emanationsmengen ausgesetzt waren, bald ein *Stillstand des Wurzelwachstums* unter knotiger Verdickung der Spitze ein. Dies läßt auf eine Schädigung des Vegetationskegels schließen, wie sie erstmalig KÖRNICKE (1904) beschrieb — allerdings unter Anwendung ungleich höherer Dosen und unter ausschließlicher Wirkung von β - und γ -Strahlen.

Tabelle 18.

Versuch 50: Erbse („Allerfrüheste Mai“).

24 bzw. 48 Stunden vorgequollen in halbgefüllten, verschlossenen Pulvergläsern mit Wiener Hochquellwasser ohne und mit Radonzusatz von 1000000 ME.; ausgelegt am 4. XII. 1937.

Beobachtungsdatum	Erbse											
	24 Stunden Vorquellung						48 Stunden Vorquellung					
	in H			in H+1 Mill. ME.			in H			in H+1 Mill. ME.		
	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm	K %	W mm	S mm
6. XII.	94	25	—	96	21	—	92	18	—	90	14	—
9. XII.	94	44	5	96	32	3	96	42	3	92	26	2
11. XII.	94	70	12	96	43	8	96	61	10	92	38	5

3. Wasserkulturversuche.

a) *Material, Methode und Versuchswässer.* Material und Versuchswässer entsprechen den vorherbeschriebenen Versuchen; die Methode sei nun kurz umrissen: Möglichst gleich große und gleich entwickelte 1—1½ Wochen alte in gew. Leitungswasser herangezogene Keimpflanzen wurden in üblicher Weise auf etwa 0,5 l fassende Weithalsgläser mit Organtinbespannung gebracht, so, daß die Wurzeln in die mit den verschiedenen Wässern bereitete Nährlösung tauchten. Als solche wurde die altbewährte KNORSche Lösung verwendet (pro 1 l Versuchswasser: 1 g Calciumnitrat, 0,25 g Magnesiumsulfat, 0,25 g prim.

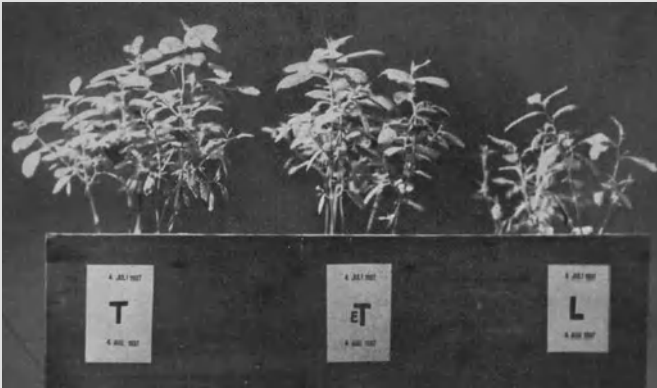


Abb. 4. Springkraut (*Impatiens noli tangere*): gleichalterige Pflanzen in Gartenerde, T = mit radonhalt. Thermalwasser begossen, eT = mit entemanisiert Thermalwasser begossen, L = mit Leitungswasser begossen; Kulturdauer: 1 Monat (4. VII. bis 4. VIII. 1937).

Kaliumphosphat, 0,12 g Kaliumchlorid und eine Spur Eisenchlorid). Zur Verhütung des Algenwachstums wurden die Gefäße mit schwarzem Papier umhüllt. Als Kontrolle diente KNORSche Lösung in Leitungswasser (seltener destilliertes Wasser); daneben wurden die Nährlösungen mit den gleichen Wassertypen angesetzt, die bei den Keimungsversuchen herangezogen worden waren. In jedes Gefäß wurden gleich viele Pflanzen gebracht (meist 3—5).

Um völligen Radonverlusten sowie der in KNORScher Lösung bald einsetzenden Säuerung vorzubeugen, wurden in Abständen von 2 Tagen die Nährlösungen vollständig gewechselt. Die Gefäße wurden unter gleichen klimatischen Bedingungen in einem nur oben gedeckten Gartenhäuschen, im Frühling und Herbst in kleinen Versuchsglashäusern untergebracht. Nach etwa 1 Monat Kulturdauer wurden von den Pflanzen Frisch-, Trocken- und Aschengewichte (für Sproß und Wurzel gesondert) bestimmt.

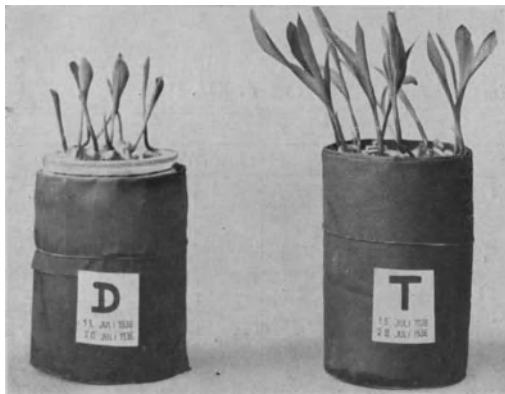


Abb. 5. Wasserkultur von Mais („Pettender Goldflut“) in Knopscher Nährlösung, mit destill. Wasser („D“) und Gasteiner Thermalwasser („T“) bereitet. Wachstumsunterschied nach 1 Woche Kultur (15.—20. VII. 1936).

