

Diss. ETH Nr. 6667

EINFLUSS VON WACHSTUMSREGULATOREN INSBESONDERE GIBBERELLIN-
SAEURE AUF DAS WACHSTUM UND DEN ERTRAGSAUFBAU DER ACKERBOHNE
(VICIA FABA L.)

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

SERGIO BELLUCCI

dipl. ing. agr. ETH
geboren am 29. Oktober 1950
von Lugano (TI)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. E.R. Keller, Referent
Prof. Dr. F. Bangerth, Korreferent

Zürich 1980

VERDANKUNGEN

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. E.R. Keller für die Zuweisung des lehrreichen Themas und die mir bei der Durchführung der Arbeit gewährte Freiheit.

Herrn Prof. Dr. F. Bangerth der Universität Hohenheim (Stuttgart) danke ich bestens für die Uebernahme des Korreferates und für seine fachlichen Anregungen.

Herrn Prof. Dr. J. Nösberger bin ich für seine wertvollen Hinweise und Beratungen dankbar.

Herrn Dr. F. Schwendimann danke ich sehr für die freundschaftliche Stimmung bei der Bewältigung statistischer Probleme.

Einen ganz herzlichen Dank schulde ich meinem Freund Dr. W. Gehrig für seine mir wesentliche Hilfe.

Herrn Dr. J. Hurter der Forschungsanstalt Wädenswil danke ich für die Einführung in das Gebiet der Wachstumsregulatoren.

Den Herren P. Bocion der Firma Maag und Dr. S.D. van Hoogstraten der Firma Fison danke ich für die Zustellung der Wachstumsregulatoren im ersten Versuchsjahr.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes für Pflanzenbau der ETH Zürich und meinen Freundinnen und Freunden möchte ich meinen aufrichtigen Dank für ihre vielseitige Mitwirkung und Unterstützung aussprechen.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| 1. <u>EINLEITUNG</u> | 1 |
| 1. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG | 1 |
| 2. LITERATURUEBERSICHT | 3 |
| 2.1. Nomenklatur der Wachstumsregulatoren | 3 |
| 2.2. Gruppen von Pflanzenwachstumsregulatoren und ihre wichtigsten Eigenschaften und Funktionen | 4 |
| 2.3. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf Wachstum und Entwicklungsvorgänge bei Pflanzen | 8 |
| 2.4. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf Wachstum und Entwicklungsvorgänge bei der Ackerbohne | 19 |
| 2.5. Bedeutung des Ernte-Indexes (Harvest-Index) | 25 |
| 2.6. Zur Auswahl der Wachstumsregulatoren | 26 |
| 3. ALLGEMEINE VERSUCHSMETHODIK | 29 |
| 3.1. Applikationsmethode der Wachstumsregulatoren | 29 |
| 3.2. Saatmethode und Sorte | 29 |
| 3.3. Düngung | 30 |
| 3.4. Pflege und Schädlingsbekämpfung | 30 |
| 3.5. Erhebungen in der vegetativen und reproduktiven Entwicklungsphase sowie Ernteerhebungen | 30 |
| 3.6. Statistische Verarbeitung der Versuchsdaten | 33 |
| 3.7. Witterungsverlauf | 33 |

II. EINFLUSS VERSCHIEDENER WACHSTUMSREGULATOREN AUF DAS WACHSTUM UND DEN ERTRAGSAUFBAU DER ACKERBOHNE

Feldversuch 1977

| | |
|--|----|
| 1. EINLEITUNG | 35 |
| 2. MATERIAL UND METHODEN | 35 |
| 2.1. Versuchsort | 35 |
| 2.2. Versuchsboden | 35 |
| 2.3. Versuchsanlage | 36 |
| 2.4. Wachstumsverlauf | 40 |
| 3. ERGEBNISSE UND KURZDISKUSSION | 41 |
| 3.1. Einfluss des Anwendungszeitpunktes | 41 |
| 3.2. Einfluss der Konzentration | 41 |
| 3.3. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf das Wachstum während der Vegetationsperiode | 42 |
| 3.4. Einfluss von GA_3 auf das vegetative und reproduktive Wachstum | 45 |
| 3.5. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf die Pflanzenhöhe und auf die Ertragskomponenten bei der Schlussernte | 51 |
| 3.6. Einfluss von GA_3 auf den Hülsenansatz je Internodium | 60 |
| 3.7. Einfluss von GA_3 auf die gesamte Trockenmasse und auf den Ernte-Index (Harvest-Index) | 60 |
| 4. SCHLUSSBETRACHTUNG | 63 |
| 5. ZUSAMMENFASSUNG | 66 |

III. EINFLUSS VON GIBBERELLINSÄURE-APPLIKATIONEN AUF DAS WACHSTUM UND DEN ERTRAGSAUFBAU DER ACKERBOHNE

Feldversuche 1978 und 1979

A. FELDVERSUCH 1978

| | |
|--|----|
| 1. EINLEITUNG | 68 |
| 1.1. Vorgehen und Arbeitsprogramm für die Versuche im Jahre 1978 | 68 |
| 2. MATERIAL UND METHODEN | 70 |
| 2.1. Versuchsort | 70 |
| 2.2. Versuchsboden | 70 |
| 2.3. Versuchsanlage | 71 |
| 2.4. Wachstumsverlauf | 78 |
| 3. ERGEBNISSE UND KURZDISKUSSION | 79 |
| a. Durchführung von Teilernten während der Vegetationsperiode nach der GA_3 -Applikation | |
| 3.1. Allgemeiner Einfluss des Anwendungszeitpunktes | 79 |
| 3.2. Allgemeiner Einfluss der GA_3 -Konzentration | 79 |
| 3.3. Einfluss der GA_3 -Applikation auf das vegetative Wachstum | 79 |
| 3.4. Einfluss von GA_3 auf das reproduktive Wachstum und auf den Fruchtfall | 83 |
| 3.5. Einfluss von GA_3 auf die erhobenen Parameter bei den Teilernten | 86 |
| 3.5.1. Einfluss von GA_3 auf die Internodienlänge | 86 |
| 3.5.2. Einfluss von GA_3 auf den Durchmesser der Stengel | 87 |
| 3.5.3. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der reproduktiven Organe (Hülsen und Körner) | 91 |
| 3.5.4. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Stengel | 92 |
| 3.5.5. Einfluss von GA_3 auf die Blattfläche | 97 |
| 3.5.6. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Blätter | 98 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.5.7. | Einfluss von GA_3 auf das spezifische Blattgewicht | 102 |
| 3.5.8. | Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Wurzel | 104 |
| 3.5.9. | Einfluss von GA_3 auf die gesamte Trockenmasse | 105 |
| 3.5.10. | Einfluss von GA_3 auf die Blattflächendauer (LAD) und auf die durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR}) | 106 |
| 3.5.11. | Einfluss von GA_3 auf einige vegetative-reproduktive Beziehungen | 108 |
| 3.6. | Einfluss von GA_3 auf die Hülsenzahl, Körnerzahl und Trockenmasse der Körner je Internodium bei der Schluss- ernte | 114 |
| 3.7. | Einfluss von GA_3 auf die vegetativen Pflanzenteile und auf die Ertragskomponenten bei der Schlussernte | 114 |
| b. | Einfluss von GA_3 auf die Versorgung der jungen Früchte mit ^{14}C -markierten Assimilaten | |
| <hr/> | | |
| 3.8. | Allgemeines | 120 |
| 3.8.1. | Einfluss von GA_3 auf die Aktivitätsverteilung in den Früchten in Zerfallsimpulse pro Minute (DPM) und je Internodium | 121 |
| 3.8.2. | Einfluss von GA_3 auf die Aktivitätsverteilung (in DPM) in Funktion von Gewicht und Alter der Früchte | 123 |
| 3.8.3. | Einfluss von GA_3 auf die spezifische Aktivität der Früchte | 127 |
| 3.8.4. | Erste Schlussfolgerungen | 128 |
| 4. | ZUSAMMENFASSUNG | 130 |
| | | |
| B. | <u>FELDVERSUCH 1979</u> | |
| | | |
| 1. | EINLEITUNG | 132 |
| 2. | MATERIAL UND METHODEN | 132 |
| 2.1. | Versuchsanlage | 132 |
| 2.2. | Wachstumsverlauf | 134 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 3.3. Diskussion der Ergebnisse | 182 |
| 4. ZUSAMMENFASSUNG | 183 |
| VII. <u>SCHLUSSDISKUSSION</u> | 184 |
| VIII. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> | 187 |
| IX. <u>LITERATURVERZEICHNIS</u> | 196 |

I. EINLEITUNG

1. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die zunehmende Nachfrage nach pflanzlichem Protein auf dem Weltmarkt sowie die Preissteigerungen für die eiweisshaltigen Futtermittel sorgten dafür, dass auch der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) vermehrt Interesse geschenkt wurde. In der gegenwärtigen unsicheren Lage der Energieversorgung gewinnen die Körnerleguminosen und somit auch die Ackerbohne zunehmend an Bedeutung.

Die mit der Ackerbohne in Symbiose lebenden Knöllchenbakterien sorgen für die Stickstoffversorgung der Pflanze. Für einen Ertrag von 30-40 q Bohnen pro Hektare wird die hohe Menge von 300-350 kg Stickstoff benötigt (Hofer und Jäggi, 1978). Mit einem Proteinерtrag von 646 kg pro Hektare, verglichen mit 427 kg von Weizen, produziert die Ackerbohne beträchtlich mehr als andere Kulturpflanzen (Scott, 1974; zitiert in Griffiths, 1978).

Die Ackerbohne bildet viele Blüten und Hülsen, doch fallen in der Regel 60 bis 70% davon ab. Untersuchungen von Keller (1974) haben gezeigt, dass der Hülsenansatz bei Sommerformen der Ackerbohne im Zeitpunkt der Ernte im allgemeinen zwischen 25 und 35% der gebildeten Blüten liegt. Dies verursacht die relativ hohen Ertragsschwankungen. Die Markierungen mit $^{14}\text{CO}_2$ am Institut für Pflanzenbau der ETH (Jaquiéry, 1977) haben ergeben, dass als mögliche Ursache des Blüten- und Hülsenfalles ein durch die Konkurrenz zwischen vegetativem und reproduktivem Wachstum bedingter Mangel an Assimilaten in Frage kommt. Das starke vegetative Wachstum fällt mit der Blütenphase zusammen, die sich bis zu einem Monat hinziehen kann. Die Frage drängt sich auf, ob dieses Konkurrenzverhältnis nicht zugunsten der reproduktiven Organe verschoben werden kann.

Durch das Schröpfen (Entfernen der Triebspitze) bewirkte Gehriger (1978) einen relativ grösseren Hülsenansatz. Trotzdem war der Körnerertrag bei der Reife geringer als bei der ungeschröpften Kontrollpflanze. Die kleinere vegetative Masse (Blattfläche und Stengel) vermag die grössere Kornzahl nicht auszufüllen. Chapman

et al. (1978) erreichten mit dem Schröpfen langlebigere Blätter. Dies wirkte sich aber nicht in einer höheren Effizienz aus, weder beim Hülsenansatz noch bei der Körnerfüllung. Für die Verbesserung des Ertrages der Ackerbohne stehen uns noch andere Möglichkeiten zur Verfügung. Die Pflanzenzüchtung nimmt hier eine wichtige Rolle ein. Durch die Herstellung eines mutativ determinierten Typs erreichte Sjödin (1971) eine genetisch bedingte Verkürzung des Apex. Dabei tritt die Verkürzung leider schon früh im Verlauf der Pflanzenentwicklung ein, so dass die Zahl der gebildeten Blüten ungenügend bleibt und somit ein guter Ertrag nicht sichergestellt werden kann (Burkhard, 1980).

Als weitere wichtige, leider zu wenig ausgenützte Möglichkeit für die Ertragserhöhung bei der Ackerbohne steht uns eine verbesserte Anbautechnik zur Verfügung.

Ein Weg, der in den letzten Jahren vermehrt eingeschlagen wurde, ist die Verbesserung der Ertragsstruktur von Kulturpflanzen durch Anwendung von Wachstumsregulatoren. In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, den Ertrag der Ackerbohne durch die Beeinflussung des Hormonhaushaltes zu steigern. Es stellte sich die Frage, ob es möglich ist, durch einen geeigneten Einsatz von Wachstumsregulatoren das Konkurrenzverhältnis zwischen Triebwachstum und Hülsenbildung so zu steuern, dass dies zu einer besseren Ausbildung der Ertragskomponenten führt.

2. LITERATURUEBERSICHT

Mit dem mittlerweile bekannt gewordenen Satz "Ohne Wuchsstoff kein Wachstum" setzte Went im Jahre 1928 (Went, 1928) einen wichtigen Markstein auf dem Weg für ein besseres Verständnis der komplexen Regulierungsvorgänge des Pflanzenwachstums. Die folgende Literaturübersicht kann nicht eine umfassende Darstellung des gesamten Gebietes der Wachstumsregulatoren sein. Sie bezweckt jedoch, einige Zusammenhänge zwischen den komplexen Kontrollmechanismen des Pflanzenwachstums und den dabei beteiligten Pflanzenhormonen aufzuzeigen. Wichtige Prozesse wie die Keimung, das vegetative und reproduktive Wachstum, die Seneszenz und die Reifung, werden in der Pflanzenentwicklung durch Wachstumsregulatoren entscheidend beeinflusst. Ueber die Wirkung von Wachstumsregulatoren findet man in der Literatur oft widersprüchliche Angaben.

2.1. Nomenklatur der Wachstumsregulatoren

Wachstumsregulatoren sind organische Verbindungen, welche sich in kleinen Mengen fördernd, hemmend oder sonst in irgendeiner Weise auf einen physiologischen Prozess auswirken (Weaver, 1972). Eine allgemein anerkannte Definition für Pflanzenhormone (Phytohormone) wurde von Thimann (Pincus und Thimann, 1948) so formuliert: "An organic substance produced naturally in higher plants, controlling growth and other physiological functions at a site remote from its place of production, and active in minute amounts". Für den umfassenden Begriff Wuchsstoff hat Larsen (1955; zitiert in Kull, 1972), folgende Definition gegeben: "Growth Substances are organic compounds which at low concentrations promote, inhibit, or qualitativly modify growth. Their effect does not depend on their caloric value or their content of essential elements". Daraus geht hervor, dass auch wachstumshemmende Substanzen (z.B. Chlorcholinchlorid, CCC)

oder morphoregulatorisch wirkende Stoffe zu den Wuchsstoffen gerechnet werden dürfen (Kull, 1972). Der Begriff "Hormon" wird in der Regel nur für natürliche Pflanzenwuchsstoffe reserviert. Der Begriff "Regulator" hingegen umfasst sowohl synthetische Verbindungen, als auch natürliche Pflanzenwuchsstoffe.

2.2. Gruppen von Pflanzenwachstumsregulatoren und ihre wichtigsten Eigenschaften und Funktionen

Wachstumsregulatoren werden in zwei Gruppen eingeteilt: die natürlichen und die synthetischen Regulatoren.

2.2.1. Die natürlichen Pflanzenhormone

Fünf Gruppen von natürlichen Pflanzenhormonen sind bis heute klar definiert worden: die Auxine, die Gibberelline, die Cytokinine, die Abscisine und das Aethylen.

2.2.1.1. Auxine

Das bekannteste aller Auxine ist ein Indolderivat, die Indol-essigsäure (IAA). Die IAA-Synthese findet vor allem im meristematischen Gewebe der jungen Pflanzenteile statt. Bei den Dikotyledonen ist der Apex die wichtigste IAA-Quelle (Hess, 1979; Linser, 1966). Je nach Konzentration fördert oder hemmt Auxin das Streckungswachstum, fördert die Zellteilung im Kambium, die Wurzelbildung an Geweben, die normalerweise keine Wurzeln bilden (Bildung von Adventiwurzeln und Seitenwurzeln). Die apikale Dominanz sowie Zellteilungen in Gewebekulturen werden ebenfalls gefördert. Ausführliche Literaturzusammenstellungen über Auxin findet man in Audus (1972) und Scheider et al. (1974).

2.2.1.2. Gibberelline

Die Gibberellinsynthese findet hauptsächlich in der Zone der Triebspitze, besonders in den sich entfaltenden jungen Blättern der apikalen Knospe oder in sich entwickelnden Embryos und in Wurzelspitzen statt (Phillips, 1972). Ihre chemische Struktur ist durch den Besitz des Gibbanskelettes charakterisiert. Heute kennt man mehr als 50 Gibberelline. Eine wichtige physiologische Wirkung von Gibberellinen ist die Förderung der Zellteilung und der Zellstreckung bei wachsenden Pflanzenteilen. Die Verlängerung der Internodienlängen bei manchen Zwergmutanten oder bei Pflanzen mit normalem Längenwachstum gilt ebenfalls als typische Gibberellinwirkung. Weiter fördert Gibberellin bei einer Reihe von Arten die Bildung pathenokarper Früchte, die apikale Dominanz, bricht die Samenruhe und die Ruheperiode von Knospen und unterirdischen Speicherorganen. Auch die Blattform und die Blattgrösse werden durch Gibberellin oft beeinflusst. Eine aktuelle Literaturzusammenstellung über Gibberellin findet man in Krishnamoorthy (1975).

2.2.1.3. Cytokinine

Die Wurzel kann als wichtigster Ort der Biosynthese betrachtet werden. Die Förderung der Zellteilung ist ein typischer Effekt von Cytokininen. Weitere bekannte Wirkungen sind: die Brechung der Keimruhe bei Samen; die Förderung des Auswachsens von Knospen (auch Seitenknospen), was die Brechung der apikalen Dominanz zur Folge hat; die Verzögerung der Seneszenz und, wie auch bei anderen Hormonen, durch Genaktivierung, die Förderung der RNA- und Proteinsynthese (Fletcher, 1969).

Eine zusammenfassende Literaturübersicht findet man in Skoog et al. (1970).

2.2.1.4. Abscisine

Bei der Abscisinsäure handelt es sich um ein Terpenoid. Die Biosynthese ist bis heute noch nicht genau abgeklärt. Allgemein wird Abscisinsäure (ABA) als ein ausgeprägter Hemmstoff angesehen. Er spielt oft eine antagonistische Funktion gegenüber anderen Pflanzenregulatoren. Spaltöffnungsbewegungen werden durch ABA entscheidend beeinflusst. Eine zusammenfassende Literaturübersicht findet man in Millborrow (1974).

2.2.1.5. Aethylen

Die Synthese geht bei höheren Pflanzen überwiegend von der Aminosäure Methionin aus. Aethylen spielt eine wichtige Rolle in der Förderung des Blatt- und Fruchtfalles. Ein typischer Effekt von Aethylen ist auch die Förderung der Fruchtreife. Eine zusammenfassende Darstellung der Literatur über Aethylen findet man in Abeles (1973).

2.2.2. Die synthetischen Wachstumsregulatoren

Chemische Verbindungen, die in ihrer Wirkung bekannten natürlichen Pflanzenhormonen ähnlich sind, werden als synthetische Wachstumsregulatoren bezeichnet. Ideal wäre, wenn die synthetischen Verbindungen eine analoge biologische Aktivität wie das natürliche Pflanzenhormon hätten. Von Vorteil wäre ebenfalls, wenn diese Verbindungen eine länger anhaltende Wirkung und eine bessere Blattdurchdringung als die natürlichen Hormone und eine positive wachstumsregulierende Wirkung aufzeigen könnten. Bis heute kennt man eine ganze Zahl von synthetischen Wachstumsregulatoren. Lever (1978) kann jedoch in seinen Betrachtungen über den Einfluss ökonomischer Faktoren auf die zukünftige Entwicklung von Wachstumsregulatoren beim Einsatz im Pflanzenbau keinen synthetischen Wirkstoff nennen, der unter Einbezug wirtschaftlicher Aspekte bei Körnerleguminosen in der Praxis bereits verwendet wird.

