

<b>Zeitschrift:</b>	Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
<b>Herausgeber:</b>	Naturforschende Gesellschaft in Bern
<b>Band:</b>	10 (1953)
<b>Artikel:</b>	Untersuchungen über die Biosynthese einiger wasserlöslicher Vitamine der B-Gruppe, insbesondere der Pantothenäsäure
<b>Autor:</b>	Louis, Rolf
<b>Kapitel:</b>	IV: Experimenteller Teil
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-319459">https://doi.org/10.5169/seals-319459</a>

### **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:** 13.01.2026

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

## IV. Experimenteller Teil

### A. Untersuchungen an Phaseoluspflanzen und -keimlingen

#### 1. Einleitung

Das Aneurin ist das erste Vitamin, das chemisch rein isoliert wurde, und sein Auffinden stellt den Beginn der modernen Vitaminlehre dar. Im Pflanzenreich ist es weit verbreitet und findet sich in fast allen Pflanzengruppen. Viele Bakterien, Hefen und andere Pilze sind autotroph für dieses Vitamin. Daneben gibt es aber auch Mikroorganismen, die auf das ganze Vitaminmolekül oder auf einen Teil desselben (Pyrimidin oder Thiazol) angewiesen sind, also vollständig oder teilweise heterotroph sind in bezug auf das Aneurin (vgl. SCHOPFER [62]). Bei Chlorophyceen, Fucaceen, Rhodophyceen, Bryophyten und Pteridophyten ist das Aneurin gleichfalls vorhanden. In der höheren Pflanze kommt es in allen Organen vor, besonders reichlich in jungen Blättern, Früchten und Samen (BONNER [63], CRAVITO [64], MC VEIGH [65], HINTON [66, 67]); desgleichen in den verschiedenen Teilen der Blüten (SCHOPFER) und in Pollenkörnern (SCHOPFER [68]). Das Aneurin bildet einen wesentlichen Teil der Cocarboxylase und nimmt an der Decarboxylierung der Brenztraubensäure teil, es scheint aber offenbar auch als Bestandteil anderer Enzyme zu fungieren (LIPMANN [69], WILLIAMS und SPIES [70]). RYTZ, jun. (71), untersuchte den Aneuringehalt von *Pisum* während der ganzen Entwicklung und fand, daß bei der Keimung der Keimling reicher, die Kotyledonen ärmer an Aneurin werden. Die Aneurinproduktion des Keimlings erreicht nach 8 bis 10 Tagen ein Maximum, worauf ein Rückgang bis zu einem für die weitere Entwicklung ziemlich konstant bleibenden Gehalt nachzuweisen ist.

In seiner Arbeit über den Aneuringehalt von *Melandrium album* beobachtete HURNI (72) folgendes: bei der Keimung sinkt der Aneuringehalt zunächst während der Quellung ab. Licht beschleunigt die Abnahme. Sobald Wachstum ersichtlich ist, steigt der Aneuringehalt wieder an und bleibt dann mehr oder weniger konstant. Die größte Menge an nachweisbarem Aneurin findet sich im Vegetationspunkt.

#### 2. Der Aneuringehalt im Verlaufe der Keimung

##### a) Keimung in destilliertem Wasser am Licht:

Die Zimmertemperatur schwankte im Laufe des Versuches zwischen 19 und 21 °C. Tabelle I veranschaulicht die prozentuale Zunahme des An-

teils des Keimlings am Gesamtfrisch- und Trockengewicht (Durchschnitt von je 25 Samen).

Beträgt der Anteil am 4. Tage schon 10 %, so steigt er in den folgenden Tagen rasch an und macht am 13. Tage rund 75 % des totalen Frischgewichtes aus. Demgegenüber nimmt der Anteil am Trockengewicht begreiflicherweise langsamer zu, hat aber am 13. Tage 50 % schon überschritten.

Der Aneuringehalt der Kotyledonen bleibt während der ganzen Zeit ziemlich konstant, und nur gegen das Ende des Versuches ist ein leichtes Absinken festzustellen. Bei den Keimlingen tritt nach einem ersten Anstieg (24 h) nach 48 h ein Mindestwert auf. Anschließend steigt der Aneuringehalt wieder und erfährt weiter keine großen Änderungen mehr (Tabelle II).

**TABELLE I**  
*Prozentualer Anteil der Keimlinge am Frisch- und Trockengewicht*

Zeit	Frischgewicht	Trockengewicht
0 h	1,36	1,38
24 h	1,72	1,46
48 h	2,00	1,63
72 h	4,98	1,77
96 h	10,23	3,36
144 h	18,06	5,79
168 h	26,28	8,94
192 h	34,94	13,13
240 h	53,66	26,04
312 h	74,88	52,98

**TABELLE II**  
*Aneuringehalt in γ/g Trockengewicht*

Zeit	Kotyledonen	Keimlinge
0 h	10,5	25,8
24 h	10,6	29,75
48 h	9,7	22,7
96 h	11,1	27,0
144 h	11,4	32,2
192 h	9,2	30,8
240 h	8,9	26,4
312 h	8,3	26,2

*b) Keimung in Knopscher Nährlösung am Licht:*

Die Raumtemperatur betrug konstant 23 ° C. Tabelle III zeigt uns wieder den prozentualen Anteil der Keimlinge am Frisch- und Trockengewicht. Unter dem Einfluß der Mineralsalze nehmen sowohl Frisch- als auch Trockengewicht bedeutend rascher zu als im vorigen Versuch.

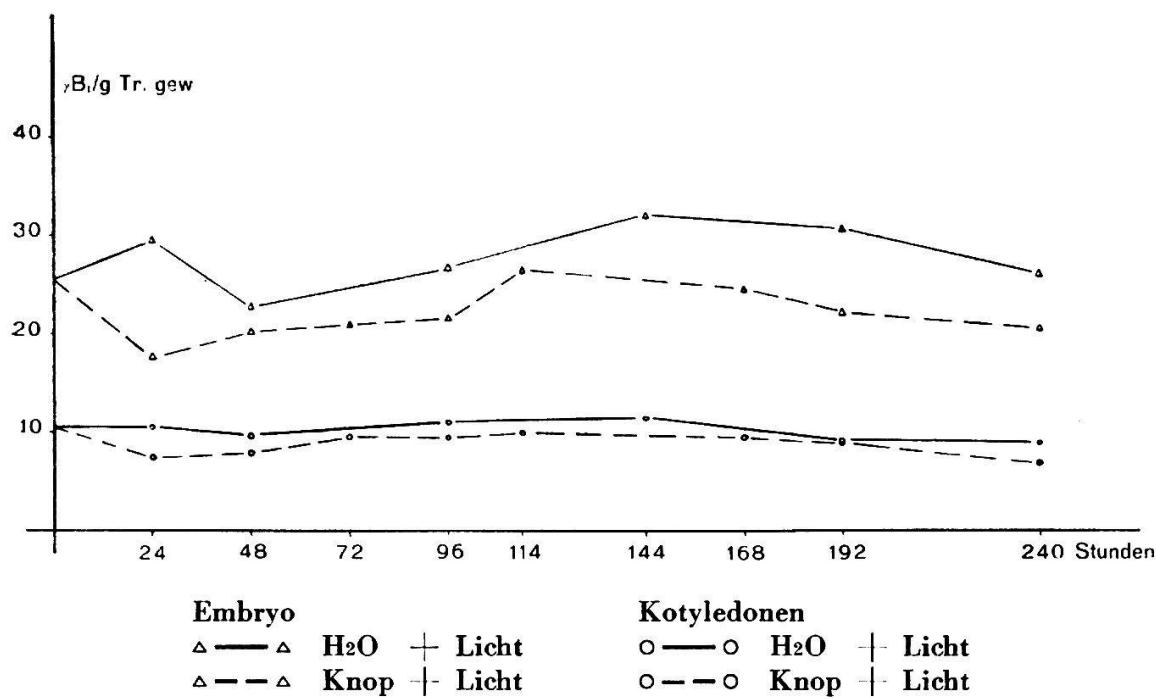
**TABELLE III**  
*Prozentualer Anteil der Keimlinge an Frisch- und Trockengewicht*

Zeit	Frischgewicht	Trockengewicht
0 h	1,26	1,38
24 h	1,60	1,38
48 h	3,16	1,51
72 h	9,84	3,11
96 h	18,66	5,79
114 h	26,00	8,45
168 h	42,37	17,04
192 h	55,24	25,80
240 h	84,02	61,31

Was den Gehalt der Kotyledonen an Aneurin betrifft, so ergibt sich das gleiche Bild wie oben: die Menge des nachgewiesenen Aneurins ist ziemlich konstant, gegen Ende des Versuches tritt ein leichtes Absinken auf. In den Keimlingen hingegen erscheint der Mindestwert bereits nach 24 h. Darauf steigt der Aneuringehalt wieder an, um in der restlichen Zeit mehr oder weniger auf der gleichen Höhe zu bleiben (Tabelle IV).

**TABELLE IV**  
*Aneuringehalt in γ/g Trockengewicht*

Zeit	Kotyledonen	Keimlinge
0 h	10,2	25,8
24 h	7,5	17,8
48 h	7,9	20,5
72 h	9,5	21,1
96 h	9,3	21,6
114 h	9,8	26,6
168 h	9,5	24,6
196 h	9,0	22,4
240 h	6,8	20,6

*Aneurinengehalt von Phaseolussamen während der Keimung*

Figur 1

**3. Der Biotingehalt während der Keimung***a) Keimung in destilliertem Wasser am Licht:*

Das auf seinen Biotingehalt untersuchte Pflanzenmaterial ist dasselbe wie das für die entsprechende Aneurinbestimmung verwendete.

In Tabelle V sind die für Kotyledonen und Keimlinge ermittelten Werte zusammengestellt. Nach dem 2. Tage steigt der Biotingehalt der Keim-

**TABELLE V**  
*Biotingehalt in mγ/g Trockengewicht*

Zeit	Kotyledonen	Keimlinge
0 h	10,2	26,6
24 h	9,4	63,4
48 h	13,2	128,0
72 h	60,8	998,0
96 h	82,0	664,0
144 h	81,8	640,0
168 h	83,6	738,0
192 h	109,0	564,0
240 h	78,0	519,0
312 h	109,6	601,0

linge sehr stark an, um anschließend etwas zu sinken und dann mehr oder weniger konstant zu bleiben. Zu bemerken ist, daß dieser Anstieg mit dem Durchstoßen der Keimwurzel durch die Samenschale zusammenfällt. Auch in den Kotyledonen nimmt der Biotingehalt vom 2. Tage an zu und erreicht nach kurzer Zeit einen ziemlich gleich bleibenden Wert.

*b) Keimung in Knopscher Nährlösung am Licht:*

Hier handelt es sich ebenfalls um dasselbe Material, das für die entsprechende Aneurinanalyse Verwendung fand.

Im Gegensatz zum vorigen Versuch setzt der Anstieg bereits nach dem 1. Tage ein. Der erreichte Maximalwert liegt aber ziemlich tiefer; eine deutliche Verminderung des Biotingehaltes tritt dagegen erst nach 8 bis 10 Tagen in Erscheinung. Das Durchstoßen der Keimwurzeln durch die Samenschale trifft auch da mit dem starken Anstieg des Biotingehaltes der Keimlinge zusammen. In den Kotyledonen ist das Biotin in zunehmender Menge während der ganzen Versuchsdauer nachzuweisen (Tabelle VI).

TABELLE VI  
*Biotingehalt in  $m\gamma/g$  Trockengewicht*

Zeit	Kotyledonen	Keimlinge
0 h	10,2	26,6
24 h	9,5	39,8
48 h	26,4	675,0
72 h	58,1	605,0
96 h	68,9	664,0
114 h	71,9	650,0
168 h	69,6	593,0
192 h	85,2	511,0
240 h	92,7	475,0

*c) Keimung in Knopscher Nährlösung im Dunkel:*

Die Raumtemperatur schwankte in der Zeit des Versuches zwischen 21° und 22° C. Der prozentuale Anteil der Keimlinge am Frisch- und Trockengewicht ist in Tabelle VII zusammengestellt. Es läßt sich eine ziemlich gute Übereinstimmung mit den am Licht bei gleicher Versuchs-anordnung gefundenen Werten feststellen. Mit dem Durchbrechen der Keimwurzeln durch die Samenschale setzt einmal mehr ein Anstieg des Biotingehaltes ein, der aber erst am 4. Tage sein Maximum erreicht. Der

Höchstwert liegt noch tiefer als beim gleichen Versuche am Licht. Anschließend nimmt der Biotingehalt bis zur letzten Analyse am 10. Tage nur leicht ab.

In den Kotyledonen läßt sich bis zum Schlusse der Untersuchung eine leicht steigende Biotinmenge nachweisen (Tabelle VIII).

TABELLE VII  
*Prozentualer Anteil der Keimlinge an Frisch- und Trockengewicht*

Zeit	Frischgewicht	Trockengewicht
0 h	1,36	1,38
24 h	1,65	1,26
48 h	3,07	1,36
72 h	6,89	2,39
96 h	16,48	4,31
144 h	39,43	13,57
168 h	45,50	17,80
192 h	59,52	25,92
240 h	81,91	55,00

TABELLE VIII  
*Biotingehalt in  $m\gamma/g$  Trockengewicht*

Zeit	Kotyledonen	Keimlinge
0 h	10,2	26,6
24 h	18,1	29,7
48 h	11,8	283,5
72 h	28,2	344,5
96 h	42,8	442,5
144 h	46,9	397,5
163 h	68,7	386,0
192 h	54,5	376,5
240 h	56,0	345,5