In Einzelfällen wurde auch die Kultur in mit Gartenerden beschickten Kisten (bei Impatiens), bzw. in Beeten im Freiland durchgeführt (bei Spinat). In diesen Fällen wurden die Pflanzen einfach täglich mit Leitungswasser bzw. gekühltem Thermalwasser begossen.

b) *Das Ergebnis der Wasserkulturversuche.* Hatten die Keimungsversuche in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine Entwicklungshemmung durch das Thermalwasser gezeigt, so brachten die Wasserkulturversuche insofern ein überraschendes Ergebnis, als sich dabei stets und eindeutig eine *Förderung* durch das Thermalwasser herausstellte.

Tabelle 19. Ergebnis der Wasserkulturversuche mit Sonnenblume und Kürbis.

Pflanze	Vers.-Nr.	Beginn und Dauer der Kultur	Versuchswasser	Durchschnittsgewichte der Pflanzen in Gramm (berechnet aus je 3 Exemplaren)								
				Frisch			Trocken			Verascht		
				Wurzel	Sproß	Gesamt	Wurzel	Sproß	Gesamt	Wurzel	Sproß	Gesamt
Sonnenblume	1	1. VII. 1937, 1 Monat	L	1,567	4,077	5,644	0,080	0,270	0,350	0,015	0,036	0,051
			T	2,267	7,956	10,223	0,120	0,458	0,578	0,023	0,063	0,086
„	2	9. VIII. 1937, 1 Monat	L	2,390	6,543	8,933	0,103	0,470	0,573	0,029	0,100	0,129
			eT	3,190	10,620	13,810	0,123	0,583	0,706	0,051	0,119	0,170
			T	4,257	11,367	15,624	0,160	0,647	0,807	0,065	0,141	0,206
„	3	11. VIII. 1937 1 Monat	L	2,253	6,220	8,473	0,077	0,358	0,435	0,023	0,080	0,103
			eT	3,050	7,721	10,771	0,120	0,417	0,537	0,045	0,097	0,142
			T	2,717	8,930	11,647	0,113	0,530	0,643	0,043	0,109	0,152
„	4	19. VIII. 1937, 1 Monat	L	2,097	3,887	5,974	0,093	0,270	0,363	0,025	0,066	0,091
			pT(ealem.)	3,330	7,093	10,423	0,130	0,397	0,527	0,038	0,106	0,144
			T	4,660	9,723	14,383	0,203	0,550	0,753	0,061	0,130	0,191
„	5	25. VIII. 1937, 1 Monat	L	1,733	3,533	5,266	0,070	0,227	0,297	0,022	0,054	0,076
			eT	2,587	6,143	8,730	0,097	0,320	0,417	0,030	0,079	0,109
			pT	2,763	6,150	8,913	0,103	0,323	0,426	0,036	0,081	0,117
			T	2,687	6,027	8,714	0,093	0,303	0,396	0,034	0,079	0,113
Kürbis	1	13. VII. 1937, 3 Wochen	L	2,540	9,163	11,703	0,153	0,800	0,953	0,029	0,089	0,118
			eT	4,083	12,773	16,856	0,240	0,913	1,153	0,055	0,128	0,183
			T	4,143	13,310	17,453	0,288	1,127	1,415	0,078	0,101	0,179
„	2	19. VII. 1937, 1 Monat	L	2,890	10,410	13,300	0,160	0,923	1,083	0,037	0,141	0,178
			eT	4,720	15,270	19,990	0,280	1,170	1,450	0,080	0,188	0,268
			T	5,830	21,180	27,010	0,370	1,427	1,797	0,113	0,295	0,408
„	3	26. VII. 1937, 1 Monat	L	2,527	8,250	10,777	0,113	0,500	0,613	0,026	0,101	0,127
			eT	5,053	17,197	22,250	0,207	1,177	1,384	0,060	0,158	0,218
			T	6,540	15,600	22,140	0,223	1,180	1,403	0,053	0,162	0,215
„	4	19. VIII. 1937	L	1,767	5,673	7,440	0,090	0,523	0,613	0,017	0,083	0,100
			pT	4,743	11,753	16,496	0,223	0,877	1,100	0,032	0,138	0,170
			T	3,170	10,883	14,053	0,173	0,767	0,940	0,029	0,126	0,155

Schon die Versuche mit *Impatiens* durch Begießen mit L , eT und T ergaben — wie Abb. 4 zeigt — eine wachstumsanregende Wirkung der Thermen, welche bei erhaltener Radioaktivität („ T'' “) größer war als im entemantierten Zustand („ eT'' “).