2.2.3. Faktoren, welche die Wirkung von Wachstumsregulatoren beeinflussen

Die Wirkung eines exogen applizierten Wachstumsregulators hängt vom Entwicklungszustand der Pflanze und von den vorherrschenden Umweltfaktoren zum Zeitpunkt der Behandlung ab. Einige sind hier erwähnt:

- die applizierte Menge
- die verwendete Konzentration
- die Anzahl der durchgeführten Behandlungen
- die behandelte Pflanzensorte
- die Temperatur
- die Lichtverhältnisse
- die Aufnahme und der Transport in der Pflanze
- der Behandlungszeitpunkt (Entwicklungsstadium der Pflanze)
- der pH des Bodens
- die Aktivität der Wirkstoffe
- die Formulierung des Produktes
- die endogene Hormonkonzentration der behandelten Pflanze

u.a.m.

Es ist ausserdem zu bemerken, dass oft Wechselwirkungen zwischen den Pflanzenhormonen auftreten. Dies kann bei verschiedenen Pflanzengeweben durch die Applizierung eines bestimmten Pflanzenregulators zu ganz verschiedenen Reaktionen führen. Ein Antagonismus oder Synergismus der Wirkung kann dann die Folge sein. Im Verlauf der Entwicklung treten bei den verschiedenen Pflanzengeweben unterschiedliche Hormonkonzentrationen auf, was jeweils wiederum zu unterschiedlichen Reaktionen führen kann. Das Zusammenspiel all dieser Faktoren macht das Verständnis der ganzen hormonellen Regulation komplex und schwierig.

Lawrence (1978) weist darauf hin, dass in Pflanzen das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Hormonen mindestens so wichtig ist wie ihre absolute Konzentration. Günstige Auswirkungen in der Anwendung von Wachstumsregulatoren konnten dabei aus der Applikation von Wachstumsregulatoren-Kombinationen zum gleichen

oder zu einem verschiedenen Zeitpunkt resultieren.

2.3. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf Wachstum und Entwicklungsvorgänge bei Pflanzen

Ueber die Wirkung von Wachstumsregulatoren findet man heute in der Literatur eine so grosse Fülle von Angaben, dass sie kaum mehr zu bewältigen ist. Die folgende Zusammenstellung soll einige für uns wichtige Aspekte herausgreifen. Umfangreichere Literaturangaben findet man in Wilkins (1969), Phillips (1971), Audus (1972), Jung und Schott (1975), Neumann (1975), Pilet (1975), Kefeli (1978), Moore (1979), um nur einige zu nennen.

2.3.1. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf das reproduktive Wachstum

Das reproduktive Wachstum der Samenpflanzen ist die Folge einer Reihe von komplexen Entwicklungsvorgängen: Blühinduktion, Differenzierung, Blütenentwicklung und Fruchtentwicklung. Pflanzenhormone spielen dabei eine wichtige Rolle.

Einfluss von Wachstumsregulatoren auf den Blüten- und Hülsenfall

Eine umfassende Literaturübersicht über das Gebiet des Blüten- und Hülsenfalles bei verschiedenen Kulturpflanzen wurde von Jaquiéry (1977) zusammengestellt.

Allgemein können wir sagen, dass es bei den natürlichen Pflanzenhormonen in Bezug auf den Einfluss auf Blüten- und Hülsenfall zwei Gruppen gibt: in der Regel verhindert die eine den Fruchtfall, während die andere ihn fördert. Zur ersten Gruppe gehören: Auxin, Gibberellin und Cytokinin; zur zweiten: Abscisinsäure und Äthylen.

Nach Untersuchungen von Morgan (1977) wird bei verschiedenen Sorten der Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris* L.) und Gerste (*Hordeum vulgare* L.) die Blütenentwicklung durch die Photoperiode beeinflusst. Offenbar wirkt sich die jeweilige Tages-

länge auf den Hormonspiegel der Blätter und Knospen aus. Bei der Gartenbohne entwickelten sich die Blütenknospen bei Kurztagbedingungen normal, während bei Langtagverhältnissen viele abgestossen wurden. Abscisinsäure förderte dabei den Blütenfall. Kinetin oder 6-Benzylaminopurin (beide gehören zur Gruppe der Cytokinine) konnten hingegen bei den gleichen Bedingungen die Entwicklung der Blütenknospen fördern und den Fruchtfall vermindern.

Untersuchungen von Nesling et al. (1979) bei Phaseolus-Arten haben gezeigt, dass während der Frucht- und Samenentwicklung beträchtliche Mengen von Cytokinin, die in anderen Pflanzenteilen produziert wurden, in die Früchte und Samen gelangen. Dabei wurde eine Konkurrenz um das Cytokinin zwischen den vegetativen und den reproduktiven Pflanzenteilen beobachtet. Verschiedene Autoren stellten fest, dass zwischen der extrahierbaren Cytokinmenge und der Periode der grössten Zellteilungsrate im Embryo eine Korrelation besteht (Burrows und Carr, 1970; Bottomley et al., 1963, zitiert in Nesling, 1979). Adesomoju et al. (1979) geben eine Uebersicht der hormonalen Beziehungen des Fruchtalles bei der Kuherbse (*Vigna unguiculata* L.). Das Fehlen der Wachstumsförderungshormone Auxin, Gibberellin und Cytokinin in Extrakten von zwei Tage alten Früchten und die niedere Konzentration in älteren Früchten könnten die Erklärung für den Fruchtfall sein. Abscisinsäure gilt allgemein als ein stark fruchtfallförderndes Hormon (Davis und Addicott, 1972). Subhadrabandhu et al. (1978) sind hingegen der Meinung, dass ABA bei der Gartenbohne den Fruchtfall nicht reguliere. Der ABA-Gehalt der Hülsen sei wohl positiv mit dem Fruchtgewicht korreliert aber nicht mit der Fruchtgrösse. Zucconi (1975; zitiert in Subhadrabandhu et al., 1978) meint, es sei ein Trugschluss, den Nachweis von ABA in abgefallenen Früchten durchzuführen; man kenne dann nämlich nur das Resultat des Fruchtalles, nicht aber dessen Ursache. Der ABA-Gehalt sollte hingegen während der Trenngewebe-Induktion gemessen werden. Zucconi beweist, dass zwischen dem ABA-Gehalt und der Fruchtfallinduktion von Pfirsich-Früchten eine

negative Korrelation besteht.

Millborow (1974) unterscheidet zwischen Blatt- und Fruchtfall. Während ABA nicht direkt mit dem Blattfall in Zusammenhang zu bringen ist, scheint sie den Fruchtfall doch zu beeinflussen. Als den fruchtfallförderndes Hormon wird ebenfalls Aethylen angesehen. Cooper et al. (1968) zeigen eine Reihe von Möglichkeiten auf, mit welchen man mittels Wachstumsregulatoren die Aethylenproduktion steigern oder herabsetzen kann. Dies wirkt sich dann jeweils in einer Erhöhung bzw. Verminderung des Fruchtalles aus.

Crosby et al. (1978) untersuchten den Einfluss verschiedener Cytokinine auf die Fruchtbildung der Sojabohne (*Glycine max* L. Merr.) und ihre Auswirkungen auf den Ertrag. 6-Benzylaminopurin (BAP) führte bei bestimmten Konzentrationen tendenzmässig zu besserem Fruchtansatz und zu mehr Körnern pro Hülse. Dabei wird angenommen, dass das zugeführte Cytokinin im kritischen Zeitpunkt der Körner- und Hülsenbildung die Konkurrenzkraft der reproduktiven Organe für Nährstoffe gegenüber anderen Pflanzenteilen, z.B. den Wurzeln, erhöht und dass damit der Abfall der Hülsen verhindert werden kann.

2.3.2. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf das vegetative Wachstum

Stengelwachstum

Gibberellin fördert in der Regel das Stengelwachstum durch Zellteilung und Zellstreckung im sub-apikalen Meristem. Die Wirkung von Gibberellinsäure auf das Stengelwachstum in Brian und Hemming (1955; zitiert in Israelstam et al., 1979) beschrieben. Auch Auxin wirkt sich im allgemeinen fördernd auf das Stengelwachstum aus. Den Cytokinin konnten keine eindeutigen Wirkungen im Stengelwachstum nachgewiesen werden. Aethylen und ABA hemmen das Stengelwachstum. Die Anwendung von CCC nach der Bestockung oder kurz vor dem Schossen verursacht bei Getreidepflanzen und besonders bei Weizen eine Stauchung der Internodien und, als Folge daraus, eine bessere Standfestigkeit.

Blattwachstum

Eine klare Aussage über den Einfluss von Pflanzenregulatoren auf das Blattwachstum zu geben, ist schwierig. So wie in anderen Pflanzenteilen spielen auch hier Wachstumsregulatoren eine wichtige Rolle in der Zellteilung und Zelldifferenzierung der Blätter. Allgemein kann man sagen, dass der Auxin- und Gibberellin Gehalt der Blätter mit ihrer Wachstumsrate positiv korreliert ist. Diese Umstände offenbaren, dass Auxin und Gibberellin die Kontrolle des Blattwachstums beeinflussen. Die Blätter sind ein sehr aktives Zentrum für die Produktion von Auxin und Gibberellin. Es bestehen keine Angaben darüber, dass Cytokinine in den Blättern gebildet werden.

Auxin und Gibberellin werden vor allem in den jüngeren Blättern der apikalen Knospe produziert; der Inhibitor Abscisinsäure hingegen wird hauptsächlich in den älteren Blättern synthetisiert und spielt eine Rolle beim Altern und Abfallen der Blätter (Phillips, 1971).

Untersuchungen über den Einfluss von Gibberellin auf das Blattwachstum sind nicht sehr zahlreich. Oft beobachtet man eine Zunahme des Blattgewichtes und der Gesamtblattfläche nach GA-Applikationen, wie das auch Briant (1974) bei jungen Tomatenpflanzen feststellte.

Apikale Dominanz

Eine gute Zusammenstellung über den Problembereich der apikalen Dominanz wurde von Phillips in Wilkins (1969) und von Gehriger (1978) gegeben.

In den meisten Pflanzen haben die apikalen Knospen des Haupttriebes einen hemmenden Einfluss auf das Wachstum der tieferen Achselknospen. Die Stärke der apikalen Dominanz variiert jedoch je nach Pflanzenart. Die Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) und die Ackerbohne besitzen eine starke apikale Dominanz und somit ein starkes Wachstum des Haupttriebes. Die Tomatens- pflanze (*Lycopersicon esculentum* L.) hingegen hat ein eher buschiges Wachstum, was auf eine schwächere apikale Dominanz zurückzuführen ist. Wachstumsregulatoren spielen eine wichtige Rolle in der Kontrolle der apikalen Dominanz. Schon früh erkannte man, dass durch das Entfernen der Triebspitze die Achselknospen zum Austreiben kamen. Die Entdeckung von Auxin ermöglichte ein entscheidendes Weiterkommen beim Verständnis der Gesetze der apikalen Dominanz. Thimann und Skoog (1934) stellten mit Ackerbohnen einen einfachen Versuch an, mit welchem sie die frühere Theorie der apikalen Dominanz revolutionierten. Die beiden Physiologen fanden heraus, dass die Seitenknospen auch dann nicht zum Austreiben kamen, wenn beim Entfernen der Triebspitze Indolelessigsäure (IAA) auf die Schnittfläche des Stengels aufgetragen worden war. Das heißt mit anderen Worten, dass Auxin das Austreiben der Seitenknospen verhindert.

Auxin wirkt als Ersatz für die Funktion der Triebspitze bei der apikalen Dominanz. Heute ist man der Ansicht, dass Auxin indirekt hemmend auf die Seitenknospen wirkt.

Über den Einfluss anderer Wachstumsregulatoren auf die apikale Dominanz findet man unterschiedliche Angaben. Gibberellin soll im allgemeinen die apikale Dominanz verstärken. Wenn man aber Gibberellin an den Wurzeln appliziert, so wird das Wachstum der Seitentriebe ausgelöst (Field et al., 1974). Field kommt zum Schluss, dass das Wachstum der Seitentriebe durch das

Gleichgewicht der drei Hormone Gibberellin, Auxin und Cytokinin kontrolliert wird und dass die apikale Dominanz das Resultat der räumlichen Verschiebung dieses Gleichgewichtes ist. Cytokinine sollen in der Regel die apikale Dominanz brechen, wenn sie auf die Seitenknospen appliziert werden. Ueber die Wirkung der Abscisinsäure und Aethylen in der Kontrolle der apikalen Dominanz ist man sich bis heute nicht im klaren.

Die Bedeutung von TIBA (2,3,5-Trijodbenzoesäure) bei der Unterbindung der apikalen Dominanz durch eine Blockierung des Auxin-Flusses zur Triebspitze ist allgemein bekannt. Panigrahi und Audus (1966) konnten das bei der Ackerbohne gut beweisen. Sie förderten das Austreiben der Seitentriebe, indem sie einen TIBA-enthaltenden Lanolinring am Haupttrieb fixierten. Morris et al. (1973) erhielten ähnliche Resultate bei der Gartenerbse (*Pisum sativum* L.) und King et al. (1967) bei Weizen (*Triticum aestivum* L.). Zahlreiche Arbeiten mit TIBA sind bei der Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.) durchgeführt worden (Bauer et al., 1969; Greer und Anderson, 1965; Ohki und Mc Bride, 1972). Die apikale Dominanz wird dabei in der Regel geschwächt, doch sind die Auswirkungen auf die Ertragskomponenten sehr unterschiedlich.

Wurzelwachstum

Die Kontrolle des Wurzelwachstums durch Wachstumsregulatoren ist leider viel weniger bekannt als zum Beispiel diejenige des Stengels. Eine zusammenfassende Uebersicht findet man in Wareing und Phillips (1978).

Auxine (Leopold et al., 1975) sowie Gibberelline (Carr et al., 1964; Philips et al., 1964; beide zitiert in Boote, 1977) werden zum Teil in den Wurzeln produziert. Auxin fördert das Wurzelwachstum in Setzlingen, während es sonst beeinträchtigend wirkt. Gibberellin beschleunigt im allgemeinen das Stengelwachstum und hemmt das Wurzelwachstum, wobei auch hier die Angaben in der Literatur sehr unterschiedlich sind. Die Wurzeln gelten als wichtigster Produktionsort der Cytokinine.

2.3.3. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf den Transport von Assimilaten

Eine umfassende Literaturübersicht über den Einfluss von Wachstumsregulatoren auf den Assimilatetransport findet man in Wilkins (1969), Aufhammer und Solanski (1972), Solanski (1973), Wareing und Patrik (1975) und Gehriger (1978).

Bis heute ist es immer noch unklar, ob Wachstumsregulatoren den Prozess des Transportes oder der Einlagerung von Assimilaten direkt beeinflussen. Wir stehen deshalb weiterhin vor der Frage:

1. Wirken die Pflanzenhormone auf indirektem Weg, indem sie zum Beispiel das Zellwachstum fördern, und ist es demzufolge möglich, dass ein "sink" durch ein Zellwachstum hergestellt werden kann ?

2. Erzeugen Pflanzenhormone einen "sink", indem sie den Transportprozess direkt beeinflussen ?

Beim Einsatz von Wachstumsregulatoren erhebt sich die Frage, ob und auf welche Weise die Stoffverteilungs- und Speicherungsprozesse während der ganzen Entwicklungsphase einer Pflanze von aussen beeinflusst und kontrolliert werden können. Es wird vermehrt versucht, mit Hilfe von Wachstumsregulatoren die natürlichen Transport- und Speicherungsprozesse in der Pflanze zu verändern (Aufhammer und Solanski, 1972). Ueber die Beeinflussung des Assimilatetransportes durch Auxine, Gibberelline und Cytokinine bestehen zahlreiche Literaturangaben, doch sind bis heute keine eindeutigen Beweise erbracht worden. Bowen und Wareing (1971) untersuchten den Einfluss von Indoleessigsäure (IAA) und von drei weiteren synthetischen Auxinen auf den nach oben gerichteten Transport von ^{32}P -Orthophosphat und von ^{14}C -Saccharose bei geköpften Trieben der Gartenbohne und der Gartenerbse. IAA förderte stark die Einlagerung von ^{32}P -Orthophosphat. Die Einlagerung von ^{14}C -Saccharose erfolgte hingegen nur bei der Gartenbohne. Die

Autoren zögern jedoch zu sagen, IAA habe den Transport dieser Stoffe direkt beeinflusst. Ausserdem führt das Entfernen der Triebspitze an sich zu einer Veränderung des Hormonhaushaltes der Pflanze. Es erhebt sich dadurch die zusätzliche Frage nach dem Einfluss dieser Massnahme.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie Bowen und Wareing kamen Patrik und Wareing (1973) wiederum bei der Gartenbohne. Auch hier konnte nicht mit Sicherheit klargestellt werden, ob das Auxin direkt am Transportprozess im Phloem beteiligt sei, oder ob es den Transport indirekt anrege, indem es den Vorrat oder die Nachfrage von Metaboliten ändert. Untersuchungen von Patrik und Wareing (1970, 1976) deuten darauf hin, dass Auxin nicht in dem Sinne wirkt, dass es die "sink"-Stärke am Behandlungsort aktiviert.

Auch von Cytokininen nimmt man an, sie könnten den Assimilatespeicherungsprozess beeinflussen. Aufhammer und Solanski (1972) stellten jedoch in Versuchen mit Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.) keine Attraktionswirkung bei den mit Kinetin behandelten Aehren fest. Ein Abtransport von ^{14}C -markierten Assimilaten zum mit Kinetin behandelten Ort (Blatt) fand nicht statt. Ein später von Aufhammer und Solanski (1976) durchgeführter Versuch zeigte jedoch, dass die Behandlung der ganzen Aehre mit Kinetin bei der Sommergerstensorte Emir das Assimilateattraktionsvermögen der Aehre förderte. Es liess sich dabei eine Anhebung der Photosyntheserate des Fahnenblattes beobachten. Das Tausendkorngewicht und der Aehrenertrag wurden erhöht. Parzellenversuche im Freiland mit den gleichen Verfahren zeigten jedoch keine nachweisbaren Ertragszunahmen.

Mit den Wachstumsregulatoren IAA, Gibberellin und Kinetin, allein oder in Kombination, versuchte Wagner (1974) die Assimilateverlagerung bei Gerste zu beeinflussen. Gibberellin begünstigte dabei die Einlagerung von Assimilaten. Den Einfluss von Gibberellin auf den Transportprozess in den Stengeln der Gartenbohne haben Mulligan und Patrik (1979) untersucht. Gibberellin förderte den Transport von Assimilaten

zum Behandlungsort hin. Diese Förderung des Transportes erfolgte aber ohne jegliche Veränderung der Photosyntheserate oder Transportrate aus den Blättern.

Ein weiterer Aspekt der Beeinflussung von Transportprozessen durch Wachstumsregulatoren resultiert aus der Möglichkeit eines synergistischen Einflusses zwischen den verschiedenen Wirkstoffen. Seth und Wareing (1964) beobachteten, dass bei Bohnen ein Synergismus in der Wirkung von IAA, GA und Kinetin im Transportprozess besteht.

Die heute am meisten verbreitete Meinung über den Einfluss von Pflanzenregulatoren auf den Transportprozess ist immer noch die, dass Regulatoren indirekt wirken, indem sie den Verbrauch von Metaboliten am Behandlungsort steigern (Seth und Wareing, 1967).

2.3.4. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf die Photosynthese

In der folgenden Zusammenstellung soll gezeigt werden, wie unterschiedlich die Angaben über die Wirkung von Wachstumsregulatoren auf die Regulierung der Photosynthese sind. Den Pflanzenhormonen Gibberellin (Treharne et al., 1970), Auxin (Turner und Bidwell, 1965) und Cytokinin (Wareing et al., 1968; Adepape et al., 1971) wird eine Beeinflussung der Photosynthese zugeschrieben. Wirkungen von Cytokinin auf den CO_2 -Diffusionswiderstand (Wareing et al., 1968), sowie auf die Aktivität der Chloroplasten in den Blättern (Maass und Klambt, 1977) wurden nach der Applikation dieses Hormons bei Pflanzen beobachtet. Gibberelline fördern die Enzymaktivität der Ribulose-1.5-diphosphat-carboxylase in den Blättern von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) (Treharne und Stoddart, 1968) und Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris* L.) (Fletcher, 1969); Abscisinsäure reguliert die Aktivität der Spaltöffnungen bei Reben (*Vitis vinifera* L.) (Loveys und Kriedemann, 1974). Es stellt sich aber die Frage, in welcher Weise Pflanzenhormone auf die Aktivität der Photosynthese wirken können. Handelt es sich dabei um eine direkte oder um eine indirekte

Einwirkung auf diesen Prozess ? Sind die Spaltöffnungen oder die Chloroplasten der limitierende Faktor, und werden diese selektiv beeinflusst ? Wirken die Pflanzenhormone auf die Entwicklung des Photosyntheseapparates, auf die Enzymsynthese oder die Enzymaktivität, und wirken die verschiedenen Hormongruppen in ähnlicher oder verschiedener Art und Weise ? Bis heute sind diese Fragen unbeantwortet geblieben.