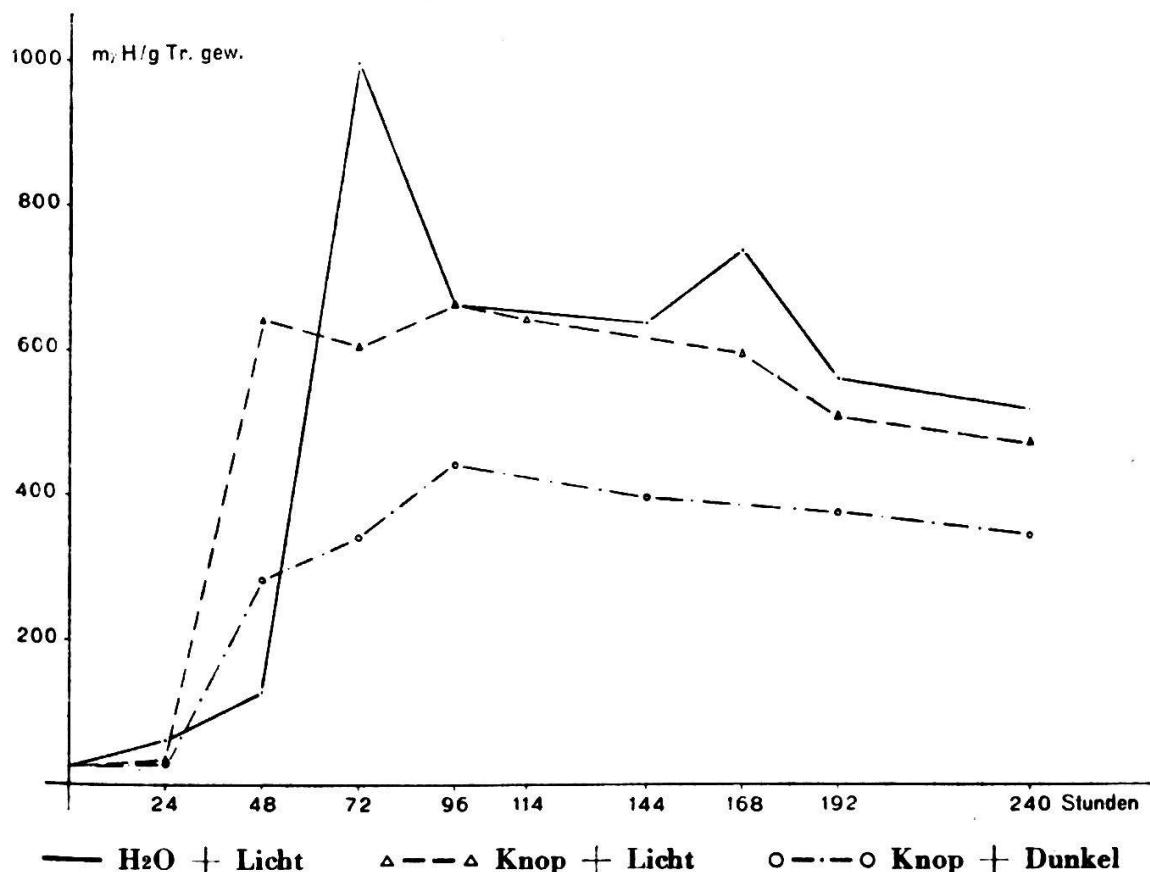
#### 4. Besprechung der Ergebnisse

Unter dem Einfluß der mineralischen Substanzen in der Knopschen Nährlösung nimmt der prozentuale Anteil des Keimplings am gesamten Frisch- und Trockengewicht bedeutend rascher zu als in destilliertem Wasser allein, was eigentlich nicht überraschend ist. Im Lichte gekeimte

Bohnensamen zeigen in Wasser und in Knopscher Nährlösung keine wesentlichen Unterschiede in ihrem Aneurinengehalt. Dieser ist im ganzen genommen während der untersuchten Zeitspanne weder in den Kotyledonen noch in den Keimlingen großen Schwankungen unterworfen: nur für die Keimlinge ist in den ersten Stunden ein leichter Abfall im Aneurinengehalt feststellbar, auf den ein Anstieg folgt, der zu einem im großen und ganzen konstanten Aneurinwert führt. Wie BONNER und GREENE (73) an kotyledonenlosen Erbsenembryonen zeigen konnten, ist die Aneurinsynthese vom Lichte abhängig. In der Dunkelheit findet keine nennenswerte Bildung statt.

KOEGL und HAAGEN SMIT (74) beobachteten, daß Embryonen von *Pisum* nach 48 h in der Plumula und besonders in der Radikula mehr Biotin enthalten als nach 6 h. In unseren Versuchen mit *Phaseolus* konnten wir dieses Ergebnis bestätigen: im Licht in Wasser bzw. Knopscher Nährlösung ist nach dem 2. bzw. 1. Tag ein sehr starker Anstieg im Biotingehalt des Keimlings festzustellen, der mit dem Austreiben der Wurzel zusammenfällt. Diese Tatsache macht es wahrscheinlich, daß die Wurzel

#### Biotingehalt von *Phaseolus*-Keimlingen während der Keimung



Figur 2

Biotin in beträchtlicher Menge zu bilden vermag und daß, wie aus einem Vergleich der Werte in den Tabellen zu schließen ist, diese Synthese im Lichte rascher und intensiver vor sich geht als im Dunkel.

Die Möglichkeit einer Freisetzung von gebundenem Biotin während der Keimung veranlaßte uns, Hydrolyseversuche mit HCl durchzuführen. Doch konnten weder in den Kotyledonen noch in den Embryonen der ungekeimten Samen nach erfolgter Hydrolyse höhere Biotinwerte gefunden werden. Dieser Befund scheint ebenfalls für eine Bildung des Biotins durch die Wurzel selbst zu sprechen, was die Wurzelkulturen bestätigen werden.

### *B. Untersuchungen an *Pisum sativum**

(Wurzelkulturen, ganze Pflanze)

#### 1. Einleitung

Die Technik der Kultur isolierter Wurzeln ermöglicht es, unter Ausschaltung des Einflusses des Sproßteils, die mannigfaltigen Probleme des Stoffwechsels in diesem Organ genauer zu verfolgen. Wie der Großteil der bisher untersuchten Wurzeln ist auch die Pisumwurzel für ihr Wachstum auf die exogene Zufuhr von Aneurin angewiesen. Je nach Art sind außerdem noch verschiedene andere Wachstumsfaktoren notwendig (ADDICOTT und DEVIRIAN [75]), BONNER und DEVIRIAN [47], BONNER [46], WHITE [49]). Es schien uns daher wichtig, die isolierte Wurzel von *Pisum* auf die von ihr benötigten Wachstumsfaktoren und vor allem auf ihre Synthesefähigkeiten im Verlauf einiger Passagen zu untersuchen. Wir richteten unsere Aufmerksamkeit besonders auf einige Vitamine der umfangreichen B-Gruppe.

#### 2. Der Aneurinstoffwechsel

Wie bereits erwähnt, ist die Pisumwurzel heterotroph in bezug auf das Aneurin. In der Natur wird ihr Bedarf durch Zufuhr aus oberirdischen Organen gedeckt. Kultiviert man isolierte Pisumwurzeln *in vitro*, ohne Aneurin der Kulturlösung beizufügen, so stellen diese nach einiger Zeit, d. h. nachdem der in der Spitze enthaltene Vorrat an Aneurin aufgebraucht ist, ihr Wachstum ein und gehen zugrunde.

In unserem Versuch führten wir im ganzen sieben Überimpfungen aus und bestimmten jedesmal die Länge und das Trockengewicht der Wurzeln sowie das in der Wurzel und im Milieu enthaltene Aneurin. Während der ersten 15 Tage wuchsen die Wurzeln ohne jegliche Aneurinzugabe.

TABELLE IX  
*Aneurinstoffwechsel isolierter Pisumwurzeln*

	1 Tage	2 Trocken- gewicht (mg)	3 Wurzel- länge (mm)	4 $\gamma B_1$ pro Wurzel	5 $\gamma B_1$ pro Milieu	6 $\gamma B_1$ total	7 Analysierter Gehalt auf 1 mg Wurzel bezogen	8 Theoretischer Wert pro 1 mg Wurzel, wenn kein Aneurin- verbrauch	9 Differenz in %
<b>Wurzelspitzen</b>	0	0,7	1,0	0,0036	—	0,0036	0,005	—	—
1. Überimpfung	15	7,1	120,7	0,027	0,000	0,027	0,004	—	—
2. „	29	6,7	134,5	0,496	1,404	1,900	0,283	0,300	5,7
3. „	46	6,9	155,1	0,413	1,086	1,499	0,217	0,290	25
4. „	60	4,4	80,6	0,315	1,116	1,431	0,325	0,454	28
5. „	75	4,4	94,1	0,193	1,005	1,198	0,272	0,454	40
6. „	90	3,6	74,2	0,293	1,271	1,564	0,434	0,555	22
7. „	105	3,5	73,6	0,180	1,278	1,458	0,417	0,571	27

Legende : 4: Analysiert mit Phycomyces  
 5: Analysiert mit Phycomyces  
 6: Total (4 + 5)  
 7: 6 bezogen auf 1 mg Trockengewicht  
 8: Theoretischer Wert = zugesetzte Vitaminmenge auf 1 mg Wurzeltrockengewicht bezogen  
 9: Differenz zwischen den Werten der Kolonnen 8 und 7, in Prozenten ausgedrückt

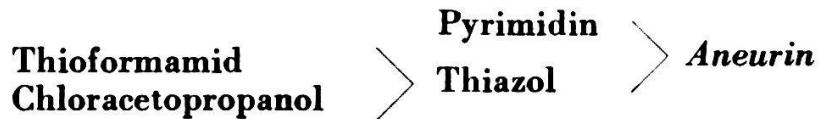
Nach der ersten Überimpfung fügten wir jeder Kultur 2  $\gamma$  Aneurin zu, entsprechend der von WHITE angegebenen Menge. Für alle weiteren Überimpfungen wurde gleich verfahren. Tabelle IX gibt uns eine Zusammenfassung der erhaltenen Ergebnisse. Kolonne 7 dieser Tabelle enthält die Werte für den auf 1 mg Wurzeltrockengewicht bezogenen Gesamtgehalt (Wurzel + Milieu) an Aneurin. Die vorletzte Kolonne veranschaulicht uns die pro 1 mg Wurzel theoretisch zu fordernden Werte, für den Fall, daß kein Verbrauch des zugesetzten Aneurins stattfindet. Die Differenz zwischen den theoretischen und den gefundenen Werten, in Prozent ausgedrückt, ist in der letzten Kolonne dargestellt. Die schon lange bekannte Tatsache, daß das Aneurin für Pisumwurzeln essentieller Wachstumsfaktor ist, kommt erneut zum Ausdruck. ADDICOTT (76) untersuchte ausführlich die Wirkungsweise des Aneurins in bezug auf seinen Einfluß auf die Zytologie der Wurzel (*Pisum*). Aneurin stimuliert die meristematische Tätigkeit der Wurzel, wirkt dagegen nicht auf die Zellstreckung.

BONNER und ADDICOTT (77) wiesen darauf hin, daß im Falle der Pisumwurzel die beiden Komponenten des Aneurins, Pyrimidin und Thiazol, erstere ersetzen können. Das Wachstum der Wurzel ist genau so gut, wie wenn Aneurin als Ganzes vorhanden wäre. Die Pisumwurzel hat die Fähigkeit, Pyrimidin und Thiazol zu bilden, verloren, ist aber noch imstande, aus den beiden Komponenten des Aneurins das ganze Molekül zu synthetisieren. Diese Verhältnisse lassen sich gut mit den bei vielen Mikroorganismen beobachteten vergleichen, wo partielle Syntheseerluste für lebenswichtige Substanzen häufig auftreten.

In einer 1938 erschienenen Arbeit weisen BONNER und BUCHMANN (78) darauf hin, daß die Pisumwurzel in steriler Organkultur in der Lage ist, die beiden Thiazolvorstufen Thioformamid und Chloracetopropanol zum vollständigen Thiazolmolekül zu vereinigen. Das Wachstum der Wurzel mit den beiden Vorstufen des Thiazols plus Pyrimidin ist ebenso gut wie in Gegenwart von Aneurin. Die Biosynthese beschreitet hier offenbar den gleichen Weg wie die Chemosynthese. Nachstehend seien die Formeln der beiden Vorstufen wiedergegeben:



Das allgemeine Schema für die Bildung des Aneurins hat demnach folgendes Aussehen:



Im Zusammenhang mit diesen Befunden interessierte uns die Frage, ob die von uns gebrauchte Sorte von *Pisum* («Maikönigin») zu den selben Leistungen fähig sei. Wir wählten nachstehende Versuchsanordnung:

Als Grundmilieu für alle Serien das Milieu I von BONNER, aber ohne Aneurinzusatz.

1. Serie Kontrollen ohne Aneurin
2. Serie Kontrollen mit Aneurin
3. Serie Milieu I + Pyrimidin
4. Serie Milieu I + Thiazol
5. Serie Milieu I + Pyrimidin + Thiazol
6. Serie Milieu I + beide Thiazolvorstufen + Pyrimidin
7. Serie Milieu I + beide Thiazolvorstufen + Pyrimidin  
(in 10facher Konzentration)

Pyrimidin, Thiazol und die Thiazolvorstufen wurden in äquivalenten Mengen zugesetzt. Es entsprechen:

$$\begin{aligned} 1 \gamma \text{ Aneurin (MG 337)} &= 0,41 \gamma \text{ Pyrimidin (138)} + \\ &\quad 0,42 \gamma \text{ Thiazol (143)} \\ 1 \gamma \text{ Thiazol} &= 0,43 \gamma \text{ Thioformamid (61)} + \\ &\quad 0,955 \gamma \text{ Chloracetopropanol (136,5)} \end{aligned}$$

Chloracetopropanol lag als Fertigpräparat vor. Das Thioformamid wurde von uns selbst hergestellt nach folgender Umsetzungsgleichung:



Diese Reaktion geht bei Zimmertemperatur vor sich. Außerdem stand uns ein Präparat der Firma Hoffmann-La Roche zur Verfügung.\*

Aneurin, Pyrimidin und Thiazol wurden zusammen mit der Nährlösung sterilisiert, während Thioformamid und Chloracetopropanol kalt sterilisiert und mit steriler Pipette jeder Kultur zugefügt wurden.

Vor der nach 20 Tagen erfolgten ersten Überimpfung schieden wir alle schlecht oder nicht gewachsenen Wurzeln aus und überimpften nur die einwandfrei gewachsenen. Nach jeder Überimpfung ermittelten wir das Längenwachstum der Wurzeln (Figur 3) und das Trockengewicht (Tabelle X).