Die Abb. 5 und 6 zeigen das Ergebnis an Wasserkulturen von Mais und Sonnenblume (auch hier wirken offenbar Radioaktivität und Salzgehalt der Thermen im gleichen Sinne zusammen, da in mehreren Versuchen das entemantierte Thermalwasser in seiner Wirkung eine Mittelstellung zwischen L und T aufwies). — In Vorversuchen des Jahres 1936 hatte sich die Erbse als wenig empfindliches Objekt für Wasserkulturversuche erwiesen. An Mais und Kürbis wurde in Thermalwasser auch eine wesentlich stärkere Verzweigung des Wurzelsystems festgestellt; die Farbe der Blätter der Thermalwasserpflanzen war blasser und mehr gelblichgrün.

Da sich Kürbis und Sonnenblume als geeignetste Versuchsobjekte erwiesen, wurden vor allem diese beiden Pflanzen herangezogen; in der folgenden Tabelle sind die damit

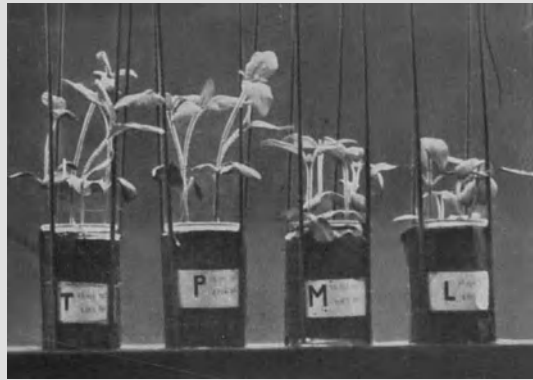


Abb. 6. Sonnenblumenpflanzen in Knopscher Nährlösung, bereitet mit: T =Thermalwasser, P =permutiertem Thermalwasser, M =Modell-Thermalwasser und L =Leitungswasser. Kulturdauer: 10. IX. bis 8. X. 1937.

Tabelle 20.

Pflanze	Vers.-Nr.	Versuchswasser	Mehrertrag (im Gesamtgewicht) gegen L (in Klammer: Gewichtsverhältnis Sproß/Wurzel)		
			Frisch	Trocken	Verascht
Sonnenblume	1	L	— (2,8)	— (3,3)	— (1,3)
		T	88% (3,5)	66% (3,8)	65% (3,0)
	2	L	— (2,8)	— (4,5)	— (3,5)
		eT	56% (3,3)	23% (4,7)	32% (2,3)
		T	71% (2,6)	41% (4,0)	60% (2,2)
	3	L	— (2,6)	— (4,7)	— (3,5)
		eT	27% (2,5)	23% (3,5)	38% (2,1)
		T	37% (3,3)	48% (4,7)	47% (2,5)
	4	L	— (1,8)	— (2,9)	— (2,6)
		pT (entem.)	75% (2,1)	45% (3,1)	59% (2,8)
		T	120% (2,1)	108% (2,7)	112% (2,1)
	5	L	— (2,0)	— (3,2)	— (2,5)
eT		65% (2,4)	40% (3,3)	44% (2,6)	
pT		68% (2,2)	44% (3,1)	54% (2,2)	
T		64% (2,2)	34% (3,3)	49% (2,4)	
Kürbis	2	L	— (3,6)	— (5,6)	— (3,8)
		eT	50% (3,2)	34% (4,2)	51% (2,4)
		T	103% (3,6)	67% (3,9)	131% (2,6)
	3	L	— (3,3)	— (4,4)	— (3,8)
		eT	106% (3,4)	127% (5,6)	73% (2,6)
		T	105% (2,4)	129% (5,3)	69% (3,1)
	4	L	— (3,2)	— (5,8)	— (5,0)
		pT	122% (2,5)	79% (3,9)	71% (4,3)
		T	89% (3,4)	53% (4,4)	57% (4,3)

gewonnenen Ergebnisse zur Übersicht dargestellt. (Es sei bemerkt, daß zur Anzucht gleich schwere Samen verwendet wurden.)

Um nun ersehen zu können, in welchem Maß durch die Wirkung von eT , pT bzw. T das Wachstum gefördert wurde, geben wir in der folgenden Tabelle die Mehrerträge in Prozenten an, bezogen auf den Wert der Kontrolle in L (100%). Außerdem ist in der folgenden Zusammenstellung das Gewichtsverhältnis Sproß : Wurzel jeweils als eingeklammelter Wert beigefügt; es fällt dabei auf, daß die Förderung beim Kürbis deutlicher als bei der Sonnenblume zum Ausdruck kommt, auch ist hier das Verhältnis Sproß : Wurzelgewicht höher. Dies läßt auf eine besondere Förderung der Photosynthese beim Kürbis unter Thermalwassereinfluß schließen.