Von Gibberellinsäure verspricht man sich die besten Chancen für eine mögliche Erhöhung der Photosynthese. Diese Annahme ist auch naheliegend, denn bis 60% des Gibberellin-Gehaltes der Blätter ist in den Chloroplasten (Ort der Photosynthese) vorzufinden (Stoddart, 1968). Eine Blattapplikation von Gibberellinsäure bei Tomatenpflanzen (*Lycopersicon esculentum* L.) führte zu einer Steigerung der Photosyntheserate (Coulombe und Paquin, 1959). Treharne und Stoddart (1968) berichten, dass Gibberellinsäure-Applikationen bei Rotklee die Aktivität der Ribulose-1.5-diphosphat-carboxylase (ein wichtiges Enzym bei der photosynthetischen CO_2 -Fixierung) und damit auch die Photosyntheserate erhöhten. Eine Anhebung der Enzymsynthese durch Gibberellin in den Plastiden hat dabei nicht stattgefunden. Die Rate der apparenten Photosynthese bei der Gartenerbse wurde durch Zugaben von GA_3 -Lösungen in Töpfen deutlich gesteigert (Poskuta et al, 1975). Blattapplikationen von GA_3 bei Reispflanzen konnten die photosynthetische CO_2 -Fixierung zwischen 14 und 33% steigern (Chatterjee et al., 1976). Gibberellinsäure-Applikationen bei Apfelbäumen und bei der Gartenbohne haben eine Zunahme der apparenten Photosynthese bewirkt (Marcelle und Oben, 1973). Bidwell und Turner (1966) konnten keinen Einfluss von Blattapplikationen mit GA_3 auf die Photosyntheserate bei der Gartenbohne beobachten. Haber und Tolbert (1957) haben bei Haferpflanzen keine Zunahme der Fixierungsrate von CO_2 pro Einheit Blattfläche nach GA_3 -Applikationen festgestellt. Carmi und Koller (1976) versuchten die Regulierung der Photosyntheserate in Blättern der Gartenbohne durch Behandlung mit Gibberellin und Indolelessigsäure zu untersuchen. Weder Gibberellin

noch Indolelessigsäure vermochten die Photosynthese- und die Netto-assimilationsrate signifikant zu steigern. Nowakowski (1978) untersuchte den Einfluss von Gibberellinsäure bei Roggen (*Secale cereale* L.). Gibberellinsäure verursachte dabei eine Abnahme der Photosyntheserate und eine Zunahme der Respirationsrate der Blätter. Blattapplikationen von Gibberellinsäure zu Luzerne-Pflanzen (*Medicago sativa* L.) haben die Photosyntheserate, sowie die Respiration signifikant verkleinert (Cole et al., 1972). Treharne et al. (1971) gehen bei der Erklärung der jeweiligen Erhöhung oder Verminderung der Photosyntheserate von der Annahme aus, dass das auf das Blatt applizierte Gibberellin die Photosyntheserate fördert, wenn der endogene Gibberellin-Spiegel tief ist, dass es sie dagegen herabsetzt, wenn der Gibberellin-Spiegel hoch ist.

Nach Raschke (1976) hat ABA keinen direkten Einfluss auf den Photosyntheseapparat. Phaseinsäure (ein Metabolit der ABA) hemmt in starkem Ausmass die Photosynthese, wenn sie in höherer als 10^{-5} M Konzentration vorkommt. Dies soll besonders einige Stunden oder Tage nach einer Stresssituation eintreten. Die obengenannten Tendenzen deuten eine Beeinflussung der Photosynthese durch Pflanzenhormone an. Intensivere Untersuchungen über die Wirkungsweise von Wachstumsregulatoren bezüglich dieses wichtigen Prozesses werden eine Priorität für weitere Studien auf diesem Gebiet sein.

2.3.5. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf den Ertrag und die Ertragskomponenten

Bis heute haben Wachstumsregulatoren nur einen relativ bescheidenen Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis gefunden. Die Beeinflussung von Ertrag und Ertragskomponenten mit Hilfe von Wachstumsregulatoren ist schon oft versucht worden (Weaver, 1972; Stutte, 1977). Die Resultate sind unterschiedlich, sogar widersprüchlich. Zu den bis heute bekanntesten Einsatzmöglichkeiten von solchen Präparaten sind zu erwähnen: CCC als Halmverkürzungsmittel im Getreidebau; der Einsatz von Naphtylacetamid im Obstbau zur Verbesserung des Fruchtansatzes und gegen

vorzeitigen Fruchtfall; die Anwendung von Gibberellinsäure zur Verbesserung der Fruchtgrösse und Qualität von kernlosen Trauben in Kalifornien.

Eine Zusammenstellung über die Einsatzmöglichkeiten von Wachstumsregulatoren bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen findet man in Unger (1972, 76), Keller und Bellucci (1979), Ruge (1978), Wittwer (1971) und Luckwill (1976).

2.4. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf Wachstum und Entwicklungsvorgänge bei der Ackerbohne

Eine Literaturübersicht über die Wirkungen von Wachstumsregulatoren bei der Ackerbohne findet man in Brouwer und v. Kittlitz (1976).

2.4.1. Transport von Wachstumsregulatoren in der Ackerbohne

Zahlreiche Untersuchungen über den endogenen Hormonhaushalt der Ackerbohne, sowie dessen Beeinflussung wurden in den letzten Jahren durchgeführt. Gut bekannt ist der Auxintransport. Bonnemain (1971) untersuchte den Transport und die Verteilung von Indolelessigsäure (IAA), die man auf junge Blätter auftrug. Wenn das exogene Auxin aus älteren Blättern abtransportiert wird, so erfolgt der Transport im Phloem, während der Transport aus jüngeren Blättern (etwa 2 cm lang) im kambialen Bereich stattfindet. Die Transportgeschwindigkeit ist verschieden; bei älteren Blättern beträgt sie etwa 16 cm/Stunde, bei jüngeren Blättern 1 cm/Stunde. Bourbouloux et al. (1973) nennen als bevorzugten Transportweg für IAA den Gefässbündelring im Stengel. Bourbouloux und Bonnemain (1974) untersuchten den Transport von Auxin zu den Wurzeln. Die Experimente ergaben, dass sich zwei Drittel des Auxins im Zentralzylinder bewegten.

El-Beltagy und Hall (1974) untersuchten den Einfluss von Wasserstress auf den Aethylengehalt der Ackerbohne. Eine Trockenperiode oder ein Wasserüberschuss verursachten dabei eine starke Zunahme der endogenen Aethylenkonzentration in der ganzen Pflanze. Die höhere Aethylenkonzentration war mit einer Wachstumsverlangsa-

mung, mit einem Alterungsprozess sowie einem grösseren Blatt- und Blütenfall korreliert.

Die Bedeutung der Bewegung und Verteilung von Aethylen wurde von Zeroni et al. (1977) untersucht. Die Schlussfolgerung war, dass Aethylen nicht in physiologisch bedeutenden Mengen diffundiert.

Henson und Wheeler (1976) untersuchten die qualitative und quantitative Verteilung von Cytokininen (in den Knöllchenbakterien) bei *Vicia faba* L.. In den Knöllchenbakterien und in den Blättern wurden hohe Cytokinin-Gehalte festgestellt, während Wurzeln und Stengel viel geringere Werte aufwiesen. Der Cytokiningehalt in den Knöllchenbakterien war zwölf- bis dreizehnmal höher als in den Wurzeln. Es ist denkbar, dass das Knöllchenbakterien-Cytokinin die Physiologie der Pflanze beeinflusst. Der hohe Cytokiningehalt in den Blättern könnte nach Kende (1971) durch Zufuhr aus den Wurzeln über den Transpirations-Strom zustande kommen. Verschiedene Autoren konnten eine Wirkung der Cytokinine auf die Chloroplastenentwicklung und die Chlorophyllsynthese nachweisen (Adepape et al., 1971; Farineau und Rousseaux, 1975; beide zitiert in Henson und Wheeler, 1976).

2.4.2. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf den Blüten- und Hülsenfall bei der Ackerbohne

Der Blüten- und Hülsenfall ist möglicherweise eine der Ursachen für die Ertragsunsicherheit und die Ertragsschwankungen bei der Ackerbohne (Keller, 1974). Die Pflanzenphysiologen und die Pflanzenzüchter beschäftigen sich seit langer Zeit mit diesem Problem. Aufgrund der gegenwärtigen Kenntnisse darf man annehmen, dass die Blüten in einem hohen Ausmass befruchtet werden. Bekanntlich spielt die Wasserversorgung, besonders gegen Ende der Blütezeit, für die Ertragsbildung der Ackerbohne eine sehr wichtige Rolle. Mangel oder Ueberfluss können die Ursache für Blüten- und Hülsenfall sein

(Crebert, 1929; Brouwer, 1949; Kambal, 1969, 70; Marti, 1976; alle zitiert in Gehriger, 1978).

Jaquiéry (1977) fand als weitere mögliche Ursache einen durch die Konkurrenz zwischen vegetativem und reproduktivem Wachstum bedingten Mangel an Assimilaten.

Sehr wahrscheinlich ist das hormonale Gleichgewicht für die Kontrolle des Blüten- und Hülsenfalles der Ackerbohne von Bedeutung. Für die Regulierung des Fruchtfalles ist offenbar das Äthylen besonders wichtig. Untersuchungen von El-Beltagy und Hall (1975) haben gezeigt, dass eine endogene Zunahme des Äthylen-Gehaltes gut mit dem Zeitpunkt des Blüten- und Hülsenfalles korreliert war. El-Antably (1976) beschäftigte sich ebenfalls mit dem Fruchtfall und erforschte den Einfluss von CCC auf den Gehalt an endogenem Auxin, Abscisin, Gibberellin und Cytokinin. CCC verminderte dabei schwach den Fruchtfall. Der Abscisin-Gehalt stieg während des Fruchtfalles, der Auxin-Spiegel hingegen nahm stark ab. Der endogene Hormonspiegel variiert je nach Entwicklungsstadium der Pflanze und verändert sich je nach Applikationszeitpunkt von exogenen Regulatoren unterschiedlich. Wurde CCC früh appliziert (eine Woche vor der Blüte), so nahm der ABA-Gehalt vor und während der Blütezeit zu, während des Fruchtfalles hingegen nahm er ab. Auxin zeigte in denselben Versuchen eine starke Zunahme vor und während des Fruchtfalles. In einem anderen Experiment untersuchten die Autoren den Einfluss von CCC auf den endogenen Gibberellin- und Cytokinin-Gehalt. Gibberellin war vor und hauptsächlich während der Blüte in grossen Konzentrationen vorhanden, während des Fruchtfalles hingegen verschwand der Gibberellin-Gehalt gänzlich. Die CCC-Behandlung vor der Blüte steigerte den Gibberellin-Gehalt der Pflanze um das Fünffache gegenüber der Kontrolle. Eine zweite Behandlung während der Blüte hingegen reduzierte den Gibberellin-Spiegel, verglichen mit unbehandelten Pflanzen, um die Hälfte. Während des Fruchtfalles nahm, als Folge der CCC-Behandlung, der Gibberellin-Gehalt, verglichen mit den Kontrollpflanzen, wieder um das Doppelte zu. Der Cytokinin-Spiegel stieg vor

und während der Blüte und während des Fruchtfalles. Aus seinen Untersuchungen schliesst der Autor, dass das Steigen des endogenen Spiegels der Wachstumsförderungs-hormone Auxine, Gibberelline und Cytokinine die Verminderung des Fruchtfalles bedingt. Diese könnten genügen, um dem hohen ABA-Gehalt während dieser Zeitdauer entgegenzuwirken und somit den Frucht-fall zu verringern.

El-Beltagy et al. (1979) arbeiteten in Topfversuchen mit Indol-Buttersäure (IBA), CCC und Alar in verschiedenen Konzen-trationen und viermaliger Anwendung im Abstand von 20 Tagen mit der ersten Applikation vor Eintritt der Blüte. Alle drei Wirk-stoffe führten zu einer stärkeren Blütenbildung, entscheidend war jedoch die Beeinflussung des Hülsenfalles, der bei Indol-Buttersäure hoch, bei Alar und besonders bei CCC dagegen gering war.

2.4.3. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf das Wachstum und den Ertragsaufbau der Ackerbohne

Herzog (1978) untersuchte die Assimilationsleistung und die Kältetoleranz der Ackerbohne. Dabei verursachten induktive Bedingungen (Kurztag = 8 h, 5° C), sowie Abscisinsäure-Behandlungen eine Drosselung der Assimilation und führten zu einer Abnahme der Photosyntheserate und der Trockenmasse der Blätter. In einer weiteren Arbeit wies Herzog (1979) nach viermaliger Applikation von 50 ppm ABA im 1-3 Blattstadium eine Zunahme der Frostresistenz nach. GA hingegen setzte die Frostresistenz herab, während die Wirkung von CCC derjenigen von ABA ähnlich war.

Zivuchina (1967; zitiert in Unger, 1976) berichtet von einer Steigerung der Photosynthese und der Trockensubstanzproduktion nach einer Gibberellinsäure-Behandlung, wenn die Pflanzen aus-reichend mit Wasser versorgt sind.

Geranmayeh (1964) konnte die Knöllchenbildung durch Behand-lungen von Wurzeln und Blatt mit 2,4-D stimulieren. Die Trockensubstanzproduktion der oberirdischen Pflanzenteile

wurde dabei herabgesetzt, während die Masse der unterirdischen Teile wuchs. Behandlungen von jungen Pflanzen mit Indol-essigsäure oder Naphtylessigsäure (NAA) bewirkten eine Abnahme des Trockengewichtes des Stengels (Youssef et al., 1972). NAA verminderte dabei das Sprosslängenwachstum. Indolessigsäure hatte hingegen keinen Einfluss auf das Längenwachstum. Beide Regulatoren verzögerten die Blütenbildung. Hegazy et al. (1972) erhielten ebenfalls eine Abnahme der Pflanzenhöhe und der Trockensubstanzproduktion nach einer Kinetinbehandlung von 15-Tag alten Pflanzen. Auch die Blütenbildung wurde verlangsamt. Der Einfluss von Gibberellinsäure auf das Wachstum der Ackerbohne wurde in mehrjährigen Versuchen von Avetisyan (1968) erforscht. Die Auswirkungen von Gibberellinsäure-Applikationen zur Zeit der Bestockung auf die ober- und unterirdische Trockenmasse waren sehr unterschiedlich, je nach Sorte und Versorgung mit Haupt- und Spurenelementen. Die besten Resultate erzielte Avetisyan beim Vorhandensein des Mikronährstoffes Molybdän. Offenbar können Mikro- und Makronährstoffe bei Wachstumsregulatoren Interaktionen hervorrufen. Im Jahre 1962 hatte beispielweise Gibberellinsäure keinen Einfluss auf die Trockensubstanzproduktion der Stengel; die Wurzel-Trockensubstanz wurde herabgesetzt und die Zahl der Knöllchen verkleinert. Die Blüten- und Hülsenzahl war ebenfalls geringer, was zu einer Ertragsabnahme führte. Im Jahre 1965 steigerte Gibberellinsäure die Trockensubstanzproduktion der oberirdischen Pflanzenteile bis zu 21% und diejenige der Wurzel bis zu 12%. Die Zahl der Knöllchenbakterien wurde positiv beeinflusst.

Eine Erhöhung des Ertrags der Ackerbohne durch Wachstumsregulatoren wurde schon öfters versucht. Mc Ewen (1970, 1973) prüfte im 4-Blattstadium mehrere Regulatoren auf eine Verbesserung der Ertragsstruktur hin, ohne dabei brauchbare Resultate zu erhalten. Die besten Ergebnisse erzielte er jedoch mit Alar im Jahre 1971, wo er eine Ertragssteigerung von 28% gegenüber unbehandelten Pflanzen erreichte. Mc Ewen ist der Ansicht, dass die Wirkung von Wachstumsregulatoren von

Jahr zu Jahr so wechselhaft sei und dass eine eingehende Abklärung der physiologischen Grundlagen notwendig ist.

Hassib (1971) untersuchte den Einfluss von Indolbuttersäure (IBA) und Maleinhydrazid auf die Ertragsstruktur der Ackerbohne. Er weigerte sich dabei, Schlüsse zu ziehen, da die Streuung in den zweijährigen Feldversuchen und die unterschiedlichen Umweltbedingungen von Jahr zu Jahr zu gross seien. Die besten Effekte erreichte er mit einer Behandlung von Indolbuttersäure. Die Hülsenzahl, die Körnerzahl pro Hülse und das Korngewicht wurden erhöht. El-Antably (1970) konnte mit CCC-Behandlungen den Ertrag nicht signifikant steigern. El-Fouly et al. (1975) prüften CCC unter Feldbedingungen. Kein Anwendungszeitpunkt und keine gewählte Konzentration konnten das Wachstum und den Ertrag beeinflussen. Durch Anwendungen von Ethephon (ein Aethylen-generator) bei der Ackerbohne reduzierten El-Beltagy et al. (1976) das vegetative Wachstum und steigerten den Blüten- und Hülsenfall. Mit dem Morphaktin "IT-3456" erzielte Smolinski (1976) negative Effekte auf die Ertragsstruktur. Durch Einlegen von Ackerbohnsamen in Lösungen von Indolessigsäure, Naphtylelessigsäure und Gibberellinsäure konnten Said et al. (1966) keine ausgeprägte Ertragssteigerung erreichen. Mit 2,4-D Konzentrationen von 2,5 ppm während der Blütezeit gelang El-Beheidi und Gomaa (1975) eine Erhöhung des Ertrages. Die Hülsen- und Körnerzahl sowie das Korngewicht wurden durch Behandlungen mit IAA und NAA herabgesetzt (Youssef et al., 1972). Kinetin verursachte ebenfalls eine Abnahme der Hülsenzahl und des Korngewichtes (Hegazy et al., 1972).

2.5. Bedeutung des Ernte-Indexes (Harvest-Index)

Ein für den Physiologen, Pflanzenzüchter und Agronomen wichtiges Mass, die Ertragseffizienz einer Pflanze zu quantifizieren, ist durch den Ernte-Index (Harvest-Index) gegeben. Der Ernte-Index ist das Verhältnis zwischen dem Körnerertrag und dem gesamten biologischen Ertrag der Pflanze (Donald, 1962), und zeigt, zu welchen Anteilen die Photosyntheseprodukte in den verschiedenen Pflanzenteilen enthalten sind. Dieses Mass kann je nach Kulturpflanze stark variieren (Singh und Stoskopf, 1971; Zelitch, 1975). Im allgemeinen ist man der Ansicht, dass zuviele Assimilate in den vegetativen Pflanzenteilen und zuwenige in den reproduktiven eingelagert werden. Singh und Stoskopf (1971) fanden eine positive Korrelation zwischen dem Ernte-Index und dem Körnerertrag bei Weizen. Aus pflanzenphysiologischer und pflanzenzüchterischer Sicht gehört daher die Erhöhung des Ernte-Indexes zu den wichtigen Zielsetzungen, was von Jain et al. (1979) unterstützt wird. Buzzel und BATTERY (1977) haben hingegen bei Sojabohnen festgestellt, dass der Körnerertrag mit dem Ernte-Index negativ korreliert war. Johnson und Major (1979) beobachteten bei der Sojabohne, dass bei Vermehrung der Gesamt-Trockensubstanz der Körnerertrag proportional gesteigert wurde, während der Ernte-Index unverändert blieb. Sie weisen darauf hin, dass man bei der Sojabohne die Selektion eines höheren Ernte-Indexes nur bei Sorten gleicher Reifegruppe und gleichen Saatdatums vornehmen sollte.