Wird der isoliert wachsenden Wurzel von *Pisum* nur Pyrimidin oder nur Thiazol geboten, so stellt sie nach kurzer Zeit ihr Wachstum ein und geht zugrunde, verhält sich also genau wie die Wurzeln der Kontrollen ohne Aneurin. Enthält das Kulturmilieu Aneurin oder dessen Kompo-

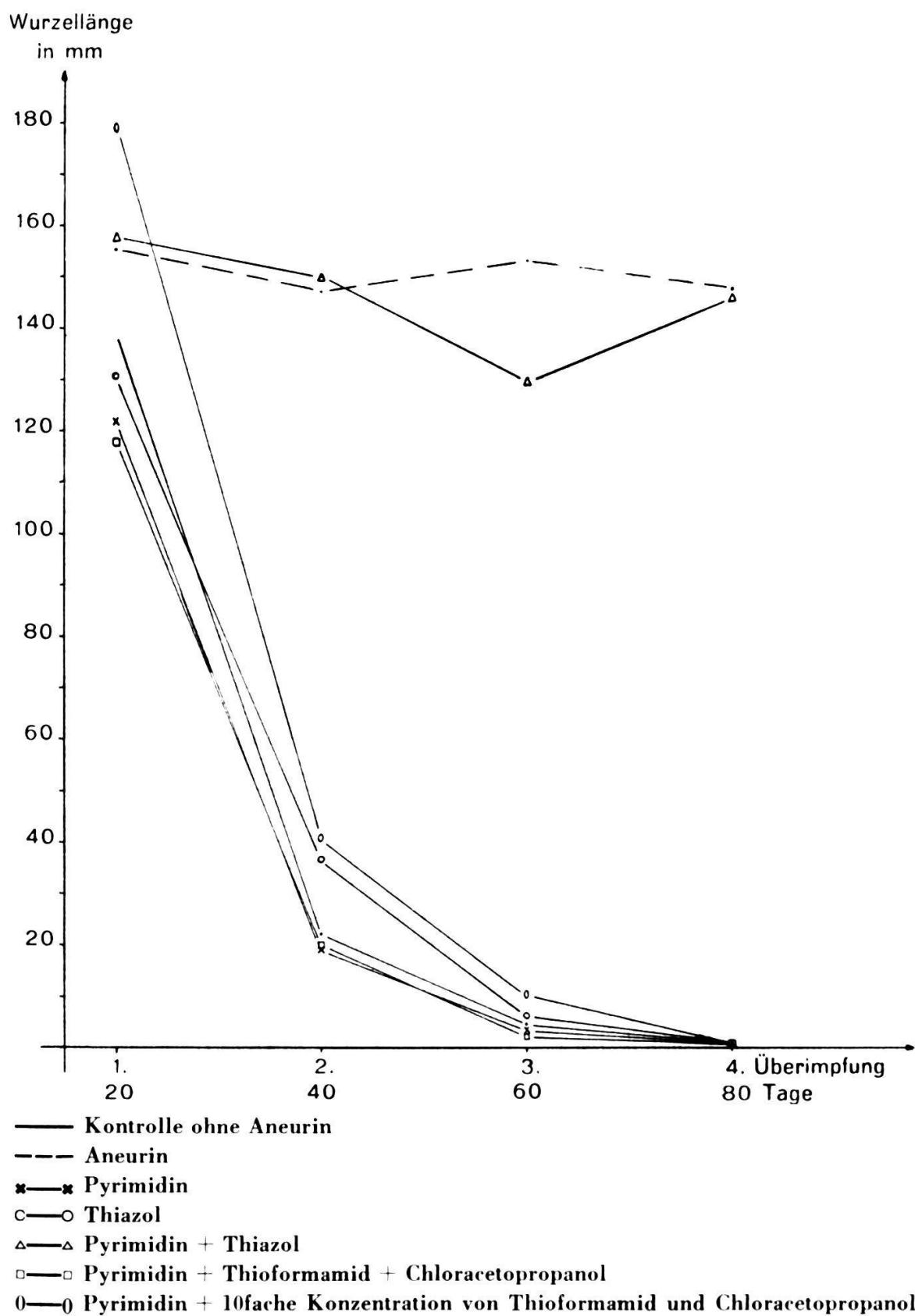
\* Der Verfasser möchte an dieser Stelle der Firma Hoffmann-La Roche in Basel für die freundliche Überlassung dieses Präparates seinen besten Dank aussprechen.

TABELLE X  
*Wurzeltrockengewichte in mg*

Überimpfung	1	2	3	4
Tag	20	40	60	80
Ohne Aneurin	11,4	2,2	1,13	0,86
Aneurin	11,9	9,8	8,7	8,25
Pyrimidin (P)	9,9	2,4	1,03	0,85
Thiazol (T)	9,8	2,7	1,0	0,8
P + T	12,4	9,8	7,9	8,9
P + CP + TA (Roche)	8,4	2,2	0,87	0,8
P + CP + TA (Eigenfabrikat)	9,5	2,5	0,92	0,8
P + CP + TA	10,6	2,5	1,17	0,8

**Vorstufen des Thiazols:** Chloracetopropanol (CP)  
Thioformamid (TA)

nenten Pyrimidin und Thiazol, so erfolgt das Wachstum normal. Soweit stimmen unsere Ergebnisse mit den bisher bekannt gewordenen überein. Dagegen bleiben die Wurzeln in einem Milieu mit Pyrimidin + Thiazolvorstufen (Thioformamid und Chloracetopropanol) schon nach der zweiten Überimpfung im Längenwachstum stark zurück, und nach 80 Tagen (vierte Überimpfung) waren sämtliche Wurzeln abgestorben. Die Verwendung der zehnfachen Konzentration der Thiazolvorstufen führte zum gleichen negativen Ergebnis. Dieser Befund widerspricht den Angaben von BONNER und BUCHMANN vollständig. Die beiden Autoren stellten ja fest, daß die Pisumwurzel in der Lage ist, in Gegenwart von Pyrimidin + Thiazolvorstufen genau so gut zu wachsen wie mit Aneurin. Ihre Arbeit enthält allerdings keine Angaben über Längenwachstum und Trocken Gewicht der Wurzel oder, ob Überimpfungen vorgenommen worden sind. Mit Hilfe des *Phycomyces*-Testes wiesen sie nach einer gewissen Kulturdauer bei den in Gegenwart von Pyrimidin + Thiazolvorstufen gewachsenen Wurzeln denselben Gehalt an Aneurin nach wie bei solchen, die in einem Milieu mit Pyrimidin + Thiazol wuchsen. Möglicherweise beruhen diese gegensätzlichen Ergebnisse auf Verschiedenheiten im unter-

*Wachstum der isolierten Wurzel von Pisum*

Figur 3

suchten Material (Unterschiede im Synthesevermögen). Ein ähnlicher Fall ist für Tomatenwurzeln bekannt, wo je nach der Sorte ein verschiedenartiges Bedürfnis für Wachstumsfaktoren auftritt (BONNER und DEVIRIAN [47], ROBBINS und BARTLEY-SCHMIDT [79, 48], WHITE [49]).

### 3. Der Biotinstoffwechsel

Das Biotin wird sowohl von zahlreichen Mikroorganismen reichlich synthetisiert (*Phycomyces*) (SCHOPFER [80]), als auch durch die höhere Pflanze. Die verschiedenen Teile der letzteren enthalten nachweisbare Mengen dieses Vitamins, was uns aber über den Ort besonders intensiver Synthese keinen näheren Aufschluß gibt. BONNER (46) untersuchte das Verhalten der Wurzel von Lein, Klee, Luzerne und Tomate und fand, daß alle diese Wurzeln die Fähigkeit besitzen, Biotin zu synthetisieren. Er gibt indessen nur den Endgehalt an Biotin nach langer Kulturdauer und mehreren Überimpfungen an.

Für unsere Untersuchungen teilten wir die Wurzeln in zwei verschiedene Gruppen ein: die erste wuchs im Milieu I von BONNER mit Aneurin, die zweite im genau gleichen Milieu, dem aber noch Nicotinsäureamid (500  $\mu$ /l) zugesetzt wurde (Milieu II). Nach jeder Passage ermittelten

TABELLE XI  
*Biotinsynthese der Wurzel von Pisum*

Passage	Tage	m $\gamma$ Biotin					
		Wurzel		Milieu		Total	
		I	II	I	II	I	II
1	29	1,316	1,482	2,450	2,290	3,766	3,772
2	45	1,550	1,353	2,888	3,261	4,438	4,614
3	60	0,506	1,170	1,059	3,403	1,565	4,573
4	75	0,785	1,632	1,242	2,898	2,027	4,530
5	90	0,508	0,926	0,992	2,281	1,500	3,207
6	104	0,358	0,747	0,846	2,092	1,204	2,893
7	120	0,460	0,843	1,372	2,530	1,832	3,373
8	135	0,318	0,610	1,748	2,444	2,066	3,054
9	150	0,780	1,333	2,644	3,497	3,424	4,830

I: Milieu I mit Aneurin

II: Milieu II mit Aneurin und Nicotinsäureamid

TABELLE XII  
*Biosynthese des Biotins durch die isolierte Wurzel von Pisum*

	1 Tage	2 Trockengewicht (mg)		3 Wurzellänge (mm)		4 Zahl der Nebenwurzeln		5 mγ Biotin pro mg Wurzel	
		I	II	I	II	I	II	I	II
1. Passage .....	29	8,0	7,8	148,0	153,0	6,4	9,0	0,446	0,458
2. " .....	45	10,6	10,4	177,7	178,1	9,3	4,1	0,400	0,425
3. " .....	60	5,4	9,0	117,5	169,3	0,0	9,0	0,253	0,486
4. " .....	75	6,0	10,5	140,8	182,7	1,6	6,7	0,305	0,413
5. " .....	90	5,1	7,5	100,0	138,0	0,0	5,0	0,275	0,401
6. " .....	104	3,8	5,8	78,6	120,4	0,0	7,1	0,265	0,456
7. " .....	120	5,0	7,5	109,6	156,8	1,0	8,0	0,327	0,424
8. " .....	135	2,7	5,0	63,0	108,0	0,7	1,4	0,693	0,572
9. " .....	150	5,0	6,7	113,0	125,0	2,0	6,3	0,646	0,691

Legende : I: Milieu I mit Aneurin  
 II: Milieu II mit Aneurin und Nicotinsäureamid  
 5: Biotingehalt von Milieu + Wurzel zusammen, bezogen auf  
 1 mg Wurzeltrockengewicht (vgl. dazu Tabelle XI)

wir folgende Daten: Länge der Wurzel, Zahl der sichtbaren Nebenwurzeln, Trockengewicht der Wurzel und die Quantität des synthetisierten Biotins. Wir bestimmten quantitativ das in der Wurzel vorhandene wie auch das ins Milieu diffundierte Biotin (Tabelle XI).

Nachdem wir so das gesamte synthetisierte Biotin ermittelt hatten, errechneten wir, nach Abzug der in den zur Beimpfung der Kulturgefäße verwendeten Wurzelspitzen vorhandenen Biotinmenge ( $0,195 \text{ mg}$ ), die pro 1 mg Wurzeltrockengewicht produzierte Vitaminquantität (Tabelle XII).

In den Kulturen der beiden Gruppen machen sich einige Unterschiede bemerkbar. Nach der 3. Passage sinkt in den Milieux ohne Nicotinsäureamid der Biotingehalt um  $\frac{1}{3}$  seines Anfangswertes. In Gegenwart von Nicotinsäureamid bleibt er dagegen ziemlich konstant. Dieselben Beobachtungen gelten für das Trockengewicht der Wurzel, das Längenwachstum und für die Anzahl der sichtbaren Nebenwurzeln. Nach 150 Tagen gleichen sich diese Unterschiede mehrheitlich aus.

Die isoliert wachsende Wurzel von *Pisum* ist also Sitz einer gleichmäßigen Synthese von Biotin, die nach 150 Tagen Kulturdauer unverändert anhält (LOUIS [81]). Man darf daher annehmen, daß in bezug auf den Biotinstoffwechsel die Wurzel in weitem Maße unabhängig ist. Es ist allerdings nicht möglich, die Frage zu beantworten, ob in der intakten Pflanze das Blatt nicht doch auf den Biotinhaushalt der Wurzel wirkt.

Das Nicotinsäureamid, obschon es nicht unbedingt von der Wurzel verlangt wird, wirkt günstig auf die ganze Entwicklung und die Biosynthese des Biotins. Es kann somit als Zusatzfaktor betrachtet werden, wenigstens für die von uns untersuchte Sorte von *Pisum*.

#### 4. Der Einfluß von Pisumblattextrakten auf die Biosynthese des Biotins in der isoliert wachsenden Wurzel von *Pisum*

Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß es nicht ausgeschlossen ist, ja sogar wahrscheinlich, daß an der intakten Pflanze das Blatt neben seiner Aufgabe, Vitamin zu liefern, den Vitaminhaushalt der Wurzel in irgendeiner Weise beeinflußt. Die nachstehenden Untersuchungen sollten uns einen Aufschluß über diese Frage geben.

Das Vorgehen war folgendes: Wir bereiteten uns kalte, wässrige Extrakte von Pisumblättchen in ganz bestimmter Konzentration; nach dem Abfiltrieren des Rückstandes (Zellwände, Leitgewebe) versuchten wir, das grüne kolloidale Filtrat auf verschiedene Arten zu sterilisieren. Die

größte Wirksamkeit durfte von solchen Extrakten erwartet werden, die den Inhalt der Zellen in möglichst unveränderter Form enthielten. Von den einzelnen Extrakten setzten wir zu jeder Wurzelkultur je 0,5 cc zu. Eine Serie, die Kontrollen, blieb ohne jeglichen Zusatz. Nach 15 Tagen Kulturdauer ermittelten wir Längenwachstum und Trockengewicht der Wurzeln, die Zahl der sichtbaren Nebenwurzeln und den Biotingehalt in Wurzel und Milieu. Mit Hilfe dieser Angaben und unter Berücksichtigung der von den Kontrollserien gebildeten Biotinmenge und des mit dem betreffenden Extrakt zugefügten Biotins ließ sich eine genaue Bilanz erstellen, die uns zeigte, in welchem Grade und ob überhaupt der geprüfte Blattextrakt auf die Biosynthese des Biotins durch die Wurzel einwirkt.

Ein erster Versuch umfaßte folgende Serien:

1. Serie Kontrollen ohne Blattextrakt
2. Serie a) 10 % wässriger Blattextrakt  
b) 1 % wässriger Blattextrakt  
Beide Extrakte wurden an vier aufeinanderfolgenden Tagen im Wasserbad während einer Stunde erwärmt (Temperatur 45 ° C).
3. Serie a) 10 % wässriger Extrakt; bei 115 ° C sterilisiert und anschließend filtriert, ergibt ein braunes, klares Filtrat.  
b) 1 % wässriger Extrakt; bei 115 ° C sterilisiert und anschließend filtriert, ergibt ein gelbliches, klares Filtrat.
4. Serie 1 % wässriger Blattextrakt; dieser Extrakt wurde mit Äther behandelt, unter dessen Einwirkung er sterilisiert wurde. Dabei fielen allerdings die Eiweißsubstanzen aus, und es resultierte ein klares, gelbliches Filtrat, ähnlich 3 b.

Vorgängig der Ermittlung des Biotingehaltes in Wurzeln und Milieu bestimmten wir mit Hilfe des *Saccharomyces*-Testes (WILLIAMS und Mitarbeiter) die in den verschiedenen Extrakten enthaltene Biotinmenge. Die Ergebnisse sind die folgenden:

TABELLE XIII  
*Biotingehalt der verschiedenen Extrakte*

Extrakt	Behandlung	Biotingehalt
10 %	45 ° C	6,85 mγ / cc
1 %	45 ° C	0,48 "
10 %	115 ° C	9,07 "
1 %	115 ° C	0,91 "
1 %	Aether	0,50 "

In Tabelle XIV sind die durchschnittlichen Werte für Längenwachstum, Trockengewicht und Anzahl der sichtbaren Nebenwurzeln zusammengestellt. Der 1 % bei 115 ° C sterilisierte und der mit Äther behandelte Blattextrakt haben auf das Längenwachstum der Wurzel und auf die Bildung von Trockensubstanz einen günstigen Einfluß, während die beiden bei 45 ° C pasteurisierten sich auf die gleichen Kriterien eher leicht negativ auswirken.