Im allgemeinen ist das Trockengewicht der in T gezogenen Pflanzen höher als bei den Pflanzen aus eT , dies spricht für geförderte Bildung organischer Substanz unter dem Einfluß der Radioaktivität des Quellwassers. Auffallend ist der günstige Ertrag aus den

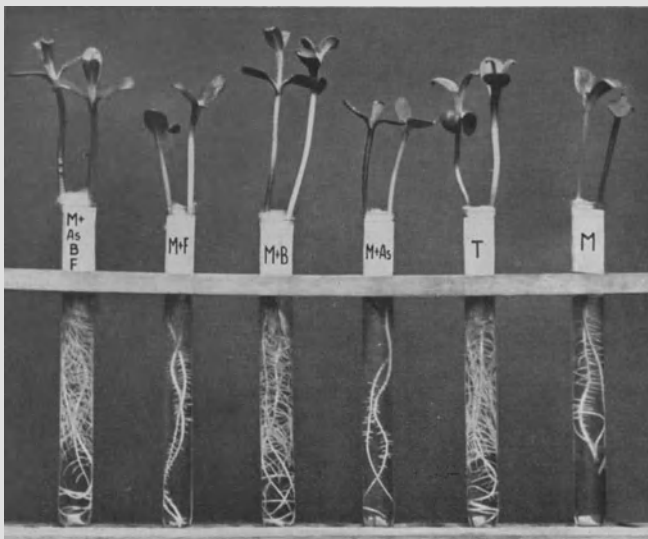


Abb. 7. Wasserkultur von Sonnenblume in Thermalwasser („ T “), bzw. Modell-Thermalwasser („ M “) ohne Zusatz, bzw. mit Zusätzen von Arsen, Bor und Fluor, die dem Gehalt des Gasteiner Thermalwassers entsprechen („ $M+As$ “ usw.). Kulturdauer: 2 Wochen; man beachte die unterschiedliche Wurzelentwicklung.

Kulturen in permutiertem Thermalwasser, was vermuten läßt, daß der Hauptsache nach die Wachstumsförderung durch ein als *Anion* im Thermalwasser vorliegendes Element verursacht wird. Es kann sich aber um keines der in großer Menge vorhandenen Elemente handeln, da das „Modell-Thermalwasser“ für sich allein keine Förderung bewirkt, wie aus Abb. 6 hervorgeht¹.

Unter den „spurenweise“ im Thermalwasser auftretenden Anionen waren wieder zunächst *As*, *B* und *F* wirkungsverdächtig. Deshalb wurden zu einer mit „Modellwasser“ (*M*) bereiteten Nährlösung die entsprechenden Mengen *Bor* (4,0 mg/l) bzw. *F* (2,5 mg/l)

¹ Bevor wir aber auf die Analyse dieser Wirkung näher eingehen, seien noch einige Versuche mit der Sojabohne erwähnt: sie erwies sich, ähnlich wie in den Keimungsversuchen, auch in Wasserkultur als recht unempfindlich. Allerdings ist nicht zu vergessen, daß die klimatischen Bedingungen in Gastein (1000 m Seehöhe, kurze Sonnenscheindauer infolge der Steilhänge des Tales) keine günstige Entwicklung der Pflanze zuließen, so daß die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf optimale Bedingungen übertragbar sind. Immerhin ließ sich mitunter, besonders bei Anwendung von doppelt konzentriertem Thermalwasser, eine geringe Förderung im Wachstum erkennen.

oder As (0,1 mg/l) zugesetzt und darin Kürbis und Sonnenblumenkeimlinge herangezogen. Der Versuch gab ein überraschend klares Resultat.

Schon nach 2 Wochen zeigten die Sonnenblumenpflänzchen in den Kulturen, denen *Bor* zugefügt war, besseres Wachstum und stärkere Wurzelentwicklung als die Kontrolle; die Förderung entsprach ganz dem Thermalwasser (Abb. 7). Nach 4 Wochen war auch der Größenunterschied deutlich. Dasselbe gilt für den Kürbis (Abb. 8).