2.6. Zur Auswahl der Wachstumsregulatoren

In der Literatur findet man eine grosse Zahl von Wachstumsregulatoren, mit denen man versucht Ertragssteigerungen bei Kulturpflanzen zu erzielen. Es ist schwierig, eine Auswahl zu treffen. Bei der Ackerbohne wurden bis jetzt nur wenige Experimente mit Pflanzenregulatoren im Hinblick auf Ertragssteigerungen angestellt. Wir mussten uns deshalb auf Ergebnisse bei anderen Körnerleguminosen (Sojabohne, Gartenbohne, Gartenerbse) oder auf andere Kulturpflanzen (Weizen, Mais u.s.w.) abstützen.

Die Auswahl der Wachstumsregulatoren wurde anhand von Literaturangaben nach den folgenden Kriterien getroffen:

- Verbesserung der Ertragskomponenten und des Ertrages
- Beeinflussung des Assimilatetransportes
- Brechung der apikalen Dominanz
- Verhinderung des Blüten- und Hülsenfalles
- Steigerung der Photosyntheserate
- Bisherige positive Resultate mit Wachstumsregulatoren bei der Ackerbohne.

Kurzbeschreibung der Wirkung der einzelnen Wirkstoffe:

1. ABA

- ABA induziert bei Blättern, aber nicht bei den Früchten (Hülsen), die Aethylenproduktion und fördert den Fruchtfall nicht (Cooper et al., 1968).

2. Gibberellinsäure

- Gibberellinsäure wird im Obstbau verwendet, um eine Verbesserung des Fruchtansatzes zu erzielen.
- Aus Untersuchungen von Cooper et al. (1968) geht hervor, dass Gibberellinsäure die Aethylenproduktion bei Früchten nicht fördert und dass sie keine Förderung des Frucht-

falles bewirkt.

- Gegenüber anderen Wirkstoffen zeigte Gibberellinsäure bei der Gerste eine bevorzugte Wirkung beim Transport von Photosyntheseprodukten (Wagner, 1974).
- Zivuchina (1967; zitiert in Unger, 1976) berichtet von einer Steigerung der Photosyntheserate und der Trockensubstanzproduktion bei Ackerbohnen durch Gibberellinsäure.

3. Naphtylacetamid

- Als Ersatz für Auxin (Indolderivate). Indolderivate sind lichtempfindlich.
- Positive Resultate bei Ackerbohnen wurden von Hassib (1971) mit Indolbuttersäure (IBA) erzielt. Er erwirkte damit eine Zunahme der Hülsenzahl pro Pflanze.
- Naphtylacetamid wird im Obstbau viel verwendet, um eine Fruchtausdünnung zu erreichen.

4. Kinetin

- Nach Versuchen bei Gerste (Mothes et al., 1959; Gunning und Barkley, 1963; Allinger et al., 1969; alle zitiert in Aufhammer und Solanski, 1972) zeigen sich interessante Möglichkeiten bei der Veränderung der natürlichen Transport- und Speicherungsprozesse in der Pflanze mit Hilfe von Cytokinin. Dabei wird die "sink"-Kapazität beeinflusst, was zu Retentions- sowie Attraktionswirkungen führt (Aufhammer und Solanski, 1972).
- In Organen, die mit synthetischen Cytokinin (Kinetin) behandelt wurden, konnte, ebenfalls bei Gerste, eine Akkumulation von Assimilaten nachgewiesen werden (Gunning und Barkley, 1963; zitiert in Aufhammer und Solanski, 1972). Das Tausendkorngewicht wurde erhöht.

5. TIBA

- Bei Sojabohnen sollen TIBA-Applikationen durch eine Hemmung des vegetativen Wachstums eine verfrühte Blühinduktion, eine Erhöhung des Fruchtansatzes sowie Reifebeschleunigung zu Ertragssteigerungen geführt haben (Anderson, 1968).
- Allgemein ist TIBA für die Schwächung der apikalen Dominanz bekannt.
- TIBA bewirkte signifikante Ertragssteigerungen bei der Gartenbohne (Campbell et al., 1974).

6. Fruitone

- Erzielte im Obstbau gute Erfolge gegen Fruchtfall und könnte zu ähnlichen positiven Resultaten bei der Ackerbohne führen (Hurter, pers. Mitteilung, 1977).

7. Atrinal

- Schwächt die apikale Dominanz
- Noch nie bei Ackerbohnen angewandt.

8. RO 10-3362

- Wirkstoff noch nie bei Ackerbohnen eingesetzt.
- Verursachte 20% Ertragssteigerungen bei Sojabohnen in Feldversuchen der Firma Maag.

9. Alar

- Die von Mc Ewen (1973, 75)geprüften Wachstumsregulatoren bei Ackerbohnen zeigten ausser Alar keine positiven Ergebnisse.

10. NC-9634

- Schwächt die apikale Dominanz
- Noch nie bei Ackerbohnen angewandt.

3. ALLGEMEINE VERSUCHSMETHODIK

3.1. Applikationsmethode der Wachstumsregulatoren

Wir applizierten die Wachstumsregulatoren mit einem Pressluft-Spritzgerät. Der Spritzdruck betrug bei allen Versuchen 2.5 Atmosphären. Dabei setzten wir eine Hohlkegeldüse mit einer Bohrung von 1.0 mm ein. Die Regulatoren wurden im "run-off"-System (Besprühen der Pflanze bis zum Abtropfen) appliziert. Allen Wachstumsregulatoren mischten wir das Netzmittel "Tween-20" in einer 0.2%-igen Konzentration sowie entionisiertes Wasser bei. Um eine Abtrift der Spritzlösung zu verhindern, schützten wir die zu behandelnde Parzelle mit vier Wänden aus Kunststoff.

3.2. Saatmethode und Sorte

Die Saat wurde in jedem Jahr mit einer pneumatischen Einzelkornsämaschine vom Typ "Nodet" durchgeführt. Dieser Maschinentyp ermöglicht eine genaue und gleichmässige Saat, welche bei Körnerleguminosen besonders wichtig ist. Die Saatmenge belief sich jeweils auf etwa 1.2 kg pro Are. Die Körner wurden auf eine Tiefe von ca. 8 cm abgelegt. Wir stellten den Reihenabstand immer auf 50 cm ein, den Abstand in der Reihe auf 7 cm. Die Bestandesdichte betrug ca. 28 Pflanzen pro m². Diese Standortverhältnisse ermöglichen die Untersuchung von Einzelpflanzen im Feldbestand. Wir teilten die Parzellen erst nach Aufbruch der Pflanzen durch Aushacken der Wege ein. Das Pflügen erfolgte immer im Herbst. Im Frühjahr bereiteten wir die Saatbeete durch zweimaliges Eggen des Versuchsfeldes vor. Für alle Versuche benützten wir die in der Schweiz am besten bekannte Sorte "Herz-Freya". Das Saatgut stammte aus dem Handel. In Vorversuchen wurde immer eine gute Keimfähigkeit (über 90%) festgestellt.

3.3. Düngung

Im ersten Versuchsjahr (Herbst 76) streuten wir eine mittlere Mistmenge. Die Grunddüngung wurde immer bereits während des Winters wie folgt vorgenommen:

- 80 kg/ha P_2O_5 in Form von Thomasmehl (18%)
- 150 kg/ha K_2O in Form von Kalisalz (60%)

Mineralischer Stickstoff wurde nicht gegeben.

3.4. Pflege und Schädlingsbekämpfung

Gleich nach der Saat führten wir eine chemische Vorauf-
Unkrautbekämpfung durch, in den Jahren 1977 und 1978 auf der
Basis von 3 kg/ha Methabenzthiazuron, während wir im Jahre
1979 das Wirkstoffgemisch Terbutylazin + Terbutrin mit einer
Präparatmenge von 2 kg/ha verwendeten. Die Spätverunkrautung
wurde von Hand entfernt.

Der schwache Befall mit Blattläusen im Jahr 1977 erforderte
nur eine Behandlung mit Kontakt-Insektiziden an vereinzelt
Stellen der Randparzellen. Im Sommer 1978 und 1979 wurden
mehrere Blattläusebekämpfungen mit Kontakt-Insektiziden not-
wendig. Zum Schutz der jungen Pflanzen vor Schneckenfrass
streuten wir Schneckenkörner.

3.5. Erhebungen in der vegetativen und reproduktiven Entwicklungsphase sowie Ernteerhebungen

Bonitierungen der vegetativen Entwicklungsstadien

Als Ein-Blattstadium bezeichneten wir denjenigen Zeitpunkt, zu
welchem das erste Blattpaar voll entfaltet war. Die Nieder-
blätter wurden nicht mitgezählt.

Wir bestimmten die Pflanzenlänge durch die Länge des Haupttriebes, gemessen als Abstand zwischen der Bodenoberfläche und dem obersten Endblatt.

Die Internodienlänge ist der Abstand von einer Blattverzweigung zur nächsthöheren.

Die Internodiendicke ist die Dicke des Haupttriebes, gemessen zwischen zwei Blattverzweigungen. Eine Schublehre diente dabei als Messinstrument.

Internodiennumerierung: in den graphischen Darstellungen bezeichneten wir denjenigen Stengelteil des Haupttriebes, der über dem ersten Blattpaar liegt, als Internodium Nr. 1.

Die Blattfläche ermittelten wir mit Hilfe eines Blattflächenmessgerätes "Lambda automatic leaf aerea meter".

Das spezifische Blattgewicht ist als mg Trockensubstanz pro cm^2 angegeben.

Wurzelgewicht: der Hauptwurzelkörper wurde mit einem Spaten möglichst gleichmässig ausgestochen. Es ist uns bewusst, dass wir dabei nicht den ganzen Wurzelkörper erfassen konnten. Wir trennten den Wurzelkörper vom Stengel, wuschen, trockneten und wogen ihn. Die verhältnismässig kleine Streuung ermöglichte eine vorsichtige Interpretation.

Blätter-, Stengel-, Früchte- und Wurzel-Trockensubstanzerträge wurden immer mit der Trockenschrankmethode bestimmt (Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz).

Die Bestimmung des Korn-Trockensubstanzertrages erfolgte ebenfalls mit Hilfe der Trockenschrankmethode (Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz).

Ernte-Index (Harvest-Index) = Korn-Trockensubstanz/ gesamte Pflanzen-Trockensubstanz. In dieser Arbeit wurde der Ernte-Index immer mit der Wurzel-TS berechnet.

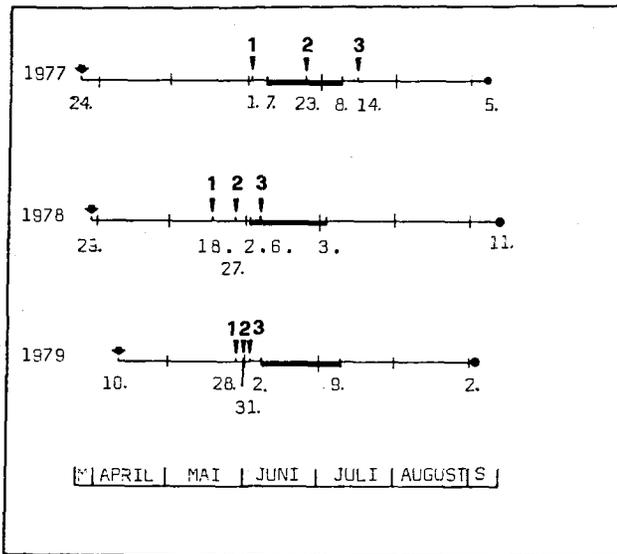
Als Blühbeginn bezeichneten wir das Erscheinen der weissen Blütenspitzen (mindestens 50% der Pfl. mit einer oder mehr Blüten).

Erhebungen während der Blüten- und Hülsenbildung

Da während der Vegetationsperiode der Zeitpunkt der Befruchtung schwierig zu bestimmen ist, entschlossen wir uns, keinen Unterschied zwischen Blüte und Hülse zu machen und beides als Frucht zu bezeichnen.

In Figur 1 sind die Vegetationsperioden für die drei Versuchsjahre dargestellt.

Figur 1 Die Vegetationsperioden für die drei Feldversuchsjahre 1977 bis 1979



- ◆ Saatdatum
- ! Anwendungszeitpunkt
- Blühdauer
- Erntedatum

3.6. Statistische Verarbeitung der Versuchsdaten

Die Varianzanalysen, Korrelations- und Regressionsrechnungen erfolgten nach Angaben von Linder (1969). Die rechnerische Bearbeitung konnte zum Teil am Rechenzentrum der ETH mit Programmen, die am Institut für Pflanzenbau vorliegen, durchgeführt werden.

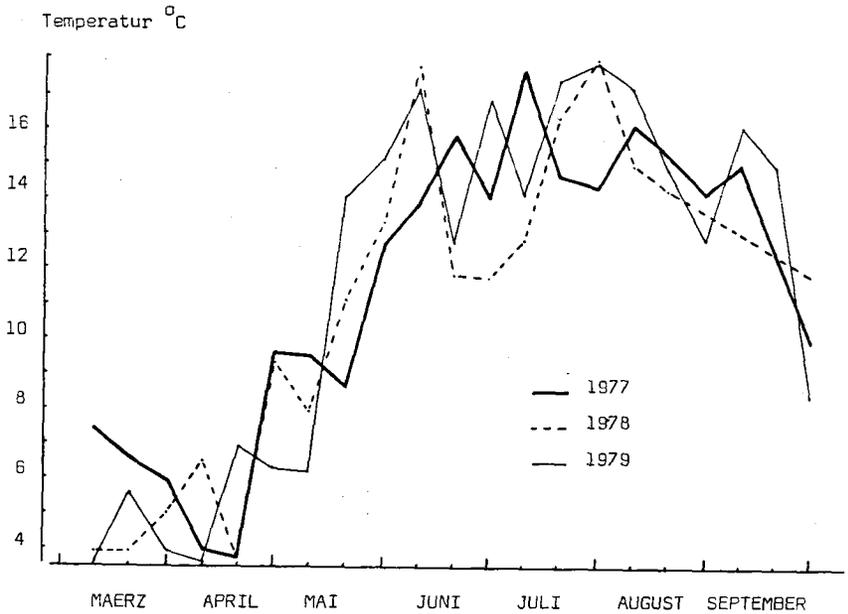
Für die Auswertung gelten in der Arbeit folgende Bezeichnungen:

- n.s. = nicht signifikant
- * = signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $P=0.05$
- ** = signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $P=0.01$
- *** = signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $P=0.001$
- KG D 5% = Kleinste gesicherte Differenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $P=0.05$
- r = Korrelationskoeffizient
- b = Regressionskoeffizient (Steigungsmass)
- B = Bestimmtheitsmass (r^2)
- \bar{x} = Mittelwert
- $s_{\bar{x}}$ = Mittlerer Fehler
- V_k = Variationskoeffizient
- V_i = Vertrauensintervall bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $P=0.05$

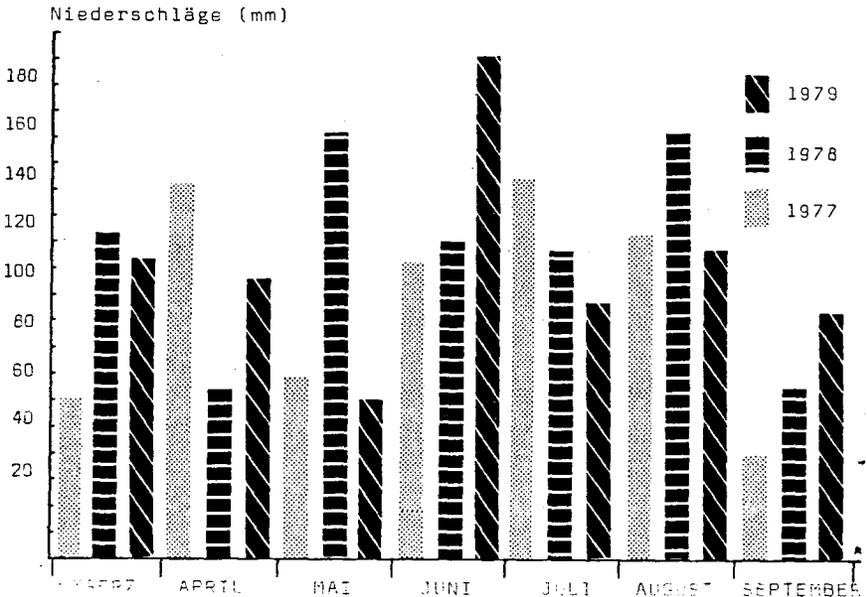
3.7. Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf der drei Versuchsperioden (1977 bis 1979) ist in den Figuren 2 und 3 aufgezeichnet. Wir finden dort die Angaben über den Verlauf der mittleren Tagestemperaturen sowie die Daten der monatlichen Niederschlagsmengen während der drei Vegetationsperioden in Eschikon. Die Messwerte stammen alle von der Wetterstation des Instituts für Pflanzenbau der ETH in Eschikon.

Figur 2 Verlauf der mittleren Tagestemperaturen (Dekaden) in den drei Feldversuchsjahren 1977 bis 1979 in Eschikon.



Figur 3 Monatliche Niederschlagsmengen während den Vegetationsperioden 1977 bis 1979 in Eschikon



II. EINFLUSS VERSCHIEDENER WACHSTUMSREGULATOREN AUF DAS WACHSTUM UND DEN ERTRAGSAUFBAU BEI DER ACKERBOHNE

Feldversuch 1977

1. EINLEITUNG

Der Zweck des ersten Versuchsjahres war, in einem Feldversuch im Rahmen eines "Screenings" eine Prüfung von verschiedenen Wachstumsregulatoren durchzuführen. Wir wollten dabei untersuchen, ob durch die Behandlung mit diesen Wirkstoffen bei unterschiedlichen Entwicklungsstadien und in verschiedenen Konzentrationen eine Verbesserung der Ertragsstruktur der Ackerbohne zu erreichen sei.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Versuchsort

Der Versuch wurde auf dem Areal der Kantonalen Landwirtschaftlichen Schule Strickhof in Eschikon-Lindau angelegt (550 m. ü. Meer). Die Flurbezeichnung des Versuchsfeldes ist unter dem Namen "Holgenbühl" eingetragen.

2.2. Versuchsboden

Das Muttermaterial des Bodens besteht aus dichtem, steinigem Möränenlehm. Die basenreiche Braunerde ist ganz oder wenigstens im Obergrund entkarbonatet. Die Bodenform gilt als skeletthaltiger, ausgesprochener Akkumulationsboden, und gewährleistet eine normale Wasserführung. Das Profil ist tiefgründig und grundfrisch. Die landwirtschaftliche Eignung wird als "Wies- und Ackerland" angegeben. Das pH des Versuchsfeldes liegt bei 6.9 (Mittelwert aus 64 Bodenproben). Die Angaben über den Versuchsboden stammen aus der Bodenkarte von Eschikon-Lindau, an-

gefertigt durch die Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz.

2.3. Versuchsanlage

Die Versuchsverfahren wurden in zufälliger Anordnung in Blöcke (randomized-blocks) zusammengefasst und dreifach wiederholt. Wir arbeiteten mit einer Ackerbohnsorte (Herz-Freya), zehn Wachstumsregulatoren, drei Anwendungszeitpunkten und drei Konzentrationen.