**TABELLE XIV**  
*Wirkung von Pisumblattextrakten auf Längenwachstum, Trockengewicht  
und Nebenwurzelzahl isolierter Pisumwurzeln*

Extrakt, Behandlung	Längenwachstum (mm)	Trockengewicht (mg)	Zahl der Nebenwurzeln
Kontrollen	123,7	6,7	1,2
10 % 45 ° C	104,4	5,5	2,1
1 % 45 ° C	109,3	5,6	2,0
10 % 115 ° C	134,5	6,8	3,3
1 % 115 ° C	153,5	8,15	3,0
1 % Aether	152,1	8,6	2,3

Im Anschluß daran bestimmten wir quantitativ das in Wurzeln und Milieux vorhandene Biotin und erstellten an Hand der benötigten Daten eine genaue Bilanz. Die Resultate sind in Tabelle XV vereinigt. Für die Ausrechnung ist zu beachten: das Total in Kolonne 3 setzt sich zusammen aus dem für Wurzel und Milieu ermittelten Gehalt. Von diesem Wert sind abzuziehen:

- a) die von den Kontrollkulturen gebildete Biotinmenge (6,899 mγ) und
- b) das mit dem Extrakt zugefügte Biotin (Kolonne 4).

Die so erhaltenen Zahlen sind in der Kolonne 5 verzeichnet. Die in der letzten Spalte der Tabelle stehenden Zahlen veranschaulichen die auf 1 mg Wurzeltrockengewicht bezogene Biotinsynthese.

Es läßt sich feststellen, daß der mit Äther behandelte Extrakt sowie die beiden bei 115 ° C sterilisierten Extrakte eine nur geringe fördernde Wirkung auf die Biosynthese der isoliert wachsenden Pisumwurzel ausüben. Demgegenüber ergibt sich für die bei 45 ° C pasteurisierten Extrakte eine ansehnliche Steigerung der pro 1 mg Trockensubstanz produzierten

TABELLE XV

*Einfluß von Blattextrakten auf die Biotinsynthese isolierter Pisumwurzeln*

Extrakt, Art der Behandlung	Biotin in mγ					
	1	2	3	4	5	6
	pro Wurzel	pro Milieu	Total	mit dem Extrakt zugefügt	total nach Abzug von **)	synthetisiert pro mg Wurzel
10 % 45 ° C	1,370	13,063	14,433	3,425	4,109	0,747
1 % 45 ° C	1,187	8,037	9,224	0,240	2,301	0,411
10 % 115 ° C	1,526	10,630	12,156	4,535	0,722	0,106
1 % 115 ° C	1,654	6,880	8,534	0,455	1,180	0,145
1 % Aether	1,939	5,986	7,925	0,250	0,776	0,090

\*\*) Abgezogen werden:

1. Die Kontrollen = Kulturen ohne zugesetzten Extrakt  
Wert (Wurzel + Milieu): 6,899 mγ
2. Das mit dem Blattextrakt zugesetzte Biotin (Kolonne 4 der Tabelle)

Menge an Biotin, und zwar nimmt die Quantität mit der Konzentration des Blattextraktes zu.

Ein weiterer Versuch mit Blattextrakten umfaßte die folgenden Serien:

1. Serie Kontrollen ohne Extrakt
2. Serie 1 % wässriger Blattextrakt, der an vier aufeinanderfolgenden Tagen je eine Stunde lang auf 60 ° C erwärmt wurde.
3. Serie 1 % wässriger Extrakt, bei 115 ° C sterilisiert und anschließend filtriert.
4. Serie 1 % wässriger Extrakt, bei Zimmertemperatur mit Hilfe eines Spezialfilters von SCHOTT (Jena) kalt sterilisiert. Es resultierte ein kleines, leicht gelbliches Filtrat.

Von diesen Extrakten wurden je 1,0 cc einer Wurzelkultur zugesetzt. Die nachstehende kleine Tabelle gibt die Werte für den Biotingehalt der drei verschieden behandelten Blattextrakte wieder:

TABELLE XVI  
*Biotingehalt der geprüften Extrakte*

Extrakt	Behandlung	Biotingehalt
1 %	60 ° C	0,54 mγ /cc
1 %	115 ° C	0,73 „
1 %	Kalt sterilisiert	0,54 „

Nach 15 Tagen Kulturdauer ernteten wir die Wurzeln und bestimmten wie im vorigen Versuch Längenwachstum, Trockengewicht und Anzahl der sichtbaren Nebenwurzeln. Die Resultate sind in Tabelle XVII zusammengestellt.

TABELLE XVII  
*Wirkung von Pisumblattextrakten auf Längenwachstum, Trockengewicht und Nebenwurzelzahl isolierter Pisumwurzeln*

Extrakt, Behandlung	Längenwachstum (mm)	Trockengewicht (mg)	Zahl der Nebenwurzeln
Kontrollen	114,8	6,1	2,5
1 % 60 ° C	133,7	7,1	5,5
1 % 115 ° C	118,4	6,3	3,8
1 % kalt sterilisiert	117,0	6,0	2,5

Die nach der Ermittlung des Biotingehaltes in den Wurzeln und Milieux aufgestellte Bilanz des Biotinstoffwechsels ergab, daß keiner der drei unterschiedlich behandelten Blattextrakte die Biosynthese des Biotins in der isoliert wachsenden Wurzel von *Pisum* entscheidend beeinflußt (vgl. dazu die Tabelle XVIII).

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

1. Die in der Hitze bei 115 ° C sterilisierten Extrakte sind nur wenig wirksam. Dasselbe gilt für einen mit Äther behandelten Blattextrakt. Allen fehlen die proteischen Substanzen, die entweder durch Hitze oder durch chemische Agentien zerstört worden sind.
2. Ein mit einer Temperatur von 60 ° C behandelter Extrakt ist ebenfalls nur schwach wirksam, da bei diesem Wärmegrad die Proteine offenbar schon in Mitleidenschaft gezogen worden sind.

TABELLE XVIII

*Einfluß von Blattextrakten auf die Biotinsynthese isolierter Pisumwurzeln*

Extrakt, Art der Behandlung	Biotin in mγ					
	1	2	3	4	5	6
	pro Wurzel	pro Milieu	Total	mit dem Extrakt zugefügt	total nach Abzug von ***)	synthetisiert pro mg Wurzel
1 % 60 ° C	0,951	4,540	5,491	0,540	0,694	0,097
1 % 115 ° C	0,838	4,995	5,833	0,730	0,846	0,134
1 % kalt sterilisiert	0,864	4,142	5,006	0,540	0,209	0,033

\*\*\* Abgezogen werden:

1. Die Kontrollen = Kulturen ohne zugefügten Extrakt  
Wert (Wurzel + Milieu): 4,257 mγ
2. Das mit dem Blattextrakt zugesetzte Biotin (Kolonne 4)

3. Der mittelst Spezialfilter kalt sterilisierte Extrakt führte zu keiner Förderung der Biotinbildung.
4. Die beiden mit einer Temperatur von 45 ° C behandelten Blattextrakte wirkten sich dagegen günstig aus und übten eine nicht unwe sentliche Förderung auf die Biosynthese des Biotins in der isolierten Pisumwurzel aus, und zwar erwies sich der zehnprozentige Extrakt wirksamer als der einprozentige.

Die Vermutung liegt nahe, daß ein solcher Extrakt nicht nur gerade auf die Biotinsynthese sich positiv auswirkt, sondern auch auf die Bildung anderer Wirkstoffe.

Im Laufe dieser Untersuchungen konnte die interessante Beobachtung gemacht werden, daß die im Wasserbad bei 45 ° C bzw. 60 ° C pasteurisierten Extrakte, die also noch die in den Zellen enthaltenen Proteine besaßen, bei der Bestimmung ihres Biotingehaltes auf den Testorganismus *Saccharomyces cerevisiae* in Mengen von 1,0 cc und mehr die Entwicklung dieser Hefe stark hemmten; diese Wirkung fehlt den heiß sterilisierten Extrakten. Ein kalt sterilisierter Blattextrakt wirkt dagegen auch

wachstumshemmend. Hier wird aber bei der Filtration der größte Teil der Proteine zurückgehalten, so daß im Filtrat keine sehr großen Molekülen mehr vorhanden sein werden. Erhitzen wir dieses Filtrat auf 115 ° C, so bildet sich ein geringer Niederschlag, und die überstehende klare Lösung hemmt das Wachstum der Hefe nicht. Der oder die eine Hemmung ausübenden Stoffe dürften daher in dem durch nachträgliche Hitzebehandlung entstandenen Niederschlag zu suchen sein. Über die Natur dieser Substanzen ist uns aber nichts Näheres bekannt. Die Bestimmungen mit dem *Saccharomyces*-Test werden indessen durch die beobachtete Hemmung nicht gestört, da der Biotingehalt auch in Mengen von 0,05 bis 0,5 cc genau ermittelt werden kann.

## 5. Der Nicotinsäurestoffwechsel

Bei *Phycomyces blakesleeanus*, auf synthetischem Milieu mit Aneurin kultiviert, bewirkt das Vitamin K<sub>3</sub> eine Hypovitaminose in bezug auf die Nicotinsäure (Hemmung der Biosynthese der Nicotinsäure), und zwar ist ihre Intensität proportional der Menge des Inhibitors (SCHOPFER und BOSS [82, 83]). Die Wirkung des Vitamins K<sub>3</sub> beschränkt sich übrigens nicht nur auf eine Störung des Nicotinsäurestoffwechsels: als Folge davon wird das Gleichgewicht anderer Vitamine stark in Mitleidenschaft gezogen (34). Die Hemmung der Nicotinsäurebildung läßt sich durch Zusatz von Nicotinsäure oder ihrer Vorstufen wieder rückgängig machen; die normale Bilanz im Nicotinsäurestoffwechsel wird auf diese Weise wieder hergestellt. Ein Studium dieses Antagonismus wurde ebenfalls an Wurzeln in isolierter Organkultur durchgeführt. Die ersten Ergebnisse sind anlässlich des Colloque international de Morphogenèse, Straßburg, Juli 1949, mitgeteilt worden (34). Die nachfolgenden Untersuchungen ergänzen in der Weise, daß sie uns Aufschluß geben über die Art, wie sich der Stoffwechsel der Nicotinsäure im Verlaufe der Entwicklung der isolierten Wurzel abspielt. Im besonderen kann man sich fragen, ob die Wurzel dieses Vitamin in genügender Menge zu bilden imstande ist oder ob es als exogener Wachstumsfaktor dem Milieu zugefügt werden muß.

Nach Ergebnissen von ADDICOTT und BONNER (84) und ADDICOTT und DEVIRIAN (75) wird das Wachstum der isolierten Pisumwurzel gefördert, wenn dem Milieu mit Aneurin noch Nicotinsäure beigefügt wird. BONNER (51) widmete der Wirkungsspezifität der Nicotinsäure eine eingehende Arbeit, der zu entnehmen ist, daß von 23 der Nicotinsäure mehr oder

weniger verwandten Substanzen einzig solche auf Pisumwurzeln aktiv waren, die nach einfacher Hydrolyse Nicotinsäure liefern.

In unseren Versuchen führten wir innerhalb 105 Tagen sieben Überimpfungen aus (85). Nach jeder Überimpfung wurden Kulturmilieu und Wurzeln einer Nicotinsäureanalyse unterworfen und außerdem die Länge der Wurzel und das Gewicht der gebildeten Trockensubstanz ermittelt. Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle XIX zusammengestellt. Die zur Beimpfung der Kulturgefäße verwendeten 10 mm langen Wurzelspitzen enthielten 138 mγ Nicotinsäure. Die Zahlen in der Tabelle stellen die korrigierten Werte nach Abzug dieses Anfangsgehaltes dar.

Im Kulturmilieu ist eine ziemliche Menge Nicotinsäure nachzuweisen, die entweder von einer Diffusion dieses Vitamins aus den lebenden Zellen oder aber aus zerfallenden toten Zellen herrührt (Tabelle XX). Diese Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Wurzel der von uns untersuchten Sorte von *Pisum sativum* für die Nicotinsäure weitgehend autotroph ist. Ein in der zweiten und fünften Überimpfung auftretendes Absinken der gebildeten Nicotinsäuremenge wird in der folgenden Passage wieder kompensiert (vgl. Figur 4).

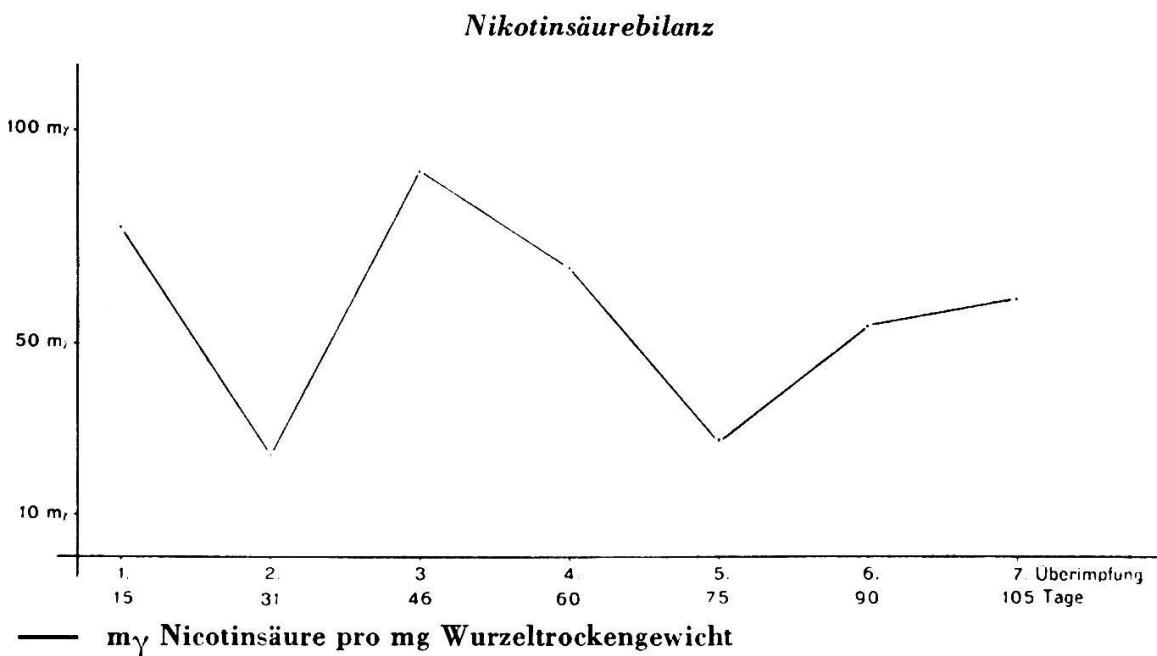
Nach 7 Überimpfungen in 105 Tagen hält sich die Biosynthese der Nicotinsäure ungefähr auf der gleichen Höhe wie zu Beginn des Versuches. Wie beim Biotinstoffwechsel, so stellt sich auch hier die Frage, ob bei der intakten Pflanze die Biosynthese der Nicotinsäure in der

TABELLE XIX

*Biosynthese der Nicotinsäure durch die isolierte Wurzel von Pisum*

Überimpfung	Tage	Wurzellänge (mm)	Trockengewicht (mg)	Nicotinsäure total (mγ) *	Nicotinsäure pro mg Wurzel (mγ)
1	15	92,4	7,8	604,3	77,5
2	31	102,2	5,7	138,2	24,2
3	46	93,2	4,6	417,0	90,6
4	60	94,2	3,85	261,4	67,9
5	75	103,2	3,1	83,6	27,0
6	90	108,7	4,9	266,7	54,4
7	105	111,4	5,6	339,9	60,7

\* Nicotinsäure der Wurzel und des Milieus



Figur 4

Wurzel wirklich ganz unabhängig vom Stoffwechsel des Blattes ist. Fest steht nur, daß die isolierte Pisumwurzel mit der von ihr produzierten Nicotinsäuremenge auskommt.