Die Gewichte der 1 Monat in Modell-Thermalwasser ohne bzw. mit Zusätzen gezogenen Sonnenblumenpflanzen seien in der folgenden Tabelle den in Thermalwasser gezogenen Pflanzen gegenübergestellt:

Versuchswasser	Durchschnittsgewicht (v. je 2 Pflanzen), Wurzel+Spröß: (in Klammer die Ertragerhöhung gegenüber „M“)		
	frisch	trocken	verascht
<i>T</i>	4,9 g (+88%)	0,297 g (+62%)	0,066 g (+104%)
<i>M</i>	2,6 g —	0,183 g —	0,0325 g —
<i>M + As</i>	2,65 g (+ 2%)	0,164 g (—10%)	0,0335 g (+ 3%)
<i>M + B</i>	4,7 g (+81%)	0,286 g (+56%)	0,0565 g (+74%)
<i>M + F</i>	2,65 g (+ 2%)	0,204 g (+11%)	0,045 g (+38%)
<i>M + As + B + F</i>	4,5 g (+73%)	0,306 g (+67%)	0,050 g (+55%)



Abb. 8. Wasserkulturversuch mit Kürbis, Bedingungen wie bei Abb. 7 angegeben; Kulturdauer: 4 Wochen; man beachte auch den Unterschied in der Wurzelbildung (von rechts nach links: in *M*, *T*, *M+As*, *M+B*, *M+F* und *M+As+B+F*).

Somit ist der Schluß gerechtfertigt, daß — abgesehen vom Radongehalt — den Gasteiner Thermen infolge des darin enthaltenen *Bors* eine starke biologische Wirkung zukommt¹.

Nach Klärung der Ursache war nun das Wesen der Ertragssteigerung näher zu ergründen. So wurde zunächst die Frage ins Auge gefaßt, ob es im Thermalwasser nicht etwa zu erhöhter Wasser- und damit Nährsalzaufnahme käme. Wie uns die Höhe des Trockengewichtes Schlüsse auf die photosynthetische Leistung erlaubt, so müßte es möglich sein, aus dem Verhältnis des Aschengewichtes zum Trockengewicht auf die Salzaufnahme zu schließen: unter der Voraussetzung, daß nicht durch besonders gesteigerte Assimilationstätigkeit das Trockengewicht besonders erhöht wird, müßte sich erhöhte Salzaufnahme in einer Vergrößerung des Aschengewichtes, bezogen auf gleiches Trockengewicht, auswirken. Nach dem vorhin Gesagten ist hier die Sonnenblume das geeignetere Objekt; bilden wir aus den Aschen- und Trockengewichten des Sprosses die Verhältnisse, so ergibt sich folgendes Bild:

Versuch	Verhältnis zwischen Aschengew. d. Sprosses und Trockengew. d. Sprosses		Versuch	Verhältnis zwischen Aschengew. d. Sprosses und Trockengew. d. Sprosses	
	aus Kultur in <i>L</i>	aus Kultur in <i>T</i>		aus Kultur in <i>L</i>	aus Kultur in <i>T</i>
Versuch 1 . . .	0,132	0,138	Versuch 3 . . .	0,225	0,206
Versuch 2 . . .	0,212	0,218	Versuch 4 . . .	0,243	0,236

¹ Die Aussicht auf eine praktische Verwertung durch Ertragssteigerung von Nutzpflanzen ist nicht abzuweisen, gelang es uns doch bei der Spinatsorte „Viroflay“ in Gartenbeetkultur durch Gießen mit Thermalwasser eine erhöhte Blatternte zu erzielen.

Aus der verhältnismäßig guten Übereinstimmung der Werte aus L und T ergibt sich also kein Anzeichen für erhöhte Mineralsalzaufnahme aus dem Thermalwasser. Daß mit größerer Blattentfaltung (die sich ja auch in der Trockengewichtshöhe ausdrückt) auch eine absolute Steigerung des Mineralstoffgehaltes einhergeht, ist im Hinblick auf den bei größerer transpirierender Blattfläche verstärkten Saftstrom verständlich.

Es sollte nun aber auch untersucht werden, wie sich bei ein und derselben Pflanze die Wasseraufnahme aus Leitungs- und gekühltem Thermalwasser verhält. Zu diesem Zweck wurden Kürbispflanzen, Mais und Springkraut (*Impatiens*) in sog. „Potometer“ gebracht und die Wasseraufnahme bei mehrmaligem Wechsel zwischen gleichemtemperiertem Leitungs- und Thermalwasser (20°) bestimmt.

Trotz zahlreicher Versuche mit Wasserwechsel in Zwischenräumen von 1–2 Stunden konnten — wenigstens innerhalb dieser verhältnismäßig kurzen Einwirkungszeiten — keine Unterschiede in der Aufnahmegeschwindigkeit beider Wassertypen festgestellt werden.

Wir untersuchten ferner in mikroskopischen Messungen die Größe der Bauelemente der Kontrollpflanzen aus L und der durch T im Wachstum geförderten Pflanzen; der Einfachheit halber maßen wir Epidermis- und Stengelparenchymzellen von Kürbis:

	Durchschnittswerte der Zellgrößen aus je 10 Messungen	
	Thermalwasserkultur	Leitungswasserkultur
Parenchymzellen der Hypocotyls (Längsdurchmesser)	10'	10,7'
Epidermiszellen der Keimblätter	7,5'	7,8'
Schließzellen	5,5'	6,0'
Epidermiszellen der Blätter	9,7'	9,4' (1' = 5 μ)
Schließzellen	5,0'	5,0'

Daraus ist zu ersehen, daß unter dem Einfluß des Thermalwassers keine Zellvergrößerung sondern eine Zellvermehrung stattfindet.