Tabelle 1 Die ausgewählten Wachstumsregulatoren

| <u>WIRKSTOFF</u> | <u>NAME</u> | <u>MG</u> | <u>WIRKSTOFF- GEHALT %</u> |
|---|-----------------|-----------|--------------------------------|
| 1. Abscisinsäure | ABA | 264.32 | 99.0 |
| 2. Gibberellinsäure | GA ₃ | 346.38 | 9.5 |
| 3. Naphtylacetamid | FRUFIX | 185.00 | 50.0 |
| 4. 6-Furfurylaminopurin | KINETIN | 215.22 | 99.0 |
| 5. 2,3,5-Trijodbenzoesäure | TIBA | 499.81 | 98.0 |
| 6. Naphtylessigsäure + Naphtylacetamid | FRUITONE | 185.00 | 1.7 |
| 7. Dikegulac | ATRINAL | 296.26 | 90.0 |
| 8. ?* | RO 10-3362 | 183.17 | 50.0 |
| 9. Dimethylaminobernstein- säurehydrazid | ALAR 85 | 160.17 | 85.0 |
| 10. PTTA** | NC-9634 | 252.00 | 25.0 |

- Bei der Abscisinsäure handelt es sich um die "cis-trans Form".
- Bei der Gibberellinsäure wählten wir die leicht wasserlösliche Form in Tabletten.

* Diesen Wirkstoff lieferte die Firma Maag AG Dielsdorf ohne Angaben über die chemische Zusammensetzung.

** ((3-Phenyl-1,2,4-Thiadiazol-5-YL)Thio) Essigsäure

Tabelle 2 Anwendungszeitpunkte im Feldversuch 1977

| | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | |
|------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
| | <u>ERSTER</u> | <u>ZWEITER</u> | <u>DRITTER</u> |
| <u>Datum:</u> | 1. Juni | 23. Juni | 14. Juli |
| <u>Tage n.d.Saat:</u> | 70 | 92 | 113 |
| <u>Blattstadium:</u> | 6 | 16 | 25 |
| <u>Ø Pflanzenhöhe:</u> | 19.72 cm | 75.61 cm | 129.78 cm |

- Die erste Anwendung erfolgte ca. 5-6 Tage vor Blühbeginn
- Die zweite Anwendung erfolgte bei der Vollblüte
- Die dritte Anwendung erfolgte bei abgehender Blüte

Die gewählten Konzentrationen

In einem Vorversuch im Gewächshaus prüften wir die gewählten Wachstumsregulatoren in verschiedenen Molaritäten (zwischen 10^{-2} bis 10^{-6} M) auf phytotoxische Schäden bei jungen Ackerbohnenpflanzen (3-Blattstadium). Dabei wurde besonders auf Chlorosen, Nekrosen, Deformationen und Stauchungen der behandelten Pflanzen im Vergleich mit unbehandelten bonitiert. Die Behandlung erfolgte im "run-off"-System. Pro Pflanze applizierten wir 3 ml der Wirkstofflösung. Als Netzmittel wurde "Tween-20" in einer 0.2%-igen Konzentration beigemischt. Für jeden Wirkstoff wählten wir nach den durchgeführten Bonitierungen für den Feldversuch eine Konzentration, bei welcher keine phytotoxische Schäden, aber dennoch eine Wirkung des Regulators festzustellen war. Diese Konzentrationen bezeichneten wir als die mittlere Konzentration. Für die stärkere und die schwächere wurde dann jeweils die mittlere Konzentration mit fünf multipliziert oder dividiert.

Wir besprühten die Kontrollpflanzen mit entionisiertem Wasser und einer 0.2%-igen "Tween-20"-Konzentration. Da vom Netzmittel "Tween-20" + Wasser keine Schäden oder Wirkungen festzustellen waren, wurde in den folgenden Versuchen auf eine Behandlung der Kontrollpflanzen mit Wasser + "Tween-20" verzichtet. In Tabelle 3 sind die verwendeten Konzentrationen zusammengestellt.

Tabelle 3 Die Konzentrationen der zehn Wachstumsregulatoren

| WR | Starke Konz. | Mittlere Konz. | Schwache Konz. |
|--------------------|----------------------|----------------|----------------------|
| 1. ABA | 5×10^{-5} M | 10^{-5} M | 2×10^{-4} M |
| 2. GA ₃ | 5×10^{-4} M | 10^{-4} M | 2×10^{-5} M |
| 3. FRUFIX | 5×10^{-3} M | 10^{-3} M | 2×10^{-4} M |
| 4. KINETIN | 5×10^{-3} M | 10^{-3} M | 2×10^{-4} M |
| 5. TIBA | 5×10^{-4} M | 10^{-4} M | 2×10^{-5} M |
| 6. FRUITONE | 5×10^{-3} M | 10^{-3} M | 2×10^{-4} M |
| 7. ATRINAL | 5×10^{-3} M | 10^{-3} M | 2×10^{-4} M |
| 8. RO 10-3362 | 5×10^{-3} M | 10^{-3} M | 2×10^{-4} M |
| 9. ALAR | 5×10^{-4} M | 10^{-4} M | 2×10^{-5} M |
| 10. NC-9634 | 5×10^{-3} M | 10^{-3} M | 2×10^{-4} M |

Spritzmengen

In diesem Feldversuch wurden folgende Spritzmengen verabreicht:

- erster Zeitpunkt: 1 Liter pro Parzelle
- zweiter Zeitpunkt: 2 Liter pro Parzelle
- dritter Zeitpunkt: 2.5 Liter pro Parzelle

Saat

Die Saat erfolgte am 24. März 1977 bei gut abgetrocknetem Boden. Als Vorfrucht stand im Jahr 1976 Sommergerste auf dem Feld, das im Herbst gepflügt wurde.

Parzellenanordnung

Die Parzellengrösse betrug $2 \times 1.5 \text{ m} = 3 \text{ m}^2$

Anzahl Erhebungspartellen = 273

Erhebungen

Wegen des grossen Umfanges dieses Versuches mussten wir uns auf wenige Erhebungen während der Vegetationsperiode beschränken. Deshalb legten wir das Schwergewicht auf die Bestimmung der Ertragskomponenten bei der Schlussernte. Während der Vegetationszeit beobachteten wir die Entwicklung der Pflanzenhöhe und der Seitentriebe sowie Bonitierungen in Bezug auf Deformationen, Nekrosebildungen und Chlorosen bei den behandelten Pflanzen.

Bei der Schlussernte bestimmten wir folgende Ertragskomponenten:

- Pflanzenhöhe (cm)
- Anzahl Seitentriebe
- Anzahl Hülsen pro Pflanze
- Anzahl Körner pro Pflanze
- Einzelkorngewicht (mg)
- Körnergewicht pro Pflanze (g) (Ertrag pro Pflanze)

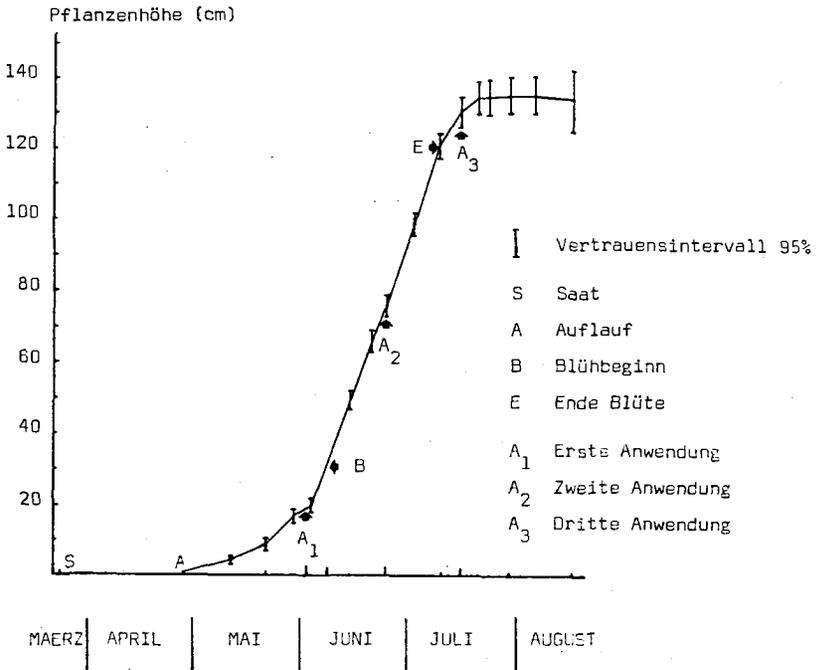
Wahl der Erhebungspflanzen

In jedem Verfahren wurden pro Wiederholung sechs zufällig ausgewählte Pflanzen (18 pro Verfahren) etwa im 4-Blattstadium mit einer farbigen Etikette am Haupttrieb markiert.

2.4. Wachstumsverlauf

In Figur 4 ist die Wachstumskurve für die Vegetationsperiode 1977 aufgezeichnet. Gut ersichtlich ist das starke vegetative Wachstum im Monat Juni, das mit der Blühperiode zusammenfällt.

Figur 4 Wachstumskurve der Kontrollpflanzen des Feldversuches 1977
(Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



3. ERGEBNISSE UND KURZDISKUSSION

Das Ziel dieses Versuches bestand zur Hauptsache darin, den Einfluss der verschiedenen Wachstumsregulatoren, in verschiedenen Entwicklungsstadien und in verschiedenen Konzentrationen appliziert, auf die Ertragsstruktur zu prüfen. Der grosse Umfang des Versuches zwang uns, die Erhebungen während der Vegetationszeit einzuschränken. Zum Zeitpunkt der Hülsenbildung konnten wir beobachten, dass sich GA₃ wahrscheinlich positiv auf den Hülsenansatz auswirkt. Dies veranlasste uns, schon im ersten Versuchsjahr eingehendere Erhebungen bei diesem Verfahren durchzuführen.

3.1. Einfluss des Anwendungszeitpunktes

Bei fast allen Wachstumsregulatoren erwies sich der erste Anwendungszeitpunkt als der wirkungsvollste. Der zweite Anwendungszeitpunkt zeigte noch signifikante Wirkungen, während der dritte Zeitpunkt keine eindeutigen Reaktionen mehr auslöste. Dies deutet darauf hin, dass die Erfolgchancen bei früher Applikation von Wachstumsregulatoren wahrscheinlich besser sind. In einem frühen Anwendungszeitpunkt laufen die Stoffwechselfvorgänge und die Zellteilungen im meristematischem Gewebe schneller ab, so dass die Funktion von Wachstumsregulatoren besser zur Wirkung kommen kann.

3.2. Einfluss der Konzentration

Obwohl auch hier festzustellen ist, dass der Unterschied zwischen den stärkeren und den schwächeren Konzentrationen hauptsächlich bei frühen Applikationen zum Ausdruck kam, bestehen grosse Wechselwirkungen zwischen den Konzentrationen und den Anwendungszeitpunkten bei den verschiedenen Pflanzenregulatoren. Eine Aufzählung der festgestellten Interaktionen würde bei der grossen Anzahl Verfahren zu weit führen.

3.3. Einfluss von ausgewählten Wachstumsregulatoren auf das Wachstum während der Vegetationsperiode (visuell erfasst)

1. ABA

In keinem der drei Anwendungszeitpunkte konnte ein klarer Einfluss auf das vegetative und das reproduktive Wachstum festgestellt werden.

2. GA₃

Wirkungen von GA₃ waren schon einige Tage nach der Anwendung zu erkennen. Sie werden in Abschnitt 3.4 eingehend besprochen.

3. Frufix

Die visuellen Beobachtungen zeigten keine eindeutigen Wirkungen von Frufix.

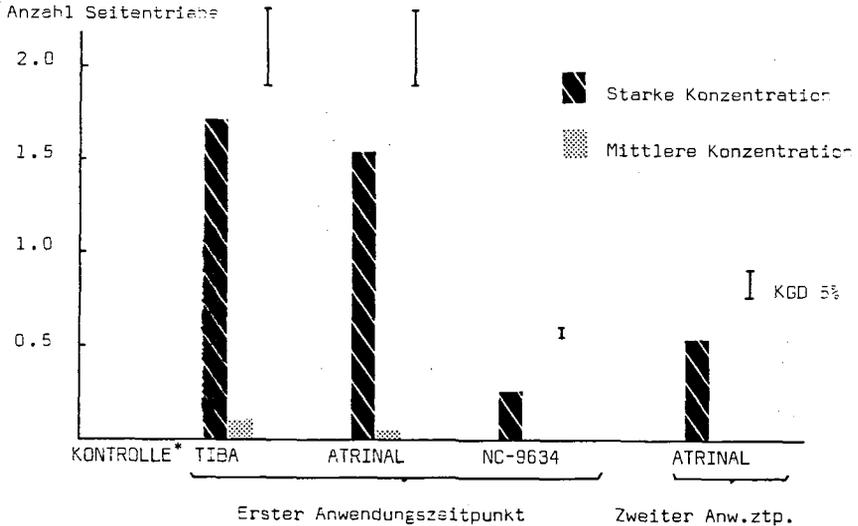
4. Kinetin

Kinetin verursachte keine äusserlich sichtbaren Wirkungen.

5. TIBA

Die TIBA-Applikationen in den ersten zwei Anwendungszeitpunkten hatten eine starke Hemmung des Sprosslängenwachstums zur Folge, was als die typische Schwächung der apikalen Dominanz durch TIBA bekannt ist. Im dritten Anwendungszeitpunkt liess sich keine klare Wirkung ermitteln. Die grössten Hemmungen im Längenwachstum erzielten wir mit der Konzentration 5×10^{-4} M und 10^{-4} M. Die schwache Konzentration zeigte dagegen keine eindeutigen Effekte. Die Entwicklung der Seitentriebe wurde besonders bei der starken Konzentration (5×10^{-4} M) im ersten Behandlungstermin gefördert (Figur 5).

Figur 5 Der Einfluss von TIBA, Atrinal und NC-9634 auf die Entwicklung von Seitentrieben



* Kontrolle = 0

In den ersten zwei Anwendungszeitpunkten und bei starker Konzentration verursachte TIBA grosse Stengel- und Blattdeformationen. Die Blätter waren kleiner und spitzer als diejenigen von unbehandelten Pflanzen.

6. Fruitone

In den ersten zwei Behandlungsterminen ergaben sich klare Wirkungen. Bei der starken Konzentration beobachteten wir Deformationen und Nekrosen. Das Sprosslängenwachstum wurde beträchtlich reduziert. Im ersten Zeitpunkt führte die starke Konzentration (5×10^{-3} M) zu Nekrosen an den Blütenständen. Es war interessant festzustellen, dass die mit Fruitone behandelten Pflanzen dem Wind gegenüber stabiler waren. Möglicherweise ist eine Verkürzung der Internodienlängen die Ursache dieser besseren Standfestigkeit.

7. Atrinal

Atrinal hat sich als starker Wachstumshemmer erwiesen. In den ersten zwei Behandlungszeitpunkten war die Wirkung eindeutig. Die starke und mittlere Konzentration verursachten mittlere bis starke Deformationen, Nekrosen und Chlorosen. Das Sprosslängenwachstum wurde stark reduziert, die Entwicklung der Seitentriebe stark gefördert (Figur 5) und die Blütenbildung zeitweise gestört.

8. RO 10-3362

Bei diesem Regulator konnten keine eindeutigen Reaktionen nachgewiesen werden.

9. Alar

Die visuellen Beobachtungen ergaben auch bei Alar keine Veränderungen des vegetativen und reproduktiven Wachstums.

10. NC-9634

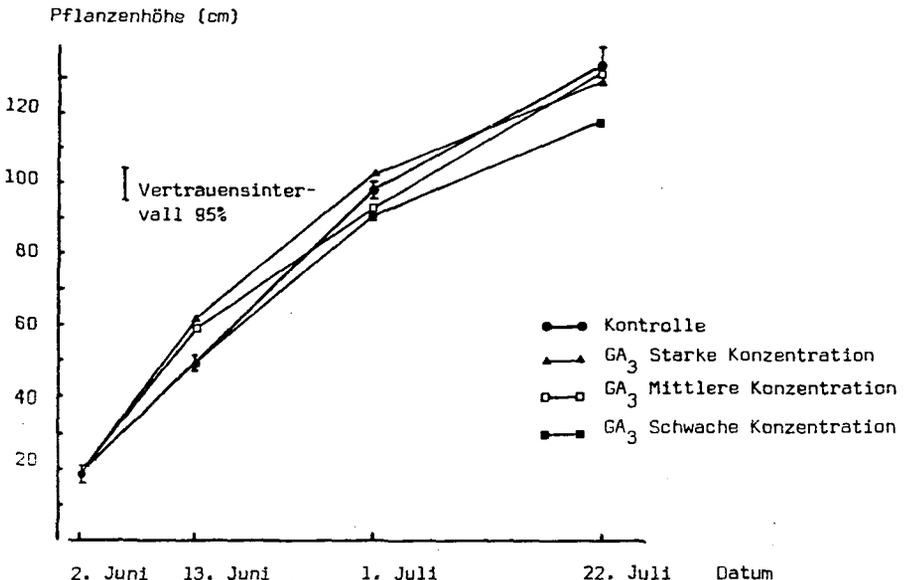
Dieser Wirkstoff kann als starker Wachstumshemmer bezeichnet werden. Beim ersten Anwendungszeitpunkt kam es bei allen Konzentrationen zu starken bis mittleren Deformationen und Nekrosen. Die Hemmung des Sprosslängenwachstums war eindeutig. Die Entwicklung der Seitentriebe (Figur 5) wurde gefördert. Beim zweiten Behandlungstermin waren die Reaktionen ähnlich, jedoch nicht mehr so ausgeprägt. Die Entwicklung der Seitentriebe war reduziert. Beim dritten Anwendungszeitpunkt erschienen bei der starken Konzentration wiederholt Nekrosen. Der Blattfall trat früher ein.

3.4. Einfluss von GA_3 auf das vegetative und reproduktive Wachstum

3.4.1. Einfluss von GA_3 auf das Sprosslängenwachstum

Die starke und mittlere Konzentration von GA_3 verursachten im ersten Anwendungszeitpunkt bereits einige Tage nach der Applikation eine starke Zunahme des Wachstums der Stengellänge. Einen Monat später (1. Juli) beobachtete man bei der starken Konzentration (5×10^{-4} M) immer noch eine grössere Pflanzenhöhe als bei den unbehandelten Pflanzen, während die mittlere Konzentration (10^{-4} M) eine Verlangsamung des Wachstums bedingte, so dass die Pflanzen kleiner als die unbehandelten waren (Figur 6). Drei Wochen später waren die Pflanzen der mittleren Konzentration gleich gross wie diejenigen der Kon-

Figur 6 Die Veränderung der Pflanzenhöhe im ersten Anwendungszeitpunkt nach der GA_3 -Applikation (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



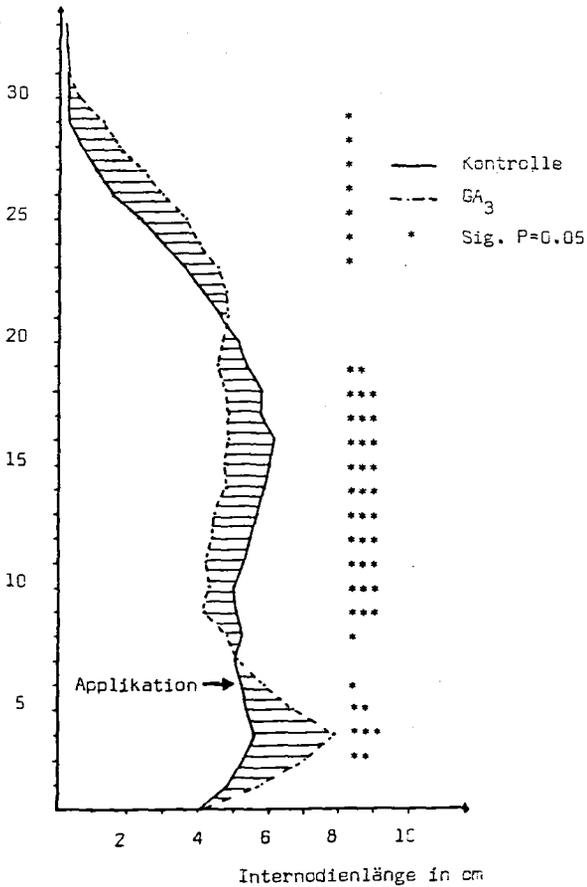
trolle. Dass nach einer GA_3 -Behandlung zuerst eine Förderung und dann eine Verlangsamung des Wachstums eintreten kann, ist nach Knapp (1961) bekannt. Die Applikationen am zweiten und dritten Termin förderten ebenfalls das Längenwachstum, jedoch nicht so stark wie bei der ersten Behandlung.