Diese Befunde vervollständigen, was wir schon anlässlich der Untersuchung des Biotinstoffwechsel fanden: trotzdem die Nicotinsäure durch die Pisumwurzel gebildet wird, ist sie als exogener Wachstumsfaktor doch nicht ganz unwirksam; sie wirkt fördernd auf die gesamte Entwicklung, ist aber nur Zusatzfaktor.

## TABELLE XX

*Verteilung der gebildeten Nicotinsäure auf Wurzel und Milieu*

Überimpfung	Tage	Nicotinsäure in $m\gamma$		
		Wurzel	Milieu	Total
1	15	592,0	149,5	742,3
2	31	225,0	151,2	376,2
3	46	401,0	154,0	555,0
4	60	246,4	153,0	399,4
5	75	71,2	150,4	221,6
6	90	256,0	148,7	404,7
7	105	275,5	202,4	477,9

## 6. Lactoflavinstoffwechsel

Die höheren Pflanzen sind reich an Flavinen; Erbsen enthalten beispielsweise 0,5 bis 1,5 mg pro kg Frischgewicht. Die Anwesenheit von Flavinen in Bakterien beweist, daß die Biosynthese dieser Pigmente nicht direkt an die Anwesenheit von Chlorophyll gebunden ist. Buttersäure- und Milchsäurebakterien sowie Hefen sind Träger von Flavinen. *Eremothecium Ashbyii* synthetisiert große Mengen von Lactoflavin, das in der Vakuole als Kristalle ausgeschieden wird (GUILLIERMOND [86]). SCHOPFER (87) zeigte, daß das Lactoflavin wie auch Lumiflavin und Lumichrom in der Vakuole verschiedener Pflanzenzellen angehäuft werden kann, besonders in den Zellen der oberen Epidermis von *Allium*-Zwiebelschuppen.

Sehr wenig ist über den Lactoflavingehalt der höheren Pilze, der Algen und der höheren Kryptogamen bekannt, obgleich diese Organismen zweifellos dieses Vitamin enthalten.

BONNER (88) prüfte die isoliert wachsenden Wurzeln von Tomate, Luzerne, Klee, Datura und Sonnenblume auf ihre Fähigkeit, Lactoflavin zu bilden. Alle diese Wurzeln enthalten auch nach 60 bis 70 wöchentlichen Passagen bedeutend mehr Lactoflavin als die anfänglich in Kultur gesetzten Wurzelspitzen. Dies läßt vermuten, daß während der Kultur eine Synthese von Lactoflavin stattfindet.

TABELLE XXI

*Biosynthese des Lactoflavins durch die isolierte Wurzel von Pisum*

Überimpfung	Tage	Wurzellänge (mm)	Trockengewicht (mg)	Lactoflavin	
				mγ total **)	mγ pro mg Wurzel
1	15	92,4	7,8	174,5	22,4
2	31	102,2	5,7	99,7	17,5
3	46	93,2	4,6	56,3	12,2
4	60	94,2	3,85	65,7	17,0
5	75	103,2	3,1	58,9	19,0
6	90	108,7	4,9	94,5	19,3
7	105	111,4	5,6	103,7	18,5

\*\* Lactoflavin der Wurzel und des Milieus

Wir untersuchten die solierte Wurzel von *Pisum* auf ihren Gehalt an Lactoflavin und führten im Laufe von 105 Tagen 7 Überimpfungen durch. Nach jeder Überimpfung wurden ermittelt: Länge und Trockengewicht der Wurzel, Lactoflavin der Wurzel und des Milieus. Mit Hilfe dieser Angaben ließ sich eine genaue Bilanz des Lactoflavinstoffwechsels aufstellen, deren Ergebnisse in Tabelle XXI verzeichnet sind.

Die ursprünglich in Kultur gesetzten Wurzelspitzen enthielten 13,6 m $\gamma$  Lactoflavin. Die Zahlen der Tabelle XXI stellen die berichtigten Werte nach Abzug des Anfangsgehaltes dar.

Im Gegensatz zu Biotin und Nicotinsäure läßt sich in keiner der 7 Überimpfungen in den Kulturmilieux Lactoflavin nachweisen (Tabelle XXII).

Wir kommen zum Schluß, daß die Wurzel der von uns geprüften Sorte von *Pisum sativum* für ihren eigenen Bedarf genügend Lactoflavin zu bilden vermag. Der Vitamingehalt bleibt während der ganzen Dauer des Versuches ziemlich konstant und hält sich bei Versuchsende ungefähr auf der gleichen Höhe wie zu Anfang (Figur 5).

Die Tatsache, daß die isolierte Pisumwurzel in vitro mit dem von ihr produzierten Lactoflavin auskommt, besagt aber noch nicht, daß an der intakten Pflanze das Blatt ohne jeglichen Einfluß auf die Biosynthese des Lactoflavins in der Wurzel ist.

TABELLE XXII  
*Verteilung des gebildeten Lactoflavins auf Wurzel und Milieu*

Überimpfung	Tage	Lactoflavin in m $\gamma$		
		Wurzel	Milieu	Total
1	15	188,1	0	188,1
2	31	113,3	0	113,3
3	46	69,9	0	69,9
4	60	79,3	0	79,3
5	75	72,5	0	72,5
6	90	108,1	0	108,1
7	105	117,3	0	117,3

## 7. Der Aderminstoffwechsel

Wie MOELLER (89) zeigte, wird das Adermin von Milchsäurebakterien als Wachstumsfaktor benötigt. Für Hefen ist das Adermin ebenfalls unentbehrlich (EAKIN und WILLIAMS [90]). Über die Biosynthese dieses Vitamins ist bis heute recht wenig bekannt. Auch seine Wirkung auf die Keimung von Samen oder auf die Entwicklung der ganzen Pflanze in Sandkultur ist bisher nicht genauer untersucht worden. MINNUM (91) prüfte den Einfluß des Adermins auf das Wachstum verschiedener Pflanzen, fand es aber ohne jegliche Wirkung. ROBBINS und BARTLEY-SCHMIDT (48) entdeckten im Jahre 1938 die stark wachstumsfördernde Wirkung des Adermins auf die isolierte Tomatenwurzel, wenn es zusammen mit Aneurin oder Thiazol dem Kulturmilieu zugesetzt wurde:

	dry weight of crop in mg
Control .....	0,4
5 γ thiamin .....	3,4
5 γ thiamin + 1 γ pyridoxine .....	16,1
1 γ pyridoxine .....	1,8

(nach ROBBINS und BARTLEY-SCHMIDT (1938))

Aus dieser kleinen Aufstellung ist zu ersehen, daß das Adermin allein unwirksam ist; erst in Gemeinschaft mit Aneurin oder Thiazol kommt ausgeprägte Wachstumsförderung zustande.

TABELLE XXIII  
*Biosynthese des Adermins durch die isolierte Wurzel von Pisum*

Überimpfung	Tage	Wurzellänge (mm)	Trockengewicht (mm)	Adermin	
				mγ total ***)	mγ pro mg Wurzel
1	15	133,3	9,1	15,45	1,70
2	31	144,2	8,1	55,58	6,86
3	46	106,7	5,9	61,36	10,40
4	60	84,4	4,6	35,97	7,82
5	75	92,4	4,9	53,43	10,90
6	90	69,6	3,8	36,52	9,61
7	105	70,2	4,5	40,23	8,94

\*\*\* Adermin der Wurzel und des Milieus

Wir stellten uns die Frage, ob die isoliert wachsende Wurzel von *Pisum* in der Lage sei, das Adermin selbst zu produzieren. Nach den Untersuchungen von BONNER (46) über das Vitaminbedürfnis isolierter Wurzeln durfte man annehmen, daß dies der Fall sei.

Innerhalb 105 Tagen führten wir 7 Überimpfungen aus. Nach jeder ermittelten wir wie üblich Länge und Trockengewicht der Wurzeln und den Gehalt an Adermin in Wurzel und Milieu. Aus diesen Angaben erstellten wir eine exakte Bilanz des Aderminhaushaltes. Die Ergebnisse sind in Tabelle XXIII veranschaulicht (siehe auch Figur 5).

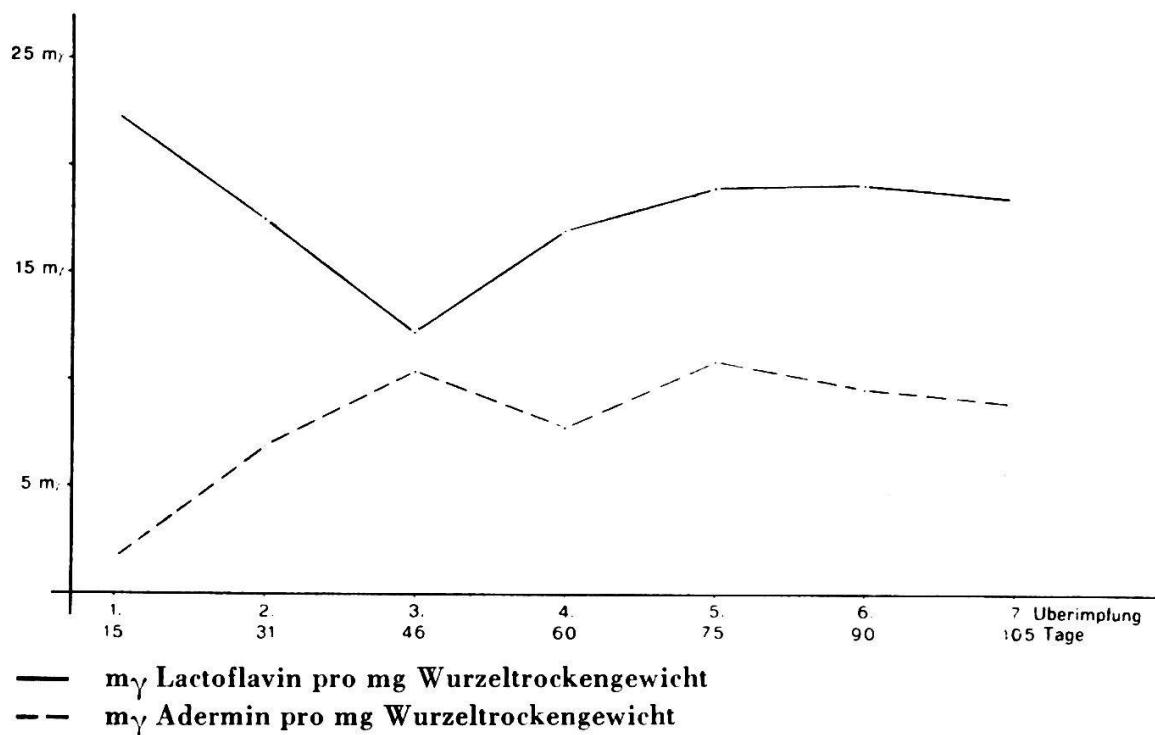
Zu Beginn der Kulturen enthielten die Wurzel spitzen 10,03 m $\gamma$  Adermin. Die in Tabelle XXIII wiedergegebenen Zahlen für den Adermingehalt stellen die bereinigten Werte nach Abzug dieses Anfangsgehaltes dar.

Wieder im Gegensatz zu Biotin und Nicotinsäure, aber in Übereinstimmung zum Lactoflavin, ist in keiner der 7 Überimpfungen in den Kulturlösungen Adermin vorhanden (Tabelle XXIV). Es gibt also keine Ausscheidungen von nachweisbarem Adermin.

TABELLE XXIV  
*Verteilung des gebildeten Adermins auf Wurzel und Milieu*

Überimpfung	Tage	Adermin in m $\gamma$		
		Total	Wurzel	Milieu
1	15	25,48	0	25,48
2	31	65,61	0	65,61
3	46	71,39	0	71,39
4	60	46,00	0	46,00
5	75	63,46	0	63,46
6	90	46,55	0	46,55
7	105	53,26	0	53,26

Der geringe Adermingehalt nach der ersten Überimpfung wird in der folgenden kompensiert. Die Wurzel benötigt offenbar einige Zeit, um unter den veränderten Lebensbedingungen die Bildung des Adermins in Gang zu setzen. Bis Versuchsende bleibt die Produktion dann ziemlich regelmäßig. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß für die isoliert wach-

*Lactoflavin- und Aderminbilanz*

Figur 5

sende Wurzel von *Pisum* (Sorte «Maikönigin») in vitro die von ihr synthetisierte Quantität Adermin zum Wachstum ausreicht. Die Möglichkeit einer Beeinflussung des Aderminhaushaltes der Wurzel an der intakten Pflanze durch das Blatt ist dadurch aber nicht von vornherein auszuschließen.

## 8. Der Pantothensäurestoffwechsel

## a) Einleitung

Die Synthese der Pantothensäure und die Ermittlung ihrer Strukturformel durch WILLIAMS und Mitarbeiter (92, 93) führten zur Erkenntnis, daß sie aus  $\beta$ -Alanin und Butyrolakton besteht. Das Synthesevermögen der verschiedenen Organismen für die Pantothensäure kann sich auf die eine Komponente beschränken. So gibt es beispielsweise solche, die in der Lage sind, das Lakton zu produzieren, dagegen nicht das  $\beta$ -Alanin. Wird dem Organismus das letztere zur Verfügung gestellt, so ist er in der Lage, aus den beiden Teilen das gesamte Molekül aufzubauen.

Nach BONNER und AXTMANN (1937) wirkt die Pantothensäure günstig auf *Pisum*-Embryonen. In jüngster Zeit erschien eine ganze Reihe von

Arbeiten über gebundene Formen der Pantothenäsäure. Wir werden an gegebener Stelle darauf zurückkommen.

*b) Der Pantothenäurestoffwechsel im Laufe einiger Überimpfungen*

Unsere Untersuchungen über den Stoffwechsel dieses Vitamins hatten wiederum zum Ziele, das Synthesevermögen der isolierten Wurzel von *Pisum* innerhalb verschiedener Passagen zu prüfen. Im Laufe von 105 Tagen wurden die Wurzeln siebenmal überimpft. Nach jeder Überimpfung ermittelten wir wie bisher Längenwachstum und Trockengewicht der Wurzeln und bestimmten anschließend mit Hilfe des *Lactobacillus-arabinosus*-Testes den Gehalt an Pantothenäsäure in den Kulturlösungen und den Wurzeln. Die nachstehende Tabelle gibt die Zusammenstellung der Werte für Längenwachstum und Trockengewicht.