4. Besprechung der Ergebnisse.

Im Samenkeimungs- und Wasserkulturversuch an höheren Pflanzen erwies sich das Wasser der Gasteiner Thermen sowohl durch seine *Radioaktivität* als auch durch seinen *Mineralgehalt* als biologisch wirksam.

Überblickt man die Literatur über den Einfluß radioaktiver Strahlung auf die Pflanzenentwicklung, so findet man in sehr vielen Fällen Angaben darüber, daß schwache Dosen dieser Strahlen die Lebensprozesse und damit die Entwicklung anregen, während hohe Gaben schaden oder gar töten. Es ist nichts anderes, als die Bestätigung des ARNDT-SCHULTZESCHEN Gesetzes für radioaktive Wirkungen. Nach den ersten Versuchen von KÖRNICKE (1904) erbrachte MOLISCH (1922) dafür in seinen bekannten, klaren Versuchen viele Beispiele; ihm schließen sich die Ergebnisse von AVERSENQ et DELAS (1924), MONTET (1932) u. a. an. REDFIELD und BRIGHT (1922) berichten über Keimungsverzögerungen durch Radiumemanation. Die Versuche wurden durchwegs mit sehr hohen Dosen durchgeführt; wichtiger sind die Ergebnisse, die unter Anwendung schwacher natürlicher Radioaktivitäten (von Mineralien und Mineralwässern) erzielt wurden. HAVAS (1935) fand die Keimung verschiedener Gemüsesamen in radioaktivem Schlamm (10^{-7} bis 10^{-8} mg Ra) gefördert, auch KALLÓS-DEFNER (1934) erzielten an Weizen im schwach aktiven Urgesteinsboden von Locarno Keimungsbeschleunigung. STOKLASA (1929) ließ Samen in verschiedenen, radioaktiven Mineralwässern, auch in Gasteiner Wasser, keimen und behauptet Förderungen. Dagegen fanden KOSMATH, HARTMAIER und GERKE (1936) keinen Einfluß der Gasteiner Thermen auf die Keimung. Somit war die Wirkung der Gasteiner Quellen völlig ungeklärt.

Auch das Pflanzenwachstum unter radioaktivem Einfluß war Gegenstand vielfacher Untersuchungen: FALTA und SCHWARZ berichten 1911 über bessere Wurzelbildung, erhöhte Blattgrünbildung und stärkeres Wachstum von Getreide in Emanationsatmosphäre. STOKLASA (1932) erhielt größere Ernte bei Kultur in Brambacher oder Joachimsthaler Wasser. Jüngst erschien von C. MAYER (1938) eine Untersuchung, auf die wir noch kurz eingehen wollen:

MAYER ließ Haferkörner 3 Tage (!) im Dunkeln in verhältnismäßig hoch emanierendem Wasser (24000 ME.) in Flaschen mit eingeriebenem Stopfen quellen. (Wegen der langen, 72 Stunden betragenden Quellung muß sich in den halbgefüllten Flaschen deutlicher Sauerstoffmangel eingestellt haben; außerdem trat durch den Zerfall des Radons die Wirkung der β - und γ -Strahlung der Folgeprodukte hinzu.) Dann wurden die Körner auf feuchtes Filterpapier zur Keimung ausgelegt; in Abständen von einigen

Tagen wurden nun Koleoptilen und Wurzeln stets verschiedener (!) Pflanzen gemessen, wie sie eben gerade gekeimt waren. Durch die stete Verwendung verschiedener Pflanzen, sowie durch die Berechnung der Mittelwerte aus einer sehr schwankenden Zahl von Objekten verlieren die Ergebnisse viel an Beweiskraft: Durch das Radon wird die Keimungszahl herabgesetzt; die Koleoptile erfährt eine Förderung, die Wurzel eine Hemmung im Wachstum.

Nachfolgende Belichtung eines Teiles der Keimlinge (wobei allerdings auf vergleichbare Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse wenig geachtet wurde) führte zu einer Wachstumsverminderung der belichteten Pflanzen. Daraus wird der Schluß gezogen, daß die im Dunkel durch den Emanationseinfluß bewirkte Wachstumsbeschleunigung durch das Licht wieder aufgehoben wird. Dieser Schluß erscheint uns — besonders in Hinblick auf dazu angeführte Erklärung — doch etwas gewagt: . . . „im Dunkel wandert mehr Auxin in die Koleoptilspitze hinein (!) als im Licht“.