3.4.2. Einfluss von GA_3 auf die Internodienlänge

Alle drei Anwendungszeitpunkte haben eine unterschiedliche Entwicklung der Internodienlänge bewirkt, insbesondere jedoch der erste Termin bei mittlerer Konzentration. Die Internodien, die bereits vor der GA_3 -Behandlung zu einem grossen Teil gestreckt waren (etwa sechs Internodien), erfuhren nach der GA_3 -Applikation eine zusätzliche, starke Streckung. Diejenigen, die sich nach der GA_3 -Behandlung entwickelten, zeigten eine Wachstumsverlangsamung und blieben beträchtlich kürzer, verglichen mit denjenigen der unbehandelten Pflanzen (Figur 7). Diese Wachstumsverlangsamung trat etwa vom 7. bis zum 21. Internodium in Erscheinung. Vom 21. Internodium bis zur Triebspitze erfolgte wiederum eine Streckung. In der Regel erwartet man nach einer GA_3 -Applikation zuerst eine Verlängerung der sich neu bildenden Internodien. Der beobachtete Wechsel zwischen Verstärkung, Verlangsamung und erneuter Verstärkung des Internodienlängenwachstums war bisher nicht bekannt (Phillips, pers. Mitteilung, 1978). Die zweite Applikation ergab ähnliche Verschiebungen der Internodienlängen, jedoch nicht mehr so ausgeprägte wie im ersten Zeitpunkt (Figur 8). Die dritte Behandlung hatte eine unklare Wirkung auf die Internodienlänge zur Folge (Figur 9).

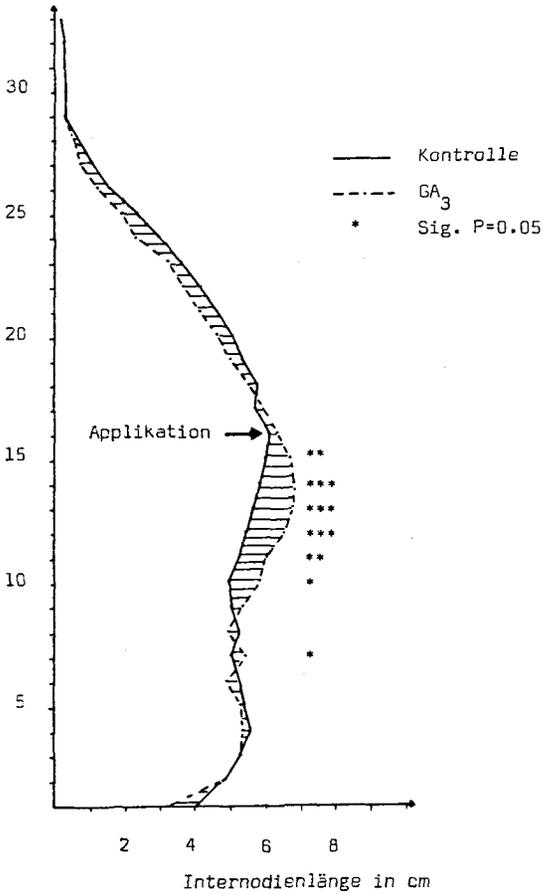
Figur 7 Einfluss einer GA_3 -Applikation auf die Internodienlänge im ersten Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) und bei mittlerer Konzentration (10^{-4} M). Ermittlung am 3. August 1977 (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)

Nr. des Internodiums



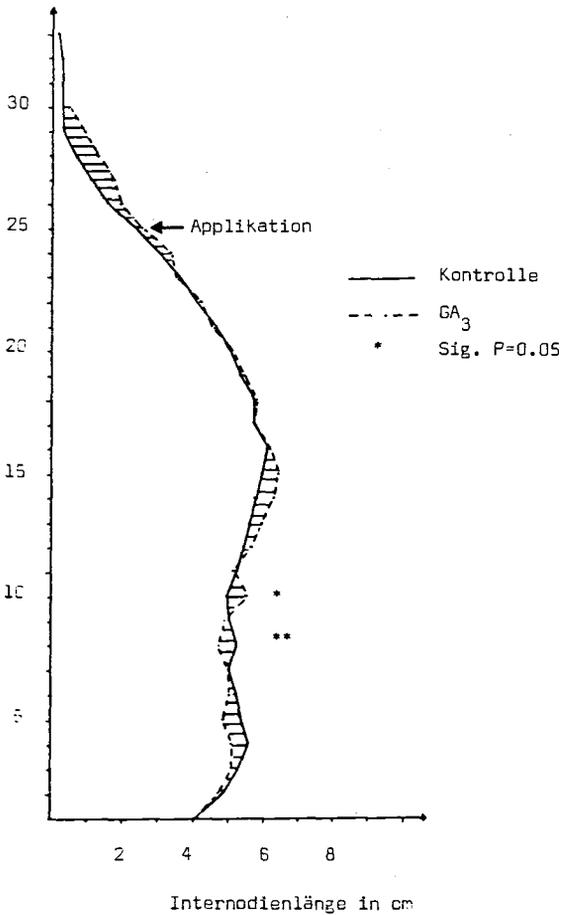
Figur 8 Einfluss einer GA_3 -Applikation auf die Internodienlänge im zweiten Anwendungszeitpunkt (16-Blattstadium) und bei mittlerer Konzentration (10^{-4} M). Ermittlung am 3. August 1977 (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)

Nr. des Internodiums



Figur 9 Einfluss einer GA_3 -Applikation auf die Internodienlänge im dritten Anwendungszeitpunkt (25-Blattstadium) und bei mittlerer Konzentration (10^{-4} M). Ermittlung am 3. August 1977 (Mittelwerte aus 10 Pflanzen)

Nr. des Internodiums



3.4.3. Einfluss von GA₃ auf die Blattfarbe

Etwa eine Woche nach der GA₃-Behandlung fiel die hellere Blattfarbe der Pflanzen auf; diese Bleichung ist seit langem bekannt. Die Farbveränderungen beruhen möglicherweise auf einer durch das verstärkte Wachstum hervorgerufenen Chlorophyllverdünnung. Bishop und Whittingham (1961) haben ähnliche Feststellungen bei der Gartenerbse (*Pisum sativum* L.) gemacht. Sie vertreten die Meinung, dass in den mit GA₃ behandelten Erbsenblättern nicht der Chlorophyllgehalt der einzelnen Zellen abnimmt, sondern die Blattfläche grösser und die Blätter dünner werden und sich demzufolge der optische Weg der Lichtabsorption verkürzt. Szalai (1968) ist der Ansicht, dass die Vergrösserung der Blattfläche nur ein Faktor bei der Bleichung sei. Seine Versuche mit der Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris* L.) ergaben eine signifikante Verminderung des bläulich-grünen Chlorophylls a, während die Menge des gelblich-grünen Chlorophylls b wenig verändert wurde. Als weiteren Faktor der Bleichung der Blätter nennt der gleiche Autor eine Zunahme der Carotine. Er schliesst aus den Resultaten seiner Experimente, dass die additive Wirkung der entgegengesetzten Aenderungen am Zustandekommen der Chlorosen mitbeteiligt sei. Tanner (1978) untersuchte bei der Ackerbohne den Einfluss von GA_{4/7}-Behandlungen auf die Blattverfärbung. Als die wichtigste Ursache der Blattverfärbung stellte sich dabei die vergrösserte Blattfläche der mit GA_{4/7}-behandelten Pflanzen heraus. Unterschiede im Chlorophyllgehalt der Blätter konnten nicht eindeutig ermittelt werden.

3.5. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf die Pflanzenhöhe und auf die Ertragskomponenten bei der Schlussernte

3.5.1. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf die Pflanzenhöhe

In Tabelle 4 ist der Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf die Pflanzenhöhe zusammengestellt. Die verschiedenen Regulatoren zeigten sehr unterschiedliche Wirkungen auf das Längenwachstum; dabei fielen die Reaktionen bei der starken Konzentration der ersten zwei Anwendungen besonders auf. Im ersten Zeitpunkt verursachten viele Regulatoren eine Verminderung der Pflanzenhöhe. TIBA und Atrinal erwiesen sich als besonders starke Wachstumshemmer. Aehnliche Wirkungen von TIBA auf die Pflanzenhöhe wurden bei Ackerbohnen von Gehriger (1978) und von Clapp (1973), sowie von Johnson und Anderson (1974) bei Sojabohnen festgestellt. Die Hemmung des Längenwachstums basiert auf der Schwächung der apikalen Dominanz. Atrinal scheint ähnlich wie TIBA zu wirken. Die apikale Dominanz wurde herabgesetzt. Ferner ergaben sich signifikant kleinere Pflanzhöhen bei der starken und schwachen GA_3 -Konzentration im ersten Behandlungszeitpunkt, die mittlere Konzentration dagegen bewirkte keine Unterschiede. Die in Abschnitt 3.4.2. erwähnte Verstärkung bzw. Verlangsamung des Triebwachstums (Figur 6) blieb bis zur Ernte im tieferen Zustand bestehen.

3.5.2. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf den Hülsenansatz

Signifikant kleinere Werte für den Hülsenansatz ergaben sich bei den drei Wachstumshemmern TIBA, Atrinal und NC-9634 (Tabelle 5 und Figur 10). Die starke Konzentration im ersten Anwendungszeitpunkt erwies sich als dasjenige Verfahren, das die Hülsenanzahl pro Pflanze am ausgeprägtesten verringerte.

Tabelle 4: Der Einfluss verschiedener Wachstumsregulatoren auf die Pflanzenhöhe (cm) bei der Ackerbohne zur Zeit der Schlusserte (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)

* Sig. P=0.05

| WIRKSTOFF | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|-----------------|---------|---------|
| | 5-6 Tage vor Blühbeginn | | | | | | Vollblüte | | | | | | Abgehende Blüte | | |
| | Konzentration | | | Konzentration | | | Konzentration | | | Konzentration | | | Mittel | Schwach | |
| | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach |
| KONTROLLE | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 | 133.2 |
| ABA | 134.7 | 132.8 | 135.9 | 131.3 | 134.4 | 130.5 | 129.1 | 134.4 | 130.5 | 129.1 | 132.2 | 129.1 | 129.1 | 132.2 | 129.1 |
| GA ₃ | 124.3* | 137.9 | 124.2* | 139.4 | 133.1 | 134.5 | 145.3* | 133.1 | 134.5 | 145.3* | 135.7 | 135.6 | 135.6 | 135.7 | 135.6 |
| FRUFIX | 123.3* | 126.8 | 130.2 | 124.9* | 130.7 | 131.9 | 137.0 | 130.7 | 131.9 | 137.0 | 136.8 | 133.9 | 133.9 | 136.8 | 133.9 |
| KINETIN | 124.8* | 131.7 | 125.7* | 130.9 | 126.7 | 127.2 | 126.9 | 126.7 | 127.2 | 126.9 | 134.4 | 137.3 | 137.3 | 134.4 | 137.3 |
| TIBA | 80.0* | 117.0* | 130.2 | 96.7* | 115.1* | 128.9 | 136.4 | 115.1* | 128.9 | 136.4 | 140.7 | 134.7 | 134.7 | 140.7 | 134.7 |
| FRUITONE | 133.1 | 129.3 | 131.4 | 124.6* | 127.4 | 130.3 | 131.4 | 127.4 | 130.3 | 131.4 | 131.7 | 133.2 | 133.2 | 131.7 | 133.2 |
| ATRINAL | 106.6* | 126.6 | 126.7 | 83.2* | 123.0* | 132.3 | 135.4 | 123.0* | 132.3 | 135.4 | 136.0 | 131.6 | 131.6 | 136.0 | 131.6 |
| RO 10-3362 | 121.2 | 129.6 | 133.2 | 131.9 | 127.5 | 134.1 | 128.6 | 127.5 | 134.1 | 128.6 | 131.8 | 131.0 | 131.0 | 131.8 | 131.0 |
| ALAR | 124.7* | 137.3 | 129.5 | 132.9 | 127.6 | 135.3 | 136.0 | 127.6 | 135.3 | 136.0 | 133.7 | 129.1 | 129.1 | 133.7 | 129.1 |
| NC-9634 | 117.2* | 127.4 | 130.9 | 119.1* | 135.5 | 135.9 | 134.3 | 135.5 | 135.9 | 134.3 | 137.8 | 126.2 | 126.2 | 137.8 | 126.2 |
| F-Test | ** | ** | * | ** | ** | n.s. | ** | ** | n.s. | ** | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| KGD 5% | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 8.2 | 6.6 | 6.4 | 7.5 | 6.6 | 6.4 | 7.5 | 6.7 | 7.5 | 7.5 | 6.7 | 7.5 |
| \bar{x} aller WR | 120.3 | 130.0 | 130.1 | 122.6 | 128.6 | 132.2 | 134.0 | 128.6 | 132.2 | 134.0 | 134.9 | 132.16 | 132.16 | 134.9 | 132.16 |

Tabelle 5: Der Einfluss verschiedener Wachstumsregulatoren auf die Hülsenzahl pro Pflanze bei der Ackerbohne zur Zeit der Schlusserte (Mittelwerte aus 18 Pflanzten) * Sig. P=0.05

| WIRKSTOFF | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|---------------|-------|---------------|---------|---------------|--------|-----------------|-------|---------------|---------|
| | 5-6 Tage vor Blühbeginn | | | | Vollblüte | | | | Abgehende Blüte | | | |
| | Konzentration | | Konzentration | | Konzentration | | Konzentration | | Konzentration | | Konzentration | |
| | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach |
| KONTROLLE | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 |
| ABA | 28.6 | 28.2 | 26.3 | 24.1 | 28.2 | 25.9 | 24.8 | 25.7 | 26.0 | 24.8 | 25.7 | 26.0 |
| GA ₃ | 24.3 | 34.3* | 20.8 | 24.4 | 23.9 | 27.8 | 26.7 | 26.3 | 26.8 | 26.7 | 26.3 | 26.8 |
| FRUFIX | 22.6 | 25.2 | 26.0 | 23.4 | 25.2 | 25.4 | 26.8 | 24.9 | 28.3 | 26.8 | 24.9 | 28.3 |
| KINETIN | 22.6 | 22.0 | 25.5 | 25.7 | 23.1 | 28.5 | 25.3 | 26.2 | 26.4 | 25.3 | 26.2 | 26.4 |
| TIBA | 14.8* | 22.0 | 25.7 | 22.9 | 23.5 | 28.9 | 29.3 | 27.9 | 26.2 | 29.3 | 27.9 | 26.2 |
| FRUITONE | 26.3 | 28.6 | 24.6 | 20.8 | 23.5 | 25.4 | 25.8 | 25.1 | 26.9 | 25.8 | 25.1 | 26.9 |
| ATRINAL | 19.8* | 23.7 | 26.4 | 21.1 | 20.6* | 28.3 | 25.2 | 29.9 | 25.4 | 25.2 | 29.9 | 25.4 |
| RO 10-3362 | 21.8 | 26.6 | 24.3 | 25.1 | 21.3* | 26.9 | 23.9 | 26.4 | 25.9 | 23.9 | 26.4 | 25.9 |
| ALAR | 23.6 | 26.9 | 23.1 | 26.8 | 20.3* | 26.9 | 30.1 | 29.8 | 25.6 | 30.1 | 29.8 | 25.6 |
| NC-9634 | 19.8* | 25.6 | 24.4 | 23.7 | 25.2 | 23.0 | 26.4 | 31.8 | 22.2 | 26.4 | 31.8 | 22.2 |
| F-Test | ** | ** | n.s. | n.s. | * | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| KGD 5% | 5.5 | 5.9 | 5.9 | 5.4 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 5.6 | 6.3 | 5.5 | 5.6 | 6.3 |
| \bar{x} aller WR | 22.8 | 26.4 | 24.9 | 24.1 | 23.8 | 26.7 | 26.5 | 27.3 | 26.1 | 26.5 | 27.3 | 26.1 |

Beim zweiten Termin war es die mittlere Konzentration, welche eine Verminderung des Hülsenansatzes verursachte. Bei der dritten Behandlung wurden keine Reaktionen beobachtet. Einen signifikant höheren Hülsenansatz konnte einzig GA_3 im ersten Anwendungszeitpunkt und bei der mittleren Konzentration (10^{-4} M) bewirken. Die Verbesserung des Hülsenansatzes bei der Ackerbohne betrachtet Keller (1974) als eine der ersten Voraussetzungen für die Erhöhung der Ertragsicherheit.

Figur 10 Einfluss von verschiedenen Applikationsverfahren von Wachstumsregulatoren auf die Hülsenzahl pro Pflanze.
(Mittelwerte aus 18 Pflanzen)

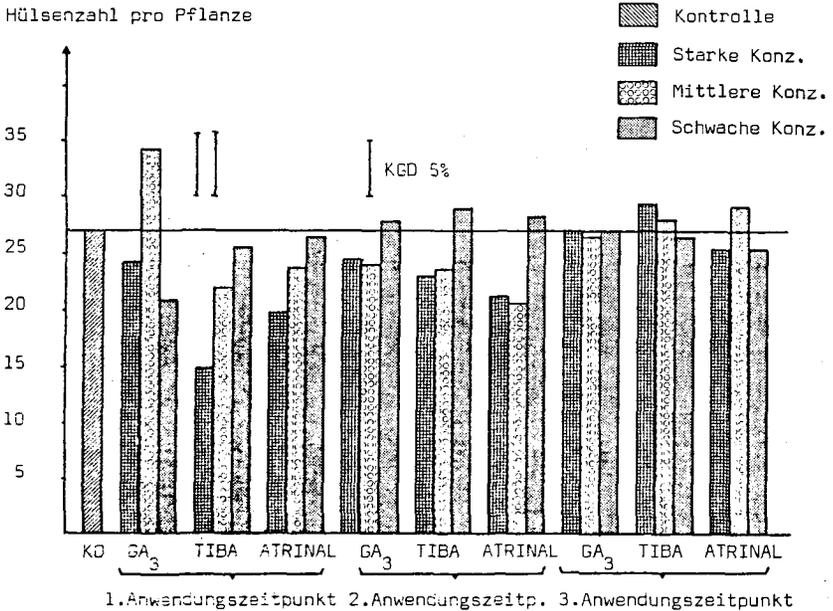


Tabelle 6: Der Einfluss verschiedener Wachstumsregulatoren auf die Körnerzahl pro Pflanze bei der Ackerbohne zur Zeit der Schlusserreife (Mittelwerte aus 18 Pflanzen) * Sig. P=0.05

| WIRKSTOFF | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | | | | | Abgehende Blüte | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|---------|-----------|--------|---------|-----------------|--------|---------|
| | 5-6 Tage vor Blühbeginn | | | Vollblüte | | | Konzentration | | |
| | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach |
| KONTROLLE | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.6 |
| ABA | 92.4 | 93.2 | 87.4 | 79.8 | 89.9 | 80.1 | 79.9 | 81.6 | 81.1 |
| GA ₃ | 73.5* | 111.3 | 64.3 | 85.1 | 80.4 | 93.6 | 83.9 | 87.2 | 93.4 |
| FRUFIX | 75.2 | 77.6 | 84.3 | 77.3 | 84.7 | 82.3 | 82.6 | 80.9 | 93.8 |
| KINETIN | 71.6 | 70.8 | 82.3 | 81.3 | 73.7* | 95.7 | 81.3 | 83.0 | 87.9 |
| TIBA | 33.4* | 71.4 | 78.7 | 60.5* | 68.1* | 91.1 | 96.1 | 89.2 | 82.7 |
| FRUITONE | 87.5 | 87.7 | 83.9 | 68.2* | 77.2 | 86.8 | 84.3 | 79.4 | 83.2 |
| ATRINAL | 57.7* | 74.7 | 86.2 | 44.7* | 65.3* | 93.9 | 82.1 | 96.2 | 83.1 |
| RO 10-3362 | 72.4* | 88.0 | 81.3 | 80.5 | 67.6* | 88.4 | 72.4 | 88.6 | 82.1 |
| ALAR | 75.5 | 88.7 | 75.5 | 93.2 | 68.8* | 89.1 | 96.2 | 96.1 | 78.8 |
| NC-9634 | 64.8* | 81.2 | 76.1 | 74.4 | 78.8 | 72.8 | 83.2 | 98.9 | 71.2 |
| F-Test | ** | ** | n.s. | ** | * | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| KGD 5% | 17.9 | 20.9 | 19.5 | 19.3 | 17.0 | 18.6 | 18.5* | 18.7 | 20.5 |
| \bar{X} aller WR | 72.3 | 85.1 | 81.1 | 76.1 | 76.9 | 87.8 | 84.9 | 88.4 | 84.5 |

3.5.3. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf die Kornzahl pro Pflanze

Die Kornzahl wurde ähnlich beeinflusst wie die Hülsenzahl. Die Regulatoren TIBA, Atrinal, NC-9634, RO 10-3362 sowie GA_3 bewirkten bei der starken Konzentration des ersten Anwendungszeitpunktes eine signifikant kleinere Kornzahl pro Pflanze (Tabelle 6). Wiederum bei der mittleren Konzentration verursachte GA_3 , verglichen mit den anderen Verfahren, eine größere Kornzahl. Obwohl nach der GA_3 -Behandlung die Pflanzen 21% mehr Körner als die Kontrolle aufweisen, ist die Differenz statistisch nicht gesichert. Im zweiten Behandlungszeitpunkt haben verschiedene Wirkstoffe die Kornzahl vermindert.