TABELLE XXV  
*Längenwachstum und Trockengewicht isoliert wachsender Pisumwurzeln*

Überimpfung	Tag	Längenwachstum (mm)	Trockengewicht (mg)
1	15	60,1	5,5
2	30	75,2	3,8
3	44	87,6	4,5
4	60	126,8	6,7
5	75	98,8	4,8
6	90	114,1	5,9
7	105	136,8	8,6

Die an Hand der vorstehenden Daten aufgestellte Bilanz des Pantothenäurestoffwechsels führte zu folgenden Ergebnissen:

In den Nährösungen lässt sich mit Hilfe des mikrobiologischen Testes in keiner der sieben Überimpfungen Pantothenäsäure nachweisen. Die Wurzeln enthalten nach 15 Tagen noch 2,6 mg pro mg Trockengewicht, doch sinkt der Gehalt weiter ab, und nach der vierten Überimpfung ist im Wurzelmaterial überhaupt keine Pantothenäsäure mehr feststellbar. Dieses Ergebnis ist um so überraschender, als nämlich die anfangs in Kultur gesetzten Wurzelspitzen eine recht beträchtliche Menge Pantothenäsäure enthielten; in diesem bestimmten Versuch waren es 43,9 mg/mg Trockengewicht (vgl. Tabelle XXVI).

TABELLE XXVI  
*Pantothenäure-Bilanz*

	Tag	mγ Pantothenäure			
		Wurzel	Milieu	total *)	pro mg Wurzel
Wurzelspitzen .....		39,7	—	39,7	43,9
1. Überimpfung .....	15	14,3	0	14,3	2,6
2. „ .....	30	5,7	0	5,7	1,5
3. „ .....	44	2,7	0	2,7	0,6
4. „ .....	60	0	0	0	0
5. „ .....	75	0	0	0	0
6. „ .....	90	0	0	0	0
7. „ .....	105	0	0	0	0

\* Pantothenäure der Wurzel und des Milieus

Es findet offenbar keine Bildung von nachweisbarer Pantothenäure durch die Wurzel statt, und der in der Spitze ursprünglich vorhandene Vorrat verschwindet im Laufe der Zeit.

TABELLE XXVII  
*Pantothenäure-Bilanz*

	Tag	mγ Pantothenäure			
		Wurzel	Milieu	total *)	pro mg Wurzel
Wurzelspitzen .....		36,1	—	36,1	42,5
1. Überimpfung .....	16	0	0	0	0
2. „ .....	32	0	0	0	0
3. „ .....	46	0	0	0	0
4. „ .....	60	0	0	0	0
5. „ .....	75	0	0	0	0
6. „ .....	90	0	0	0	0
7. „ .....	107	0	0	0	0

\* Pantothenäure der Wurzel und des Milieus

Eine erste Nachprüfung dieses ungewöhnlichen Befundes fiel noch eindrücklicher aus: in den Milieux war wie vorher in keiner der Überimpfungen Pantothenäsäure nachzuweisen, und die Wurzeln enthielten bereits nach 15 Tagen keine durch den Test erfaßbare Pantothenäsäure mehr, obwohl die Wurzelspitzen bei Versuchsbeginn einen Gehalt von 42,5 my/mg Trockengewicht aufwiesen (Tabelle XXVII).

Eine nochmalige Wiederholung führte wieder zum gleichen Resultat; in den Kulturlösungen ist in keinem Zeitpunkt Pantothenäsäure erfaßbar, und die in den Wurzelspitzen vorhandene verschwindet mehr oder weniger rasch. Tabelle XXVIII gibt das Ergebnis der zweiten Nachprüfung wieder.

TABELLE XXVIII

*Pantothenäsäure-Bilanz*

	Tag	mγ Pantothenäsäure			
		Wurzel	Milieu	total *)	pro mg Wurzel
Wurzelspitzen .....		32,95	—	32,95	39,2
1. Überimpfung .....	15	6,6	0	6,6	0,77
2. „ .....	30	0	0	0	0
3. „ .....	45	0	0	0	0
4. „ .....	60	0	0	0	0
5. „ .....	75	0	0	0	0

\* Pantothenäsäure der Wurzel und des Milieus

Im Anschluß an diese Feststellungen ausgeführte weitere Untersuchungen zeigten deutlich, daß der Pantothenäsäuregehalt der isoliert wachsenden Pisum-wurzeln bereits am dritten Tage nach dem Einbringen der Wurzelspitzen in die Nährlösung erheblich kleiner ist als derjenige der frisch isolierten Wurzelspitzen und daß diese Abnahme während der folgenden Tage anhält. Tabelle XXIX veranschaulicht das Ergebnis dieser Versuche: in der ersten Kolonne findet sich die Zunahme der Wurzellänge, in der zweiten das Trockengewicht, während die letzte die pro 1 mg Wurzeltrockengewicht gefundene Menge Pantothenäsäure in my wieder-gibt.

TABELLE XXIX  
*Längenwachstum, Trockengewicht und Pantothenäsäuregehalt  
 von Wurzelkulturen verschiedenen Alters*

Tag	Längenwachstum (mm)	Trockengewicht (mg)	$m\gamma$ Pantothenäsäure pro mg Wurzeltrockengewicht
3	25,8	1,9	12,7
6	45,6	3,0	6,25
10	72,7	4,8	4,3
13	106,3	6,7	3,6

Die Bestimmung der Pantothenäsäure in den verschiedenen Teilen einer Wurzel (Spitze, Mittelstück, Wurzelende) ließen einen ungleich großen Gehalt an diesem Vitamin erkennen; so enthält die Wurzelspitze am meisten, während gegen die Wurzelbasis hin die Quantität abnimmt. Es besteht in der isoliert wachsenden Wurzel von *Pisum* ein deutlicher Gradient von der Spitze zur Basis. Ferner sinkt im Laufe der Kultur die in den einzelnen Teilen feststellbare Vitaminmenge mehr oder weniger regelmäßig ab. Die genauen Werte sind für die drei untersuchten Zeitpunkte (3, 6 und 15 Tage) in der nachstehenden Tabelle XXX zusammengestellt.

TABELLE XXX  
*Verteilung der Pantothenäsäure in der isolierten Wurzel von *Pisum**

Alter in Tagen	$m\gamma$ Pantothenäsäure pro mg Wurzeltrockengewicht		
	Spitze	Mittelstück	Wurzelende
3	6,8	—	5,6
6	5,4	—	4,0
15	2,5	1,1	0,0

Wir dehnten unsere Untersuchungen noch weiter aus und prüften ungekeimte Samen auf ihren Gehalt an Pantothenäsäure. Bei den Embryonen stellten wir das eine Mal eine Menge von 28,9  $m\gamma$ /mg Trockensubstanz fest, während in einer anderen Bestimmung 19,3  $m\gamma$ /mg Trockensubstanz gefunden wurden. Im Gegensatz dazu wiesen die Kotyledonen einen konstanteren Gehalt auf, nämlich 12,8  $m\gamma$ /mg im ersten Fall und 12,5  $m\gamma$ /mg

im zweiten. Erfolgt die Bestimmung der Pantothenäsäure in den Kotyledonen nach viertägiger Keimung der Samen, also in dem Zeitpunkt, wo die für die Versuche verwendeten Wurzelspitzen normalerweise abgeschnitten werden, so beträgt die durchschnittlich gefundene Menge noch 7,1 my/mg Trockensubstanz. Embryonen gleichen Alters enthalten 30,0 my/mg (Tabelle XXXI). Im Gegensatz zu den Kotyledonen, bei denen eine Abnahme des Pantothenäsäuregehaltes feststellbar ist, steigt die nach viertägiger Keimung in den Embryonen vorhandene Vitaminmenge an. Diese Zunahme ist wohl auf einen Transport eines Teils der in den Kotyledonen sich befindenden Pantothenäsäure zurückzuführen. Betrachten wir den ganzen Samen, so ergibt sich im ungekeimten Zustande ein Gesamtgehalt von 1633,8 my Pantothenäsäure, nach viertägiger Keimung aber nur noch 1054,7 my, was einer Verminderung um 589,1 my entspricht. In der gleichen Zeit sinkt die auf 1 mg Trockensubstanz bezogene Pantothenäsäuremenge von 41,7 my im ungekeimten Zustande auf 37,1 my. Es findet also schon in den allerersten Stadien des Wachstums eine ziemliche Abnahme der im trockenen Samen ursprünglich nachweisbaren Vitaminmenge statt.

TABELLE XXXI

*Verteilung der Pantothenäsäure in ungekeimten und gekeimten Erbsen*

	my Pantothenäsäure	
	pro Kotyledonenpaar bzw. pro Embryo	pro mg Trockensubstanz
Kotyledonen ungekeimt .....	1548,4	12,8
Kotyledonen nach viertägiger Keimung ..	688,7	7,1
Embryonen ungekeimt .....	85,0	28,9
Embryonen nach viertägiger Keimung ..	366,0	30,0

### c) Die Wirkung von Pantothenäsäurezugaben

Die Resultate der vorstehenden Untersuchungen ließen die Frage auftauchen, wie sich wohl die isoliert wachsende Wurzel von *Pisum* Zusätzen von reiner, synthetischer Pantothenäsäure gegenüber verhalten werde. Kommen dadurch irgendwelche erfassbaren Änderungen im Stoffwechsel dieses Vitamins zustande, oder erscheinen, besonders bei höheren

Dosen, Hemmungen in der Entwicklung, die Längenwachstum und Trocken gewicht beeinflussen?

Einer ersten Versuchsreihe setzten wir folgende Mengen zu: 50, 200 und 500 m $\gamma$  pro Kultur. Eine Anzahl Kulturen blieb ohne Zusatz und diente als Kontrollen. Nach 15 Tagen unterbrachen wir den Versuch und nahmen eine Bestimmung des in Wurzeln und Milieux noch vorhandenen Vitamins vor. Die Auswertung der Vitaminbestimmung ergab, daß in den Kontrollkulturen weder in der Nährlösung noch in den Wurzeln mit dem mikrobiologischen Test Pantothenäsäure erfaßbar war. Dasselbe gilt für die Kulturen, denen 50 m $\gamma$  Pantothenäsäure zugefügt wurden: auch hier läßt sich nach 15 Tagen keine Pantothenäsäure mehr nachweisen. Demgegenüber war bei den in Gegenwart von 200 m $\gamma$  bzw. 500 m $\gamma$  Pantothenäsäure gewachsenen Wurzeln sowohl im Milieu als auch in der Wurzel selbst dieses Vitamin noch feststellbar. Tabelle XXXII gibt die erhaltenen Resultate wieder.

TABELLE XXXII  
*Bilanz der zugesetzten Pantothenäsäure*

	Kontrollen	1. Serie	2. Serie	3. Serie
Zugefügt .....	0,0 m $\gamma$	50,0 m $\gamma$	200,0 m $\gamma$	500,0 m $\gamma$
Gehalt der Wurzelspitzen	41,9 m $\gamma$	41,9 m $\gamma$	41,9 m $\gamma$	41,9 m $\gamma$
Total zugefügt	41,9 m $\gamma$	91,9 m $\gamma$	241,9 m $\gamma$	541,9 m $\gamma$
<hr/>				
Nach 15 Tagen gefunden:				
Wurzel .....	0,0 m $\gamma$	0,0 m $\gamma$	17,7 m $\gamma$	32,4 m $\gamma$
Milieu .....	0,0 m $\gamma$	0,0 m $\gamma$	199,1 m $\gamma$	452,9 m $\gamma$
Total	0,0 m $\gamma$	0,0 m $\gamma$	216,8 m $\gamma$	485,3 m $\gamma$
<hr/>				
Abnahme .....	41,9 m $\gamma$	91,9 m $\gamma$	25,1 m $\gamma$	56,6 m $\gamma$
In % ausgedrückt .....	100,0 %	100,0 %	10,38 %	10,44 %

In einer zweiten Versuchsreihe erhöhten wir die zugesetzte Quantität an synthetischem Vitamin auf 1000 m $\gamma$  bzw. 10 000 m $\gamma$  pro Kultur. Nach

25 Tagen erfolgte die Bestimmung der Pantothenensäure in den Wurzeln und im Milieu. In den Kontrollkulturen konnte nach dieser Zeit wiederum weder in den Wurzeln noch in der Nährlösung Pantothenensäure nachgewiesen werden, während erwartungsgemäß in den beiden Serien mit 1000 mγ bzw. 10 000 mγ Pantothenensäure diese in den Wurzeln und in der Kulturlösung noch vorhanden war. Die genauen Werte sind in Tabelle XXXIII zusammengestellt.

TABELLE XXXIII  
*Bilanz der zugesetzten Pantothenensäure*

	Kontrollen	4. Serie	5. Serie
Zugefügt .....	0,0 mγ	1000,0 mγ	10 000,0 mγ
Gehalt der Wurzelspitzen .....	38,9 mγ	38,9 mγ	38,9 mγ
Total	38,9 mγ	1038,9 mγ	10 038,9 mγ
<hr/>			
Nach 25 Tagen gefunden:			
Wurzel .....	0,0 mγ	22,5 mγ	249,9 mγ
Milieu .....	0,0 mγ	880,8 mγ	8 494,0 mγ
Total	0,0 mγ	903,3 mγ	8 743,9 mγ
<hr/>			
Abnahme .....	38,9 mγ	135,6 mγ	1 295,0 mγ
In % ausgedrückt .....	100,0 %	13,05 %	12,90 %

Es ergibt sich, daß in den Kontrollen und bei der geringsten zugesetzten Pantothenensäuremenge (50 mγ) alles Vitamin verschwunden ist. Von größeren zugefügten Mengen bleibt ein beträchtlicher Teil übrig. Die Wurzel enthält bedeutend weniger als die Kulturlösung, ist aber nicht frei von nachweisbarer Pantothenensäure geworden. Beim Vergleich der Prozentzahlen für die Abnahme der Pantothenensäure fällt auf, daß sie sich das eine Mal um 10 %, das andere um 13 % herum bewegen, so daß es den Anschein hat, als ob von größeren Mengen Pantothenensäure in der gleichen Zeit mehr verschwinden würde. Berücksichtigen wir die Fehlergrenze der Bestimmungsmethode, so glauben wir annehmen zu

dürfen, daß die isoliert wachsende Wurzel der von uns untersuchten Pisumsorte «Maikönigin» gar nicht auf die Pantothensäure angewiesen ist und vermutlich geringe Mengen davon abzubauen vermag, wobei allerdings noch offensteht, ob dieser Teil nicht in irgendeine gebundene Form übergeführt wird und so im mikrobiologischen Test nicht mehr erfaßbar ist.

Entwicklungshemmungen, verursacht durch die hohen Konzentrationen der Pantothensäure im Milieu, wurden nicht beobachtet. In den ausgeführten Versuchen blieben Längenwachstum und Trockengewicht im Rahmen des Normalen. Die exogen zugeführte Pantothensäure übt im geprüften Bereich (50 bis 10 000 my) keine Wirkung auf das Wachstum der isolierten Wurzel von *Pisum* aus.

#### *d) Fermentative Abbauversuche*

Im Jahre 1945 beobachteten LIPMANN und Mitarbeiter (94, 95) bei der Acetylierung von aromatischen Aminen in Leberpräparaten die Wirkung eines neuen, allgemein verbreiteten Co-enzyms. Die gleichen Autoren fanden bald darauf, daß das analoge Acetylierungssystem für Choline im Hirn dasselbe Co-enzym benötigt (97).