Unter dem Einfluß des Wassers der Gasteiner Thermen fanden wir fast stets eine deutliche *Hemmung* der Samenkeimung. Eine deutliche Beeinträchtigung der Zellteilungsvorgänge im Keimling trat in unseren Versuchen nur nach langdauernder Wirkung hoher Emanationsdosen auf. Wir müssen vielmehr die festgestellte Keimungshemmung des Thermalwassers in erster Linie in dem Einfluß bestimmter Salzbestandteile — wie dem Vorherrschen von Na_2SO_4 , dem Gehalt an *Fluor* und *Arsen* — auf die Geschwindigkeit der enzymatischen Spaltung der Samenreservestoffe sehen.

Über die Beeinflussung der Samenkeimung durch chemische Mittel liegen derartig zahlreiche Untersuchungen vor, daß wir nur einige Arbeiten, die in engerer Beziehung zu unseren Versuchen stehen, erwähnen können:

GODONNÈCHE zeigte 1934 mit Mineralwässern der Bourboule, daß Arsen allerdings in unvergleichlich höheren Konzentrationen als in unserem Fall — die Keimung von Getreide, Erbsen, Linsen und Flachs deutlich beeinträchtigt. SCHARER und SCHROPP (1932) fanden keine besondere Wirkung von Fluor auf Keimung und Wachstum; Bor wirkt nach Angabe derselben Forscher (1933) für Getreidesamen in verschiedenen Konzentrationen indifferent bis giftig, während Mengen unter 10 mg/l die Keimung von Senf förderten. Ganz ähnliches gilt nach ihren Angaben auch für das Wachstum in Wasserkultur für diese Pflanzen. 1934 berichten die gleichen Autoren über günstige Wirkungen von Bor auf den Ertrag und die Verhütung von Erkrankungen bei Zuckerrübe und Kartoffel. Von den zahlreichen anderen Arbeiten über die Borwirkung auf Pflanzen seien nur die Versuche von SCHMIDT (1937) und REHM (1937) erwähnt, nach denen dem Bor nur außerhalb, aber nicht innerhalb des Pflanzenkörpers eine Bedeutung zukommen soll. Das Bor soll nur die Stoffaufnahme in die Wurzeln durch Permeabilitätsveränderung der Wurzelepidermis beeinflussen. Demgegenüber betont W. MAIER (1938) mit Nachdruck die Wichtigkeit des B in der Pflanze.

Wir konnten in Wasserkulturversuchen stets ausgesprochene *Wachstumsförderungen* im Gasteiner Thermalwasser feststellen; durch systematische Abänderung der Versuchsbedingungen konnte erwiesen werden, daß dafür sowohl die Radioaktivität als vor allem das Vorhandensein von *Bor* (4 mg/l) ausschlaggebend ist. Dieses Element begünstigt in ausgesprochener Weise die Wurzelentwicklung und den Gesamtertrag in Thermalwasserkultur.

Als wir erstmalig dem auffallenden Ergebnis gegenüberstanden, daß unter dem Einfluß der Gasteiner Thermen die Samenkeimung gehemmt, das spätere Wachstum der gleichen Pflanzen aber entschieden gefördert wird, dachten wir zunächst an folgende Deutung unserer Beobachtungen: Ähnlich wie für den zarten jugendlichen Organismus Genußmittel (Kaffee, Tabakrauch usw.) in Mengen, die den Erwachsenen anregen, schädlich sind, ließe sich denken, daß dieselben Mineralstoffe des Wassers im ersten Jugendstadium die Pflanzen hemmen, das spätere Wachstum aber begünstigen.

Nachdem aber SCHILLER (1935) an Wasserpflanzen die assimilationsfördernde Wirkung der Thermen Gasteins und der eine von uns (1938) die Begünstigung der Photosynthese durch das im Thermalwasser enthaltene *Bor* erwiesen hat, ist der unmittelbare Zusammenhang zwischen Wachstum und Assimilation nicht zu übersehen: sind doch in beiden Fällen die gleichen Elemente für die Förderung der genannten Prozesse verantwortlich.

Für das Keimungsstadium dagegen, das sich im Dunkeln abspielt und in dem wohlentwickelte Assimilationsorgane noch nicht entwickelt sind, ist als radioaktive und als chemische Wirkung der im Wasser vorhandenen Stoffe wohl nur eine Beeinflussung des Quellungszustandes der Plasmakolloide sowie der Spaltungsgeschwindigkeit der Speicher-

stoffe im Samen möglich¹. Anders liegen die Verhältnisse bei der Wasserkultur, hier setzt die Photosynthese alsbald in vollem Umfang ein, mit der Vergrößerung der transpirierenden Blattfläche und der vorbedingten stärkeren Wurzelentwicklung kommt es zu einer reichlichen Stoffversorgung der Pflanzen im Thermalwasser. Mit dem Saftstrom gelangt das Bor in die eigentlichen Assimilationsorgane, die Blätter, wo es eine Steigerung der Stoffbildung bewirkt.