3.5.4. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf das Einzelkorngewicht

In Tabelle 7 wird der Einfluss der Regulatoren auf das Einzelkorngewicht dargestellt. Statistisch gesehen bewirkten die Wachstumsregulatoren keine grossen Unterschiede des Einzelkorngewichtes. In der Regel ist eine Zunahme der Kornzahl negativ mit dem Einzelkorngewicht korreliert. Diese Tendenz hat sich auch in unseren Versuchen gezeigt. Eine negative Korrelation konnte berechnet werden.

3.5.5. Einfluss der zehn Wachstumsregulatoren auf den Körnerertrag pro Pflanze

Der Einfluss der verschiedenen Regulatoren auf den Körnerertrag ist in Tabelle 8 und Figur 11 aufgezeichnet. Diese Ertragskomponente hat sich bezüglich der Wirkung des Anwendungszeitpunktes und der Konzentration ähnlich wie andere Ertragskomponenten verhalten. Diesem Ergebnis schenken wir jedoch besondere Aufmerksamkeit, da bei der Behandlung der Kulturpflanzen mit Wachstumsregulatoren die Steigerung des Körnerertrages eine der wichtigsten Zielsetzungen ist.

Tabelle 7: Der Einfluss verschiedener Wachstumsregulatoren auf das Einzelkorngewicht (mg) bei der Ackerbohne zur Zeit der Schlusserte (Mittelwerte aus 18 Pflanzen) * Sig. P=0.05

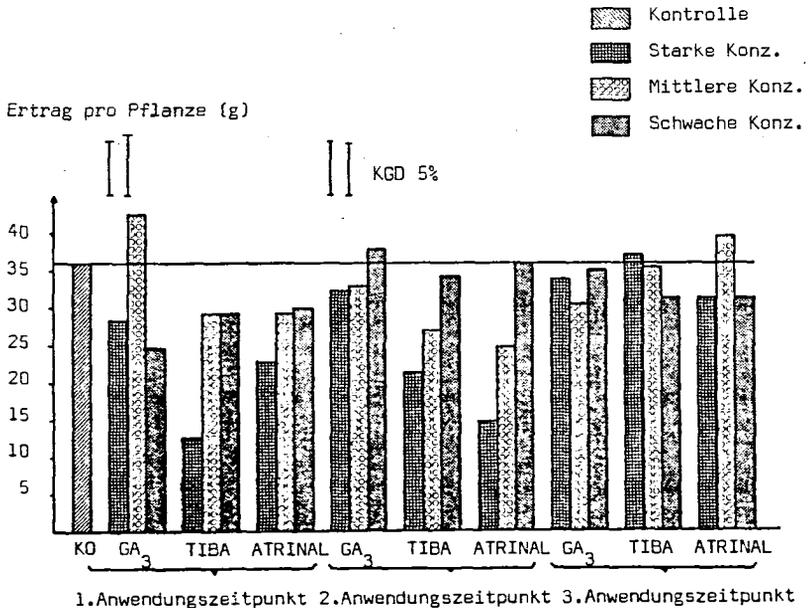
| WIRKSTOFF | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|-----------------|---------|---------|
| | 5-6 Tage vor Blühbeginn | | | | | | Vollblüte | | | | | | Abgehende Blüte | | |
| | Konzentration | | | Konzentration | | | Konzentration | | | Konzentration | | | Mittel | Schwach | |
| | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach |
| KONTROLLE | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 | 399 |
| ABA | 414 | 375 | 407 | 386 | 390 | 361 | 373 | 387 | 371 | 373 | 387 | 371 | 373 | 387 | 371 |
| GA ₃ | 380 | 385 | 387 | 402 | 413 | 399 | 404 | 352* | 375 | 404 | 352* | 375 | 404 | 352* | 375 |
| FRUFIX | 370 | 382 | 398 | 378 | 414 | 392 | 402 | 403 | 366 | 402 | 403 | 366 | 402 | 403 | 366 |
| KINETIN | 398 | 412 | 399 | 386 | 397 | 372 | 397 | 398 | 385 | 397 | 398 | 385 | 397 | 397 | 377 |
| TIBA | 374 | 395 | 371 | 347* | 392 | 374 | 385 | 397 | 377 | 385 | 397 | 377 | 385 | 397 | 377 |
| FRUITONE | 342* | 395 | 381 | 434 | 394 | 381 | 402 | 405 | 376 | 402 | 405 | 376 | 402 | 409 | 381 |
| ATRINAL | 387 | 391 | 349* | 340* | 382 | 383 | 381 | 409 | 381 | 381 | 409 | 381 | 381 | 409 | 381 |
| RO 10-3362 | 375 | 384 | 406 | 379 | 395 | 349 | 353 | 389 | 375 | 353 | 389 | 375 | 353 | 389 | 375 |
| ALAR | 403 | 396 | 388 | 374 | 390 | 389 | 389 | 388 | 374 | 389 | 388 | 374 | 389 | 388 | 374 |
| NC-9634 | 443* | 355 | 397 | 394 | 430 | 367 | 368 | 337* | 349 | 368 | 337* | 349 | 368 | 337* | 349 |
| F-Test | ** | n.s. | * | ** | n.s. | n.s. | n.s. | ** | n.s. | n.s. | ** | n.s. | n.s. | ** | n.s. |
| KGD 5% | 39 | 40 | 34 | 42 | 34 | 33 | 34 | 35 | 20 | 34 | 35 | 20 | 34 | 35 | 20 |
| \bar{X} aller WR | 390 | 388 | 390 | 384 | 400 | 379 | 387 | 388 | 376 | 387 | 388 | 376 | 387 | 388 | 376 |

Tabelle 8: Der Einfluss verschiedener Wachstumsregulatoren auf den Körnerertrag pro Pflanze (g) bei der Ackerbohne zur Zeit der Schlusserte (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)
 * Sig. P=0.05

| WIRKSTOFF | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|-----------------|---------|---------|
| | 5-6 Tage vor Blühbeginn | | | | | | Vollblüte | | | | | | Abgehende Blüte | | |
| | Konzentration | | | Konzentration | | | Konzentration | | | Konzentration | | | Mittel | Schwach | |
| | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach | Stark | Mittel | Schwach |
| KONTROLLE | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 | 35.87 |
| ABA | 37.96 | 34.98 | 35.08 | 30.42 | 34.55 | 29.02 | 29.90 | 31.55 | 30.21 | 29.90 | 31.55 | 30.21 | 29.90 | 31.55 | 30.21 |
| GA ₃ | 28.32* | 42.45 | 24.61 | 32.24 | 32.95 | 37.65 | 33.62 | 30.35 | 34.78 | 33.62 | 30.35 | 34.78 | 33.62 | 30.35 | 34.78 |
| FRUFIX | 26.77* | 28.92 | 33.25 | 29.16 | 34.28 | 32.83 | 33.19 | 32.20 | 33.93 | 33.19 | 32.20 | 33.93 | 33.19 | 32.20 | 33.93 |
| KINETIN | 28.52* | 28.91 | 32.60 | 31.61* | 28.92* | 35.79 | 31.95 | 32.77 | 33.19 | 31.95 | 32.77 | 33.19 | 31.95 | 32.77 | 33.19 |
| TIBA | 12.61* | 29.17 | 29.29 | 21.12* | 26.97* | 34.00 | 36.87 | 35.16 | 31.10 | 36.87 | 35.16 | 31.10 | 36.87 | 35.16 | 31.10 |
| FRUITONE | 29.89 | 35.00 | 31.74 | 29.35 | 30.62 | 32.98 | 34.05 | 32.44 | 31.49 | 34.05 | 32.44 | 31.49 | 34.05 | 32.44 | 31.49 |
| ATRINAL | 22.74* | 29.18 | 29.83 | 14.61* | 24.79* | 35.76 | 31.01 | 39.27 | 31.09 | 31.01 | 39.27 | 31.09 | 31.01 | 39.27 | 31.09 |
| RO 10-3362 | 27.40* | 33.13 | 32.46 | 30.26 | 26.94* | 31.42 | 25.89 | 34.85 | 30.81 | 25.89 | 34.85 | 30.81 | 25.89 | 34.85 | 30.81 |
| ALAR | 30.53 | 34.72 | 29.74 | 35.07 | 26.76* | 34.76 | 37.46 | 36.40 | 29.39 | 37.46 | 36.40 | 29.39 | 37.46 | 36.40 | 29.39 |
| NC-9634 | 29.13 | 29.31 | 30.02 | 29.47 | 33.74 | 26.33 | 30.85 | 33.39 | 24.95 | 30.85 | 33.39 | 24.95 | 30.85 | 33.39 | 24.95 |
| F-Test | ** | * | n.s. | ** | ** | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| KGD 5% | 7.18 | 8.07 | 7.57 | 7.14 | 6.73 | 7.23 | 7.26 | 6.96 | 7.65 | 7.26 | 6.96 | 7.65 | 7.26 | 6.96 | 7.65 |
| \bar{X} aller WR | 28.16 | 32.88 | 31.32 | 29.02 | 30.59 | 33.31 | 32.79 | 34.03 | 31.53 | 32.79 | 34.03 | 31.53 | 32.79 | 34.03 | 31.53 |

Die erste und die zweite Applikation zeigten wieder die größten Reaktionen. Der dritte Anwendungszeitpunkt hatte fast keinen Einfluss auf den Ertrag. Die starke Konzentration im ersten Behandlungstermin brachte bei GA_3 , Frifix, Kinetin, Atrinal und RO 10-3362 signifikante Mindererträge. Die mittlere Konzentration im gleichen Zeitpunkt verursachte keine signifi-

Figur 11 Einfluss von verschiedenen Applikationsverfahren von Wachstumsregulatoren auf den Körnerertrag pro Pflanze (g).
(Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



fikanten Mindererträge.

Als einziges Verfahren erbrachte GA_3 bei der mittleren Konzentration (10^{-4} M) eine beachtliche Ertragssteigerung von

gut 18% gegenüber der Kontrolle, doch ist der Unterschied nicht signifikant. Nach der zweiten Applikation fällt bei der starken Konzentration von TIBA und Atrinal eine grosse Ertragsverminderung auf. Die mittlere Konzentration des zweiten Behandlungsdatums bewirkte bei verschiedenen Wachstumsregulatoren ebenfalls signifikante Mindererträge. Die übrigen Verfahren zeigten keine klaren Veränderungen.

3.6. Einfluss von GA_3 auf den Hülsenansatz je Internodium

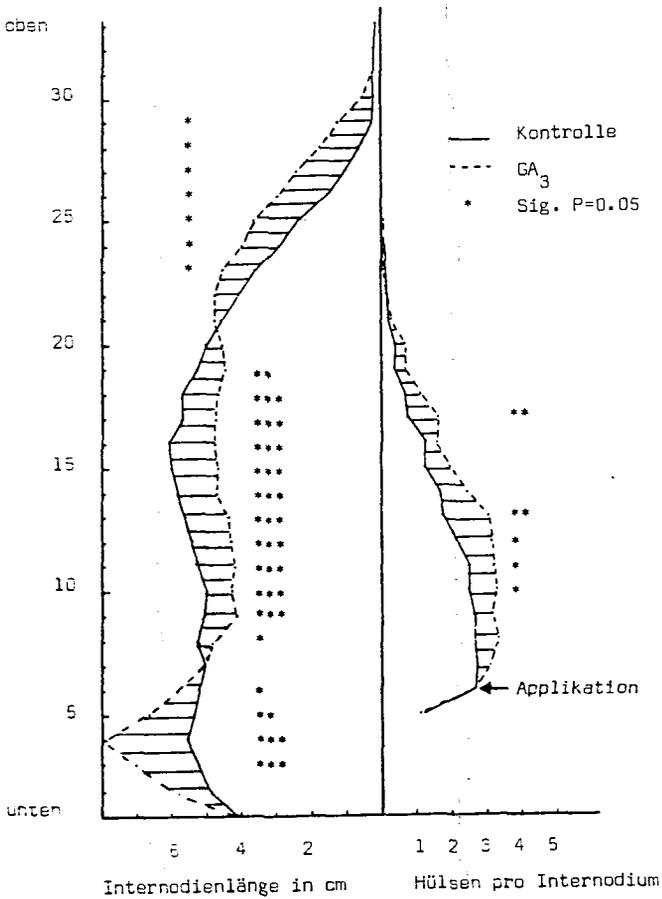
In Figur 12 wird veranschaulicht, dass der Hülsenansatz durch die GA_3 -Applikation des ersten Anwendungszeitpunktes (5-6 Tage vor der Blüte) und bei der mittleren Konzentration (10^{-4} M) an den verkürzten Internodien erhöht wurde. Wir möchten in der Gesamtdiskussion eingehender zu diesem Effekt Stellung nehmen.

3.7. Einfluss von GA_3 auf die gesamte Trockenmasse und auf den Ernte-Index (Harvest-Index)

In Figur 13 haben wir die gesamte Trockenmasse der mittleren GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) aller drei Anwendungszeitpunkte und der Kontrolle aufgezeichnet. Wir können dabei feststellen, dass GA_3 im ersten Behandlungstermin eine grössere, statistisch allerdings nicht signifikante Trockensubstanzproduktion (ca. 21%) verursacht hat. Die anderen zwei Applikationsdaten bewirkten im Gegensatz dazu eine Abnahme der Gesamttrockenmasse. Die Berechnung des Ernte-Indexes lieferte uns ein interessantes Ergebnis: der Ernte-Index blieb für alle drei Anwendungszeitpunkte und für die Kontrolle gleich. Auch Gehriger (1978) konnte keine Veränderung des Ernte-Indexes bei der Ackerbohne ermitteln, obwohl er durch das Köpfen der Pflanzen die Erzeugung der Gesamttrockenmasse verminderte. Beide Untersuchungen deuten darauf hin, dass der Ernte-Index bei der Ackerbohne wahrscheinlich ein sehr stabiles Merkmal ist. Dieses Ergebnis ist insofern von Bedeutung, als es uns den wichtigen Hinweis

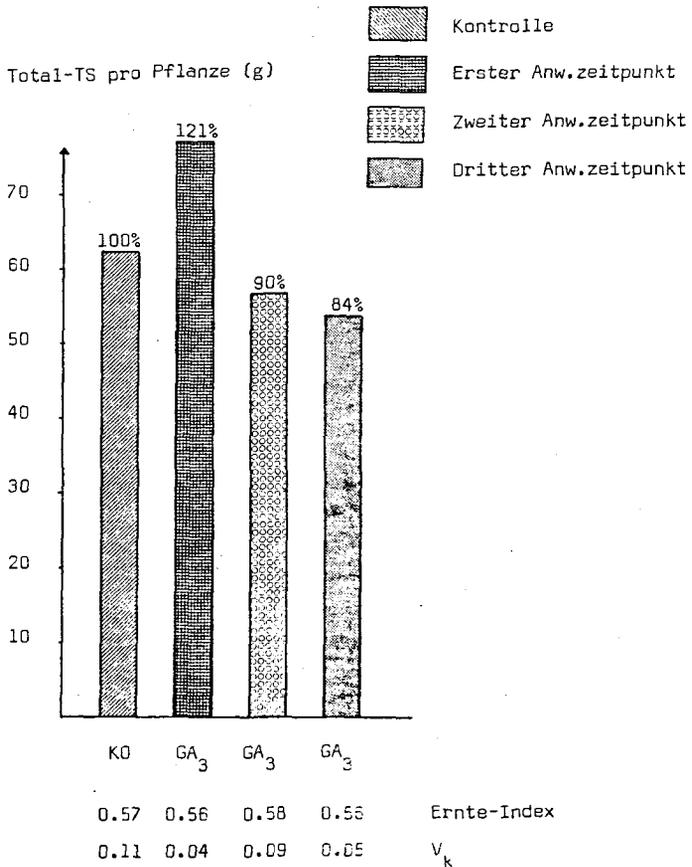
Figur 12 Einfluss einer GA_3 -Applikation auf die Länge des Internodiums und die Anzahl Hülsen je Internodium im ersten Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) und bei mittlerer Konzentration (10^{-4} M). Ermittlung am 3. August 1977. (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)

Nr. des Internodiums



gibt, dass offenbar versucht werden muss, die vegetative Masse der Pflanze zu erhöhen, um eine Ertragssteigerung zu erreichen. Ausserdem deutet es an, dass der Ertrag eher durch wachstumsfördernde als durch wachstumshemmende Regulatoren verbessert werden kann.

Figur 13 Einfluss der mittleren GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) auf die gesamte Trockensubstanzproduktion und auf den Ernte-Index bei der Schluss-ernte. (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



4. SCHLUSSBETRACHTUNG

Dieser erste Screening-Versuch brachte uns wichtige Informationen über die Anwendung von Wachstumsregulatoren bei der Ackerbohne. Die Tatsache, dass bis heute nur verhältnismässig wenige Versuche mit Wachstumsregulatoren zur Verbesserung der Ertragsstruktur dieser Kulturpflanze durchgeführt wurden, veranlasste uns, eine möglichst grosse Zahl von Verfahren bezüglich der Art von Regulatoren, der Anwendungszeitpunkte und der Behandlungskonzentrationen zu berücksichtigen. Eine relativ grosse Zeitspanne zwischen den verschiedenen Behandlungszeitpunkten war notwendig. Den erhaltenen Resultaten können wir entnehmen, dass die Wachstumsregulatoren bei der Applizierung in einer frühen Entwicklungsphase der Pflanze eher eine grössere Wirkung erzielen. Erwartungsgemäss bestehen starke Wechselwirkungen zwischen Zeitpunkt und Konzentration. Die von uns angewandten Regulatoren können im Hinblick auf die Ertragsstrukturverbesserung in zwei Gruppen eingeteilt werden: in jene, die schon früher bei der Ackerbohne appliziert wurden (GA_3 , NAA, TIBA und Alar), und in solche, die unseres Wissens zum ersten Mal zu diesem Zweck eingesetzt wurden (ABA, Kinetin, Fruitone, Atrinal, RO 10-3362 und NC-9634).