Die Versuche, dieses neue Co-enzym (Co-enzym A genannt) zu identifizieren, führten wenig später zum Erfolg (96): es stellte sich heraus, daß neben anderen Substanzen die Pantothensäure einen wichtigen Bestandteil dieses Co-enzyms darstellt. Ihr Anteil beträgt ungefähr 10 %. Die im aktiven Co-enzym A vorkommende gebundene Pantothensäure ist wohl im Kückentest erfaßbar, dagegen nicht im mikrobiologischen Test. Für diesen muß sie aus dem Co-enzym A durch Abbau in Freiheit gesetzt werden.

Weitere Untersuchungen mit dem Co-enzym A ließen erkennen, daß es noch bei anderen Reaktionen eine wichtige Rolle spielt (98, 99).

LIPMANN und Mitarbeiter (100) veröffentlichten 1950 eine wichtige Arbeit über Isolierung und Zusammensetzung des Co-enzyms A. Der Gehalt des untersuchten Präparates an Vitaminen war sehr gering, zum Teil konnten sie überhaupt nicht erfaßt werden (Biotin und Aneurin). Eine direkte Bestimmung der Pantothensäure ergab einen Gehalt von 0,083 %; nach einwöchiger Verdauung mit Clarase-Papain stieg die im Test ermittelte Pantothensäuremenge auf 0,16 % (diese Beobachtung läßt vermuten, daß die enzymatische Behandlung, die in der routinemäßigen Bestimmung der Pantothensäure gebraucht wird [101], bloß ganz kleine Mengen Pantothensäure aus dem Co-enzym A freisetzen kann); aus  $\beta$ -Alanin nach saurer Hydrolyse errechneten die Autoren dagegen einen Gehalt an Pantothensäure von 11 %.

Nach den Auffassungen der Verfasser setzt sich das Co-enzym A aus drei hauptsächlichen Komponenten zusammen:

Pantothensäure (Komp. 1), verbunden *a*) mit Komponente 2, vermutlich Adenylsäure (durch Phosphorbrücke), *b*) mit Komponente 3, möglicherweise eine Aminosäure, durch eine bis jetzt nicht näher bekannte Bindung.

Bereits vor der Entdeckung des Co-enzyms A wurden Konjugate der Pantothensäure beschrieben (102, 103). Im Jahre 1948 berichten KING, LOCHER und CHEDELIN (104)

über eine neue, im Herzmuskelkonzentrat entdeckte gebundene Form der Pantothen-säure. Die beiden oben erwähnten Konjugate sind wahrscheinlich von diesem als PAC (pantothenic acid conjugate) bezeichneten Konjugat verschieden, während das von LIPPMANN et al. beschriebene Co-enzym A ähnliche Eigenschaften aufweist.

Über das Vorhandensein eines nicht identifizierten Wachstumsfaktors für *Lactobacillus bulgaricus* und andere Milchsäurebakterien erschien 1949 eine erste Arbeit (105). Spätere Untersuchungen brachten auch diesen *Lactobacillus-bulgaricus*-Faktor (LBF) mit der Pantothen-säure und dem Co-enzym A in nähere Beziehung (106, 107).

Alle erwähnten gebundenen Formen der Pantothen-säure unterscheiden sich voneinander durch ihre Stabilität gegen Säuren, Alkalien, Fermente und Fällungsmittel. Die Möglichkeit, daß es sich bei den verschiedenen Konjugaten um Abbauprodukte des Co-enzymes A handeln könnte, ist naheliegend, und es ist in der Tat KING und STRONG (108) gelungen, interessante vermutliche Zusammenhänge zwischen Co-enzym A, LBF und dem NEAL-und-STRONG-Faktor aufzudecken.

Für die Durchführung unserer Abbauversuche hielten wir uns an das von BARTON-WRIGHT (109) angegebene Verfahren:

1 g der fein pulverisierten Substanz wird mit je 20 mg Papain und Takadiastase und 40 cc eines 0,5prozentigen Acetatpuffers (pH 4,5) versetzt. Dieses Gemisch läßt man unter Toluol während 24 h bei 37 ° C. Nach der Verdauung trennt man im Scheidetrichter vom Toluol ab und kocht die Mischung 1/2 h, um die Enzyme zu zerstören. Nach dem Abkühlen wird vom Rückstand abfiltriert und mit destilliertem Wasser auf 50 cc aufgefüllt, sowie das pH des Filtrates auf 6,8 gebracht. Bei Material mit hohem Fettgehalt empfiehlt es sich, nach der Filtration und bevor man das pH auf 6,8 bringt, den Extrakt mit Aethyläther auszuschütteln.

Außer Material von Wurzelkulturen verschiedenen Alters bezogen wir auch Sproßteile und Wurzeln *in vivo* gewachsener Pisum-pflanzen in die Untersuchungen ein. Ein zuerst durchgeföhrter Kontrollversuch mit den beiden zur Verdauung verwendeten Fermenten und der Pufferlösung allein ergab, daß sie keine auf den Testorganismus *Lactobacillus arabinosus* wirksamen Substanzen enthielten und auch sein Wachstum nicht beeinträchtigten. Ein Vergleich der Zahlen für die vorhandene Pantothen-säuremenge in den verschiedenen Proben vor und nach der Verdauung (Tabelle XXXIV) zeigt, daß nach der Fermentbehandlung die nachweisbare Vitaminmenge nicht größer geworden ist. Eine zeitliche Ausdehnung der Verdauung auf das Doppelte lieferte keine besseren Ergebnisse.

Ein Ersatz der beiden Fermente durch einen Kotyledonenextrakt zeigte keine neuen Gesichtspunkte: nach der Verdauung ist der Gehalt der geprüften Wurzelextrakte unter Berücksichtigung der in den Extrakten aus den Kotyledonen bereits vorhandenen Pantothen-säure nicht größer geworden. Verwendet wurden zehnprozentige wässrige Extrakte, zum Teil bei Zimmertemperatur, zum Teil bei 115 ° C hergestellt.

Durch die negativen Ergebnisse der fermentativen Abbauversuche veranlaßt, legten wir uns die Frage vor, ob vielleicht eine Hydrolyse mit Salzsäure den β-Alaninegehalt ansteigen ließe. LIPPMANN und Mitarbeiter (100) vermuten auf Grund eigener Erfahrungen, daß die übliche enzymatische Behandlung bloß ganz kleine Mengen Pantothen-säure freisetzen kann.

TABELLE XXXIV  
*Ergebnisse der Abbauversuche mit Papain und Takadiastase*

	<i>m%</i> Pantothenäsäure	
	im unbehandelten Material	nach der Fermentbehandlung
Kotyledonen ungekeimt .....	12,5	11,9
Wurzelkulturen 15 Tage alt .....	0	0
Wurzeln 2. Überimpfung .....	0	0
Wurzeln 4. Überimpfung .....	0	0
Blätter 14 Tage alt .....	10,1	10,8
Stengel 14 Tage alt .....	8,7	8,8
Wurzel 29 Tage alt .....	13,4	12,8
Sproß 39 Tage alt .....	6,9	6,9
Wurzel 39 Tage alt .....	13,3	13,3
Sproß 65 Tage alt .....	6,1	4,5
Wurzel 65 Tage alt .....	10,5	9,3

Bei der Ausführung von  $\beta$ -Alaninbestimmungen (SCHENK und DU VIGNEAUD (110) stellte es sich heraus, daß der Testorganismus *Saccharomyces cerevisiae* Hansen-St. Fleischmann in Gegenwart von Pantothenäsäure sich genau so gut entwickelt wie mit  $\beta$ -Alanin. Der Buttersäureanteil des Pantothenäuremoleküls ist dagegen unwirksam. In pantothenäurefreiem Material läßt sich  $\beta$ -Alanin mit dieser Methode wohl bestimmen. Im anderen Falle ist es unerlässlich, zuerst die freie Pantothenäsäure zu bestimmen und anschließend nach saurer Hydrolyse das  $\beta$ -Alanin. Dieses kann ursprünglich frei vorhanden gewesen oder aber durch die Hydrolyse aus der Pantothenäsäure oder sogar aus gebundenen Formen dieses Vitamins befreit worden sein. Bei der Auswertung treten dadurch natürlich einige Komplikationen auf. Als weitere ungünstige Tatsache kommt hinzu, daß die Empfindlichkeit des Testorganismus gegenüber  $\beta$ -Alanin mit zunehmendem Gehalt an Protein und dessen Abbauprodukten in den Extrakt abnimmt und die Ergebnisse rasch fehlerhaft werden. SARETT und CHELDELIN (111) versuchten eine brauchbare Methode zur Bestimmung des  $\beta$ -Alanins zu entwickeln. Die Ergebnisse ihrer Arbeit zeigten aber, daß die zahlreichen geprüften Hefen unter den beschriebenen Bedingungen nicht zur Bestimmung des  $\beta$ -Alanins verwendet werden können, wegen der hemmenden Wirkung, die durch Aminosäuren und natürliche Extrakte ausgeübt wird.

Trotz den ungünstigen Voraussetzungen führten wir Bestimmungen durch, und zwar in Wurzelmateriale, von welchem bekannt war, daß es keine Pantothenäsäure enthielt. In den mit  $1\text{nHCl}$  eine Stunde lang bei  $115^\circ\text{C}$  hydrolysierten Proben ließ sich nach dem Neutralisieren mit  $\text{NaOH}$  kein  $\beta$ -Alanin nachweisen; eine Hemmung des Test-

organismus durch die Extrakte konnte nicht beobachtet werden. Wird aber mit 20prozentiger HCl unter den gleichen Bedingungen hydrolysiert, so wird das Wachstum des Testorganismus in den Hemmungskontrollen fast vollständig unterdrückt, was eine Auswertung unmöglich macht. Die Prüfung einer reinen  $\beta$ -Alaninlösung auf ihre Beständigkeit gegen eine 1 n HCl-Lösung (Einwirkungsdauer 1 Stunde bei 115 °C) ergab keine Aktivitätsverminderung unter dem Einfluß der Säure.

Abschließend kommen wir zum Resultat, daß, wenn überhaupt Pantothenäsäure im untersuchten Pflanzenmaterial in gebundener Form vorliegt, sie mit der üblichen fermentativen Abbaumethode nicht freigesetzt werden kann. Ebensowenig führten Bestimmungen des  $\beta$ -Alaningehaltes nach saurer Hydrolyse zum Erfolg, so daß wir unter gewissen Vorbehalten (mangelnde Zuverlässigkeit des Hefetestes) auf ein Fehlen von Konjugaten der Pantothenäsäure schließen dürfen und somit das Verschwinden der Pantothenäsäure andere Ursachen haben muß als einen Einbau in einen Komplex.

#### e) Der Pantothenäurestoffwechsel der Wurzel *in vivo*

Die vorstehenden Untersuchungen ergaben, daß in der Wurzel *in vitro* nach kurzer Zeit keine Pantothenäsäure mehr vorhanden war. Offensichtlich hat die Wurzel die Fähigkeit, Pantothenäsäure zu bilden, verloren. Da anderseits die Pantothenäsäure, wie schon ihr Name besagt, überall verbreitet ist, wird sie vermutlich durch das Blatt gebildet und dann der Wurzel zugeführt. Wenn diese Ansicht richtig ist, so müssen wir *in vivo* Pantothenäsäure sowohl in den Blättern als auch in der Wurzel finden, und der Pantothenäuregehalt der Wurzel wird wahrscheinlich ziemlich konstant bleiben.

Wir kultivierten eine entsprechend große Anzahl *Pisum*-Pflanzen in Töpfen im Freien. Die Töpfe wurden mit einer lockeren Mischung von Sand und Gartenerde gefüllt und in jeden ungefähr 20 Samen ausgelegt. Die Mischung Sand + Gartenerde wählten wir aus zwei Gründen: erstens findet die Pflanze mehr Nährstoffe in ihrem Substrat als zum Beispiel in Sand allein oder in Sand + Torfmull, und zweitens lassen sich die zu analysierenden Wurzeln leicht von den anhaftenden Teilchen durch Waschen befreien, was besonders bei älteren und reich verzweigten von Vorteil ist.

In bestimmten Zeitabständen entnahmen wir unseren Kulturen 2 bis 3 Töpfe und analysierten die gewaschenen und getrockneten Wurzeln. Nach sechs Wochen standen die meisten Pflanzen in Blüte und trugen ungefähr zwei Wochen später Früchte. Die Resultate der einzelnen Bestimmungen sind in Tabelle XXXV zusammengestellt. 32 Tage nach Versuchsbeginn ist die ermittelte Menge an Pantothenäsäure noch annähernd so groß wie nach 6 Tagen. Später sinkt der Gehalt an Pantothenäsäure ab. Bei 67 Tage alten Pflanzen mit Früchten, zu einem Zeitpunkt also, wo in Wurzelkulturen längst keine Pantothenäsäure mehr festzustellen ist, ent-

halten die Wurzeln immer noch eine gewisse Menge davon, allerdings auch nur mehr den dritten Teil des nach 6 Tagen ermittelten Wertes. Wir dürfen deshalb annehmen, daß die Wurzel durch den Sproßteil mit Pantothenäsäure versorgt wird.

TABELLE XXXV  
*Pantothenäsäuregehalt von Pisumwurzeln in vivo*

Alter der Pflanzen	mγ Pantothenäsäure pro mg Wurzel
6 Tage	31,7
12 „	34,1
22 „	23,3
32 „	29,6
44 „	10,2
55 „	17,6
67 „	10,1

Es gelang uns, diese Abhängigkeit der Wurzel von den oberirdischen grünen Teilen der Pflanze besonders eindrücklich durch folgende Versuchsanordnung zu belegen:

Ausgangsmaterial bildeten zwei Wochen alte Erbsenpflänzchen in Töpfen. Wir teilten die Pflanzen in zwei verschiedene Serien ein; diejenigen der ersten wurden vollständig entblättert und entknospt, nur der grüne Stengel blieb stehen. Im Laufe des Versuches sich neu entwickelnde Knospen entfernten wir fortlaufend. Die der zweiten Serie dagegen wurden ungefähr 1 cm über dem Erdboden abgeschnitten, so daß die Wurzel nur noch mit diesem kleinen grünen Stumpf in Verbindung war. Gleich zu Beginn ermittelten wir den Gehalt an Pantothenäsäure in den Wurzeln und darauf im Abstande von je einer Woche wieder. Für die genauen Werte verweisen wir auf Tabelle XXXVI. In Figur 6 ist das Verhalten der Wurzeln der beiden Versuchsreihen graphisch aufgetragen.

In den Wurzeln der Pflanzen ohne Knospen und Blätter ist zunächst eine ziemliche Erhöhung des Gehaltes an Pantothenäsäure festzustellen, worauf die nachweisbare Vitaminmenge wieder auf ihren ursprünglichen Wert zurückgeht. Eine Abnahme tritt erst bei sieben Wochen alten Pflanzen ein. Dieses Verhalten entspricht also dem *in vivo* gewachsener, intakter Pflanzen.