Daß es zu einer Anreicherung von Bor in den Blättern tatsächlich kommen kann, wird durch eine 1936 von MACLEAN und HUGHES erschienene Arbeit erwiesen: danach ergibt sich der höchste Borgehalt in den Blättern, dann folgt der Stamm und zuletzt die Wurzel mit geringstem Borgehalt.

Für die Ermöglichung vorstehender Untersuchung, welche von Sommer 1936 bis Sommer 1938 am Forschungsinstitut Gastein (Salzburg) durchgeführt wurde, sei der Institutsleitung und Kurdirektion in Badgastein hiermit bestens gedankt.

5. Zusammenfassung.

1. Das Wasser der radioaktiven Gasteiner Thermen übt auf die Samenkeimung verschiedener Nutzpflanzen (Mais, Sonnenblume, Kürbis u. a.) einen verzögernden, auf das weitere Wachstum dieser Pflanzen aber einen förderlichen Einfluß aus.

2. Die Pflanzen erweisen sich als verschieden empfindlich; an den Sojabohnen waren kaum Wirkungen feststellbar.

3. Neben der Radioaktivität sind an den Wirkungen vor allem bestimmte, im Thermalwasser vorhandene Mineralstoffe beteiligt: so äußert sich der Fluor- und Arsengehalt in der beschriebenen Keimungshemmung, während für die Ertragssteigerung in Wasserkultur vor allem das Bor verantwortlich ist, das die Photosynthese günstig beeinflusst.

4. Durch die Klarstellung einer ausgesprochenen Mineralstoffwirkung der Gasteiner Thermen soll der bisher vorherrschenden Meinung, daß infolge des verhältnismäßig geringen Salzgehaltes den Gasteiner Thermen eine rein radioaktive Wirkung zukäme², begegnet werden. Es entfalten vielmehr diese Quellen gerade auch infolge ihres besonderen Mineralgehaltes eine spezifische biologische Wirkung.

Literaturübersicht.

- AVERSENQ, DELÀS, JALOUSTRE et MAURIN, C. r. Acad. Sci. Paris **148** (1924). — H. BRÜNING, Balneologie **3**, 24 (1936). — F. BUKATSCH, Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. I **146**, 17 (1937) — *Planta* **28**, 264 (1938). — J. GODONNECHE et G. DASTUGUE, Bull. Soc. Chim. biol. Paris **16** (1934). — L. KALLÓS-DEFNER, Balneologie **1**, 316 (1934). — J. KISSER u. POSSNIG, Beitr. Biol. Pflanz. **20**, 77 (1932). — M. KÖRNICKE, Ber. dtsh. bot. Ges. **22**, 155 (1904). — W. KOSMATH u. V. HARTMAIR, Protoplasma **24**, 8 (1935). — W. KOSMATH, V. HARTMAIR u. O. GERKE, Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. I **145**, 101 (1936). — E. LUDWIG u. TH. PANZER, Wien. klin. Wschr. **1900**, 27. — R. C. MACLEAN and W. L. HUGHES, Ann. appl. Biol. **23**, 231 (1936). — W. MAIER, Ber. dtsh. bot. Ges. **56**, 84 (1938). — C. MAYER, Balneologie **5**, 260 (1938). — H. MOLISCH, Biologische Vorträge. Jena 1922. — D. MONTET, C. r. Soc. Biol. Paris **109** (1932). — A. C. REDFIELD and E. M. BRIGHT, J. gen. Physiol. **4**, 297 (1922). — S. REHM, Jb. Bot. **85**, 788 (1937). — K. SCHARER u. W. SCHROPP, Landw. Versuchsstat. **114** (1932) — Z. Pflanzenernähr. Tl. I **28** (1933) — Landw. Jb. **79** (1934). — J. SCHILLER, Biologia generalis **11**, 71 (1935). — E. SCHMIDT, Ber. dtsh. bot. Ges. **55**, 356 (1937). — W. STEPP u. H. SCHRÖDER, Klin. Wschr. **1936**, 548. — STOKLASA, J. Gartenbauwiss. **1929**, 141. — J. STOKLASA u. J. PENKAVA, Biologie des Radium und Uran. Berlin 1932. — E. STRANSKY, Balneologie **2**, 342 (1935). — N. C. THORNTON, Contrib. Boyce-Thompson-Inst. **8** (1936). — A. VIRTANEN, Nature (Lond.) **1936** **1**, 779. — A. ZLATAROFF, Bull. Soc. Chim. Biol. Paris **16** (1934).

München, Botan. Staatsanstalten.

¹ ZLATAROFF (1934) berichtet über die Rolle von Metallionen als Aktivatoren der enzymatischen Reservestoffspaltungen bei Samenkeimung.

² Diese irrthümliche Ansicht findet ihren Ausdruck in der üblichen Einreihung der Gasteiner Quellen unter die „indifferenten Thermen“ oder „Akratothermen“.