TABELLE XXXVI

*Pantothenäuregehalt der Pisumwurzel in vivo*

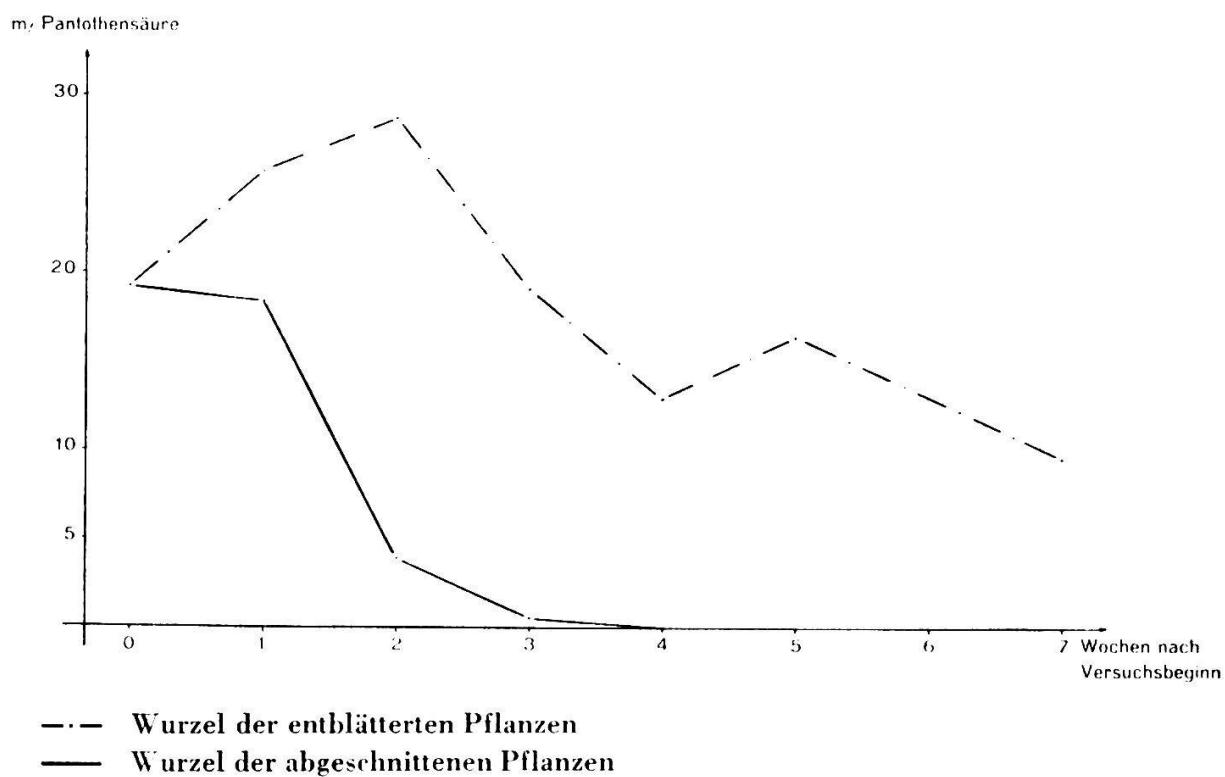
Alter der Pflanzen	Stengel der entblätterten Pflanzen	Wurzel der entblätterten Pflanzen	Wurzel der abgeschnittenen Pflanzen
13 Tage	Pflanzen entblättert und entknospt bzw. 1 cm über der Erde abgeschn.		
14 „		19,3 *	19,3 *
21 „	13,0 *	25,8	18,4
28 „	12,1	28,8	3,9
35 „	10,8	19,1	0,6
42 „	5,2	12,9	0,0
49 „	7,1	16,4	—
65 „	8,7	9,6	—

\* mg/mg Trockengewicht

Interessant ist dagegen das Ergebnis mit den Wurzeln der abgeschnittenen Pflanzen. Hier tritt keine Erhöhung des Vitamingehaltes ein, vielmehr erfolgt ein rasches Absinken des Pantothenäuregehaltes. Zwei Wochen nach Versuchsbeginn findet man nur noch rund einen Fünftel des Anfangsgehaltes. In einem solchen Experiment ist es natürlich unerlässlich, nur Wurzeln zu verwenden, die noch leben und deren kleiner oberirdischer Teil noch grün ist. Das setzt der zeitlichen Dauer der Untersuchung aber eine Grenze. Da jedoch die Abnahme rasch einsetzt, lässt sich der Versuch vor dem auf Mangel an Versorgung mit Assimilaten beruhenden Absterben der Wurzel abschließen. Die von ihren oberirdischen, grünen Teilen getrennte Wurzel der untersuchten Erbsensorte verhält sich *in vivo* gleich wie in isolierter Organkultur: sie ist nicht in der Lage, Pantothenäure zu bilden.

*f) Verteilung der Pantothenäure in den einzelnen Teilen der Erbsenpflanze während deren Entwicklung*

Zum Abschluß der Untersuchungen über die Pantothenäure verfolgten wir den Stoffwechsel dieses Vitamins in der ganzen Pflanze *in vivo* während einer vollständigen Vegetationsperiode. Wie es bereits HURNI

*Pantothenäuregehalt der Pisumcurzel in vivo*

Figur 6

(72) getan, so beschränkten wir uns nicht nur darauf, den Pantothenäuregehalt der ganzen Pflanze zu ermitteln, sondern trachteten danach, den Stoffwechsel der Pantothenäure in den einzelnen Teilen des Organismus zu erfassen; daher führten wir zahlreiche Bestimmungen in Wurzeln, Kotyledonen, Stengel, Blättern verschiedenen Alters, Blüten und Samen durch. Die Erbsen wuchsen wir im vorigen Experiment in Töpfen im Freien in einer Mischung aus Sand und Gartenerde. Zu Beginn des Versuches erfolgten die Analysen alle Wochen, später in größer werdenden Zeitabständen. Ungefähr 50 Tage nach der Aussaat standen die Pflanzen in Blüte, und nach 100 Tagen konnten wir reife Samen ernten.

Überblicken wir die Ergebnisse der einzelnen Analysen, so lassen sich folgende Feststellungen machen (für die genauen Werte verweisen wir auf die ausführliche Tabelle XXXVII):

In den Kotyledonen ungekeimter Samen stellten wir 12,5 mg Pantothenäure pro mg Trockengewicht fest. Nach einer Woche ist der Gehalt auf weniger als einen Drittels dieses Wertes gesunken. Ein Vergleich der aus diesen Werten errechneten Mengen, die auf ein Kotyledonenpaar entfallen, zeigt, daß ein beträchtlicher Teil der Pantothenäure aus den

TABELLE XXXVII

*Verteilung der Pantothenäsäure in der Pisum pflanze im Laufe ihrer Entwicklung*

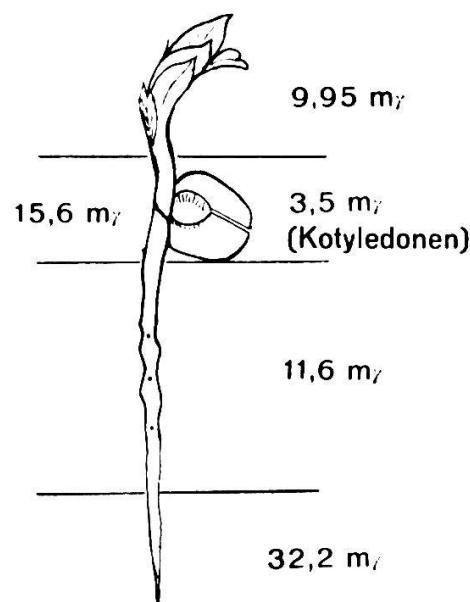
Alter	mγ Pantothenäsäure pro mg Trockengewicht									
	Embryo	Wurzel Spitze	Wurzel Rest	Kotyledonen *)	Unterster Teil des Stengels	Blätter + Stengelteile jüngste ————— älteste	An der Pflanze vergilbte Blätter	Blüten	Samen (ganz)	
Ungekeimt	19,3			12,5						17,5
7 Tage		32,2	11,6	3,5	15,5	9,95				
14 "		29,3	13,4	29,6	8,7	10,1 15,3				
21 "		16,7	12,9	52,2	6,7	11,2 11,8 11,3 11,2				
29 "		13,6	13,3	8,0	5,0	5,6				
39 "		12,5	14,0	0,0	4,5	4,3 10,7 5,6	10,5			
50 "			12,2		5,6	6,7 5,2 7,3	6,4	6,2		
65 "			10,5			6,6 5,6		8,9	9,9	
80 "			2,8			2,4				9,4
100 "			0,0			0,0				9,0

## \* Kotyledonen:

Ungekeimt	1512,5 mγ Pantothenäsäure/Kotyledonenpaar
7 Tage	302,9 mγ Pantothenäsäure/Kotyledonenpaar
14 Tage	307,8 mγ Pantothenäsäure/Kotyledonenpaar
21 Tage	417,6 mγ Pantothenäsäure/Kotyledonenpaar
29 Tage	15,2 mγ Pantothenäsäure/Kotyledonenpaar
39 Tage	0,0 mγ Pantothenäsäure/Kotyledonenpaar

Kotyledonen verschwunden ist (siehe Tabelle XXXVII unten). Im weiteren Verlaufe der Entwicklung steigt die pro mg Trockengewicht ermittelte Vitaminmenge ziemlich an, um mit zunehmender Entleerung der Keimblätter wieder abzufallen. Nach ungefähr 40 Tagen ist keine Pantothenäsäure mehr nachzuweisen. Der vorübergehende Anstieg findet seine Erklärung wohl darin, daß andere Substanzen, die in den Keimblättern enthalten sind, rascher daraus fortgeschafft werden, die Trockensubstanz nimmt ab bei ziemlich gleichbleibendem Pantothenäsäuregehalt; folglich entfallen auf 1 mg Trockengewicht mehr  $\mu\gamma$  Pantothenäsäure als vorher.

Bei den Wurzeln ermittelten wir in den fünf ersten Analysen die Pantothenäsäure getrennt nach Wurzelspitze und restlichem Teil, später nurmehr für die ganze Wurzel. Es ergab sich nämlich, daß in den ersten Wochen die Spitze eine bedeutend höhere Pantothenäsäuremenge aufwies als der übrige Teil, eine Tatsache, die wir schon an isoliert wachsenden Wurzeln feststellen konnten. Nach ungefähr vier Wochen glich sich dieser Unterschied aber vollständig aus, so daß sich eine getrennte Bestimmung erübrigte. Der für die Wurzel ermittelte durchschnittliche Gehalt an Pantothenäsäure sinkt im Laufe der Entwicklung ab; er macht zur Zeit der Blüte noch etwa die Hälfte des Anfangswertes aus. Sobald die Pflanze Früchte gebildet hat und langsam vergilbt, schwindet die nachweisbare Quantität an Pantothenäsäure rasch, und wenn die Samen reif sind, werden die Wurzeln pantothenäsäurefrei.



Figur 7

*Verteilung der Pantothenäsäure in der 7 Tage alten Pflanze*

Die Verteilung der Pantothensäure in den Blättern und im Stengel ließ folgende Besonderheit erkennen: im Gegensatz zu der von HURNI (72) gemachten Beobachtung, daß bei *Melandrium album* der Gehalt an Aneurin von den jüngsten zu den ältesten Blättern mehr oder weniger regelmäßig abnimmt, stellten wir bei unseren Versuchspflanzen für die Pantothensäure fest, daß eine derartige Regelmäßigkeit vollkommen fehlt. Der größte Gehalt tritt in den einzelnen Analysen ganz unregelmäßig an verschiedenen Stellen auf. Vergilzte Blätter, die noch an der Pflanze sich befinden, enthalten ebensoviel Pantothensäure wie die grünen.

TABELLE XXXVIII

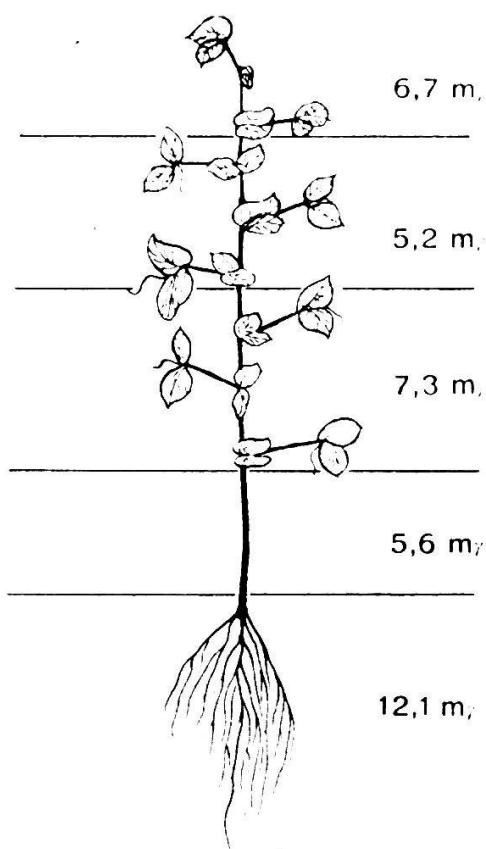
*Verteilung der Pantothensäure in Wurzel und Sproß in vivo*

Alter der Pflanzen	Mittlerer Pantothensäuregehalt in my pro mg Trockengewicht	
	Wurzel	Sproß
7 Tage	21,9	12,7
14 „	21,4	11,3
21 „	14,8	10,4
29 „	13,5	5,3
39 „	13,3	7,1
50 „	12,1	6,2
65 „	10,5	7,2
80 „	2,8	2,4
100 „	0,0	0,0

Ermitteln wir für jede Bestimmung den durchschnittlichen Pantothensäuregehalt in den Blättern und im Stengel, so kann man mit fortschreitender Entwicklung ein langsames Absinken beobachten. Mit dem Absterben der Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode schwindet die Pantothensäure vollständig aus dem Sproßteil (vgl. Tabelle XXXVIII).

In den Blüten finden wir ähnliche Mengen Pantothensäure wie in den Blättern; junge, noch grüne Samen enthalten etwas mehr Pantothensäure als ältere, die schon gelb geworden sind. Die zur Aussaat verwendeten Samen besitzen pro mg Trockengewicht etwa das Doppelte an Pantothensäure wie die von uns geernteten. Möglicherweise beruht dieser Unterschied auf gewissen Stoffwechselvorgängen, die sich während der Lagerung abspielen.

Ganz allgemein zeigten die Untersuchungen, daß die Wurzel und in den ersten Wochen des Wachstums vor allem die Wurzelspitze reicher ist an Pantothenensäure als der oberirdische, grüne Teil der Pflanze. In diesem ist die Verteilung mehr oder weniger gleichmäßig: der Vegetationspunkt und die jüngsten Blätter enthalten nicht mehr Pantothenensäure als die ältesten, bereits vergilbenden Blätter. Mit zunehmendem Alter der Pflanzen sinkt der Pantothenensäuregehalt langsam ab, und sobald die Entwicklung ihrem Ende entgegengesetzt, die Samen am Ausreifen sind, schwindet sie aus Wurzel und Sproßteil (mit Ausnahme der Samen) vollständig.



Figur 8

*Verteilung der Pantothenensäure in 50 Tage alten Pflanzen*