Wenn wir zunächst die Resultate der Regulatoren der ersten Gruppe betrachten, so fällt vor allem die Veränderung der Internodienlänge nach den GA_3 -Applikationen auf. Lesina (1966) konnte bei seinen GA_3 -Versuchen mit Ackerbohnen ebenfalls eine Streckung der Internodien beobachten. Im ersten Behandlungszeitpunkt unseres Experimentes bewirkte GA_3 eine Erhöhung der Trockensubstanzproduktion. Auch Avetisyan (1968) berichtet von einer Steigerung der Trockensubstanzerzeugung bei der Ackerbohne durch GA_3 -Applikationen, wobei die Sorte und die Versorgung mit Haupt- und Spurenelementen zu sehr unterschiedlichen Wirkungen geführt hat. Zivuchina (1967; zitiert in Unger, 1976) stellte ebenfalls eine Zunahme der Trockensubstanzproduktion sowie eine Steigerung der Photosyntheserate

nach einer GA_3 -Applikation bei Ackerbohnenpflanzen fest. Ein positives Resultat nach der GA_3 -Behandlung ist der signifikant grössere Hülsenansatz im ersten Anwendungszeitpunkt bei der mittleren Konzentration.

Mit dem synthetischen Auxin Frufix (Naphtylacetamid) gelang es uns nicht, den Ertrag zu steigern. Hassib (1971) konnte hingegen durch Behandlungen von Ackerbohnen mit dem synthetischen Auxin Indolbuttersäure tendenzmässig eine Zunahme der Hülsenzahl pro Pflanze erreichen.

TIBA führte im ersten und im zweiten Applikationsdatum zu starken Ertragsabnahmen. Schon Gehriger (1978) erzielte durch TIBA keine Ertragsverbesserung. Unterschiedlich hingegen sind die Reaktionen auf TIBA-Applikationen bezüglich Ertragssteigerung bei der Sojabohne und der Gartenbohne. Eine praktische Anwendung von TIBA steht jedoch bis heute noch aus.

Mc Ewen (1970, 73) untersuchte eine ganze Reihe von Wachstumsregulatoren im Hinblick auf die Ertragserhöhung bei der Ackerbohne. In allen Versuchsjahren erbrachte kein Wirkstoff klare Ertragsverbesserungen. Einzig Alar konnte im Jahr 1971 den Ertrag um 28% steigern. In unseren Untersuchungen bewirkte Alar keine solche Verbesserung. Hingegen verminderte Alar im zweiten Anwendungszeitpunkt und bei der mittleren Konzentration den Ertrag signifikant.

In der zweiten Gruppe der von uns angewandten Regulatoren beobachteten wir bei ABA keinen eindeutigen Einfluss auf das vegetative und reproduktive Wachstum.

Der von Crosby et al. (1978) erreichte bessere Hülsenansatz nach Kinetin-Behandlungen von Sojabohnen konnte bei der Ackerbohne nicht reproduziert werden, es ergaben sich lediglich Ertragsabnahmen.

Fruitone führte im Obstbau zu positiven Resultaten gegen den Fruchtfall; dies konnten wir bei der Ackerbohne nicht bestätigen. Atrinal und RO 10-3362 verursachten fast ausschliesslich Ertragsverminderungen.

Blem et al. (1977) erzielten mit dem Regulator NC-9634 (PTTA) einen prozentual höheren Hülsenansatz bei der Sojabohne. In

unseren Versuch konnte auch NC-9634 den Ertrag nicht verbessern.

Die Ertragssteigerung durch GA_3 im ersten Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) und bei der mittleren Konzentration (10^{-4} M) ist jedoch mit einer nicht signifikanten Zunahme der gesamten Trockensubstanzproduktion (ca. 21%) verbunden. Die Feststellung, der Ernte-Index sei gegenüber demjenigen der Kontrolle unverändert geblieben, deutet darauf hin, dass wir eine Ertragsverbesserung eher mit einem Wachstumsförderungsregulator erreichen werden als mit einem Wachstumshemmer. Alle Wachstumshemmer haben in diesem Versuch den Ertrag negativ beeinflusst. Die Wachstumshemmer TIBA und Atrinal verursachten eine starke Schwächung der apikalen Dominanz, was mit einer Förderung der Entwicklung von Seitentrieben verknüpft war. Der Ertrag wurde dabei vermindert.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In einem Freilandversuch führten wir im Rahmen eines "Screenings" die Prüfung von zehn Wachstumsregulatoren bei der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) durch. Wir wollten dabei herausfinden, ob die Blattapplikation dieser Wachstumsregulatoren eine Verbesserung der Ertragsstruktur der Ackerbohne bewirkt. Wir untersuchten drei verschiedene Konzentrationen in drei verschiedenen Entwicklungsstadien. Bei den drei Anwendungszeitpunkten (vor der Blüte, bei Vollblüte und bei abgehender Blüte) erwies sich der erste als der günstigste. Die starken Konzentrationen riefen zum Teil Schädigungen hervor. Während der Vegetationsperiode beobachteten wir hauptsächlich die Wirkung der Regulatoren auf das Sprosslängenwachstum, auf die Bildung von Seitentrieben, auf Nekrosen, auf Deformationen und auf Chlorosen. Die beiden Wachstumshemmer TIBA und Atrinal verminderten die apikale Dominanz sehr und verursachten gleichzeitig die Bildung von Seitentrieben. Wir stellten dabei ebenfalls Chlorosen und Deformationen bei diesen Pflanzen fest.

Gibberellinsäure (GA_3) förderte zeitweise das Sprosslängenwachstum stark und bewirkte interessante Verschiebungen in der Internodienlänge.

Bei der Bestimmung der Ertragskomponenten zum Zeitpunkt der Schlussernte stellten sich verschiedene Wachstumsregulatoren als ertragsvermindernd heraus. Besonders die wachstumshemmenden Substanzen übten einen negativen Einfluss auf den Ertrag aus. Einzig GA_3 führte im ersten Behandlungszeitpunkt (6-Blattstadium) und bei der mittleren Konzentration (10^{-4} M) zu einer klaren Verbesserung der Ertragsstruktur. Der Hülsenansatz wurde dabei signifikant erhöht. Die Anzahl Körner pro Pflanze sowie der Körnerertrag pro Pflanze nahmen ebenfalls zu, ohne jedoch signifikant grössere Werte zu erreichen. GA_3 steigerte die Erzeugung der Gesamttrockensubstanz um 21%, wobei diese Erhöhung nicht signifikant ist. Trotz dieser Zunahme änderte sich der Ernte-Index, verglichen mit demjenigen der Kontrollpflanzen nicht.

Im allgemeinen wird den wachstumsfördernden Regulatoren eine bessere Eignung zur Ertragssteigerung zugeschrieben als den wachstumshemmenden Wirkstoffen.

III. EINFLUSS VON GIBBERELLINSAEURE-APPLIKATIONEN AUF DAS WACHSTUM UND DEN ERTRAGSAUFBAU DER ACKERBOHNE

Feldversuche 1978 und 1979

A. FELDVERSUCH 1978

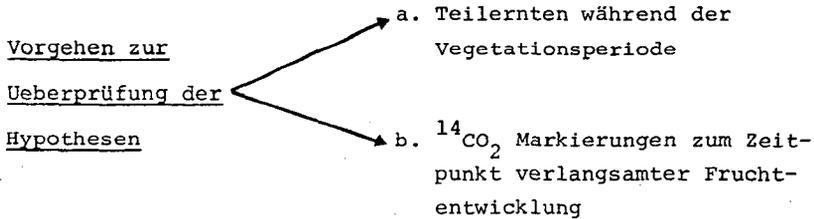
1. EINLEITUNG

Im ersten Versuchsjahr (1977) konnten wir mit einer GA_3 -Applikation im 6-Blattstadium und mit einer Konzentration von 10^{-4} M den Hülsenansatz bei der Ackerbohne signifikant erhöhen. Gestützt auf dieses positive Resultat entschlossen wir uns, im Sommer 1978 mit umfangreicheren Versuchen den Einfluss von GA_3 bei der Ackerbohne weiter zu untersuchen. Wir wollten dabei abklären, ob sich die im Sommer 1977 festgestellten positiven GA_3 -Wirkungen auf die Ertragsstruktur wiederholten, wollten sie genauer auf agronomisch wichtige Parameter untersuchen und eine mögliche Erklärung für deren Wirkungsweise finden.

1.1. Vorgehen und Arbeitsprogramm für die Versuche im Sommer 1978

Wir stellten für die Wirkungsweise von GA_3 zwei Hypothesen auf:

- a. GA_3 bewirkt eine grössere Blattfläche
- b. GA_3 bewirkt eine bessere Ernährung der jungen Früchte durch Assimilate während der Phase verlangsamter Fruchtentwicklung (Jaquiéry, 1977).



Wir führten zwei Feldversuche durch:

- a. Durchführung von Teilernten während der Vegetationsperiode nach der GA₃-Applikation

Zur ersten Hypothese

Wir gingen von der Annahme aus, dass GA₃ bei der Ackerbohne eine Vergrößerung der Blattfläche bewirkt, was zu einer gesteigerten Assimilation pro Pflanze führt. Dies führt zu größerem Hülsenansatz und größerem Kornertrag.

Wir wollten weiterhin das vegetative und das reproduktive Wachstum der mit GA₃ behandelten Pflanzen untersuchen. Zu diesem Zweck schalteten wir während der Vegetationsperiode verschiedene Teilernten ein. Daraus sollte die Bedeutung der vegetativen Masse für die Ertragsbildung beurteilt werden können.

- b. Durchführung von ¹⁴C-Markierungen nach der GA₃-Applikation

Zur zweiten Hypothese

Nach Jaquiéry (1977) tritt etwa 10 bis 14 Tage nach Blühbeginn die Periode verlangsamer Fruchtentwicklung ein. Die Früchte erhalten dabei zu wenig Assimilate und fallen ab. In unserem Versuch gingen wir von der Vermutung aus, dass GA₃ während dieser kritischen Entwicklungsphase eine bessere Versorgung

der Früchte mit Assimilaten bewirkt. Daraus könnte ein kleinerer Blüten- und Hülsenfall resultieren.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Versuchsort

Die Versuche wurden auf dem Areal der Versuchsstation des Instituts für Pflanzenbau der ETH-Z in Eschikon-Lindau angelegt ($8^{\circ} 41' 0''$ O, $47^{\circ} 27' N$; 550 m.ü.M.).

2.2. Versuchsboden

2.2.1. Bodenform

Die Bodenform gehört zu den "basereichen Braunerden" und ist ganz oder wenigstens im Obergrund entkarbonatet. In der Umtauschkapazität herrscht jedoch das Kalzium so stark vor, dass der Boden neutral oder nur schwach sauer reagiert. Es handelt sich um einen ausgesprochenen Akkumulationsboden, bei dem meistens Schichtungen und Ueberschüttungen von früheren Bodenbildungen anzutreffen sind. Das Bodenprofil ist deshalb tiefgründig, aber unausgeglichen im Aufbau.

2.2.2. Wasserhaushalt des Bodens

Die Bodenform "basenreiche Braunerde" hat normale Wasserspeicherung von 100 bis 200 mm (für eine Tiefe von 30 cm) und erlaubt ein ungestörtes Pflanzenwachstum während zwei bis vier Wochen ohne Regen.

2.2.3. Muttermaterial des Bodens

Das Muttermaterial des Bodens (Erdschicht von 0-2 m unter Terrain) besteht bei dieser Bodenform aus Moränelehm. Das führt zu steinigem, im Untergrund dicht gelagerten und schwer durchlässigen Böden.

2.2.4. Körnung, Humusgehalt und pH des Bodens

Es wurden folgende Anteile bestimmt: Sand 41%
 Silt 40%
 Ton 19%

Humusgehalt: 2.5%

pH: 6.7

Als Vorfrucht war Kunstwiese anzutreffen.

2.3. Versuchsanlage

Beide Versuche wurden gegen Hagelschlag geschützt. Wir benützten dabei Schutznetze der Marke "Grandilene, Typ Kristall" die auf "Hortuna-Bögen H5" aufgezogen wurden, so dass grosse Tunnels entstanden. Im Vergleich zu den Aussenwerten wurde die Absorption des Lichtes durch die Netze mit ca. 5% ermittelt.

Die Hagelschutznetze beeinträchtigten den Bienenflug nicht. Die Saat erfolgte am 29. März 1978.

Wenn nicht speziell erwähnt, gelten sonst die gleichen Versuchsbedingungen, wie sie im Kapitel I. Punkt 3, über "Allgemeine Versuchsmethodik" beschrieben wurden.

2.3.1. Versuch mit Teilernten nach der GA_3 -Applikation

Die Versuchsverfahren wurden in zufälliger Anordnung in Blöcke (randomized blocks) zusammengefasst und dreifach wiederholt. Als Wachstumsregulator verwendeten wir Gibberellinsäure GA_3 , die wir zu drei Anwendungszeitpunkten und in drei Konzentrationen applizierten.

Anwendungszeitpunkte:

Aus den Ergebnissen des Feldversuches 1977 war uns bekannt, dass damals das erste Applikationsdatum (6-Blattstadium) die beste Wirkung erzielt hatte. Wir veränderten deshalb die Anwendungszeitpunkte wie folgt:

Tabelle 9 Die gewählten Anwendungszeitpunkte im Feldversuch 1978

| | A N W E N D U N G S Z E I T P U N K T | | |
|----------------------------|---------------------------------------|---------|---------|
| | Erster | Zweiter | Dritter |
| Datum | 18. Mai | 27. Mai | 6. Juni |
| Tage n.d. Saat | 50 | 59 | 69 |
| Blattstadium | 4.1 | 6.0* | 10.1 |
| Ø Pflanzenhöhe | 13.8 cm | 28.0 cm | 57.3 cm |
| GA ₃ -Verfahren | 1 | 2 | 3 |

* Dies war das erfolgreiche Applikationsdatum im Feldversuch 1977. Das 6-Blattstadium entspricht etwa 5-6 Tagen vor Blühbeginn.

Die gewählten Konzentrationen

Beim Feldversuch 1977 hatte uns die mittlere GA₃-Konzentration (10^{-4} M) die besten Resultate geliefert. Deshalb veränderten wir 1978 die Konzentrationen wie folgt:

Tabelle 10 Die gewählten GA₃-Konzentrationen im Feldversuch 1978

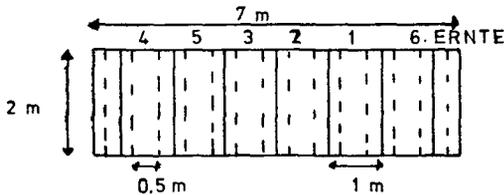
| | K O N Z E N T R A T I O N | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------|------------------------|
| | Starke | Mittlere | Schwache |
| | 3×10^{-4} M | 10^{-4} M | 3.3×10^{-5} M |
| GA ₃ -Verfahren | 1 | 2 | 3 |

Beispiel: GA_3 -Verfahren 2.2 → zweiter Anwendungszeitpunkt
 → mittlere Konzentration

Parzellenanordnung:

Die Parzellen mit 12 Reihen von 2 m Länge und 2 Randreihen massen $2 \times 7 \text{ m} = 14 \text{ m}^2$. Die ausgezählte Bestandesdichte in diesem Versuch betrug 26.2 Pflanzen pro m^2 .

Beispiel einer Ernteparzelle:



Die verwendeten Spritzmengen:

Um eine mögliche gleichmässige Benetzung der Pflanzen mit dem Wirkstoff zu gewährleisten, behandelten wir jede Reihe einzeln mit der GA_3 -Lösung. Als Applikationsmethode diente das "run-off" System, wie es im Kapitel I beschrieben wurde.

- Erster Anwendungszeitpunkt: 300 ml GA_3 -Lösung pro Reihe
- Zweiter Anwendungszeitpunkt: 450 ml GA_3 -Lösung pro Reihe
- Dritter Anwendungszeitpunkt: 800 ml GA_3 -Lösung pro Reihe

Teilernten:

Während der Vegetationsperiode schalteten wir acht Teilernten ein. Die Pflanzen der ersten drei Teilernten waren noch so klein, dass kein Randeinfluss vorhanden war. Da wir genügend Randreihen zur Verfügung hatten, konnten wir diesen ohne grosse Veränderungen des Bestandes genügend Pflanzen entnehmen. Für

jeden Erntezeitpunkt wurden fünf Pflanzen pro Parzelle (15 Pflanzen pro Verfahren) zufällig ausgewählt. Die Pflanzen wurden etwa im 4-Blattstadium mit einer farbigen Etikette am Haupttrieb markiert. Wegen des grossen Arbeitsaufwandes beschränkten wir uns auf die Teilernten von Pflanzen der mittleren GA_3 -Konzentration (erfolgreiche Konzentration im Sommer 1977), der drei Anwendungszeitpunkte und des Kontrollverfahrens. Bei der Schlussernte wurden alle Verfahren berücksichtigt. Der Stichprobenumfang bei der Schlussernte wurde auf acht Pflanzen pro Parzelle erhöht (24 Pflanzen pro Verfahren).

Bei den Teil- und Schlussernten wurden folgende Parameter erhoben:

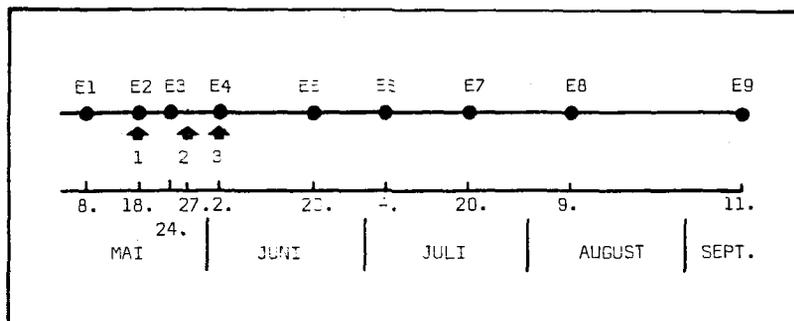
- Pflanzenhöhe
- Anzahl Früchte
- Trockenmasse der Früchte
- Internodienlängen
- Internodiendicke
- Ausbildung der Blattfläche
- Blattgewicht der trockenen Blätter
- Stengeltrockengewicht
- Wurzelgewicht

In Figur 14 sind die Daten der Teil- und Schlussernten aufgezzeichnet.

Das vegetative und das reproduktive Wachstum:

Während der Vegetationsperiode wurden, zusätzlich zu den Erhebungen der Teilernten, zweimal pro Woche die Pflanzenhöhe und die Zahl der Früchte beim Kontrollverfahren und bei der mittleren GA_3 -Konzentration in den drei Anwendungszeitpunkten untersucht.

Figur 14 Daten der Teil- und Schlussernten im Feldversuch 1978



▲ GA₃-Anwendungszeitpunkt

● Ernte Nummer von 1 bis 9 (E1 bis E9)

Schlussernte:

Bei der Schlussernte wurden die gleichen Erhebungen wie bei den Teilernten gemacht. Ausserdem bestimmten wir folgende Ertragskomponenten:

- Anzahl Hülsen pro Internodium
- Anzahl Körner pro Internodium
- Körnergewicht pro Internodium (Ertrag pro Pflanze in g)
- Einzelkorngewicht (mg)

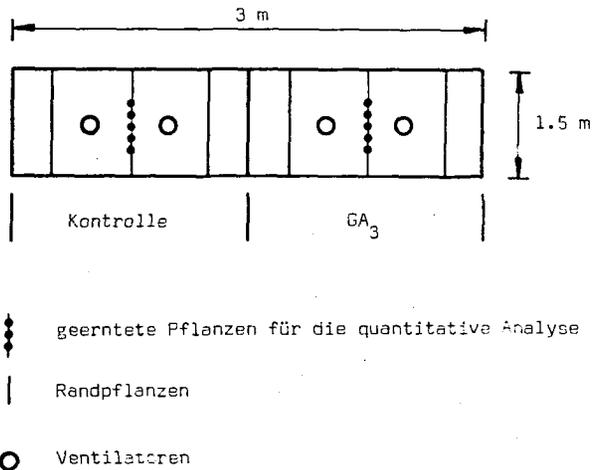
Bei der Schlussernte waren keine Blätter mehr vorhanden.

2.3.2. Versuch mit ¹⁴C-Markierungen und quantitativen Analysen nach der GA₃-Applikation

Um die zweite Hypothese zu überprüfen (siehe Punkt 1.1.) verwendeten wir ¹⁴C-Markierungen. Wir beschränkten uns hier darauf, den Einfluss einer GA₃-Applikation auf die Versorgung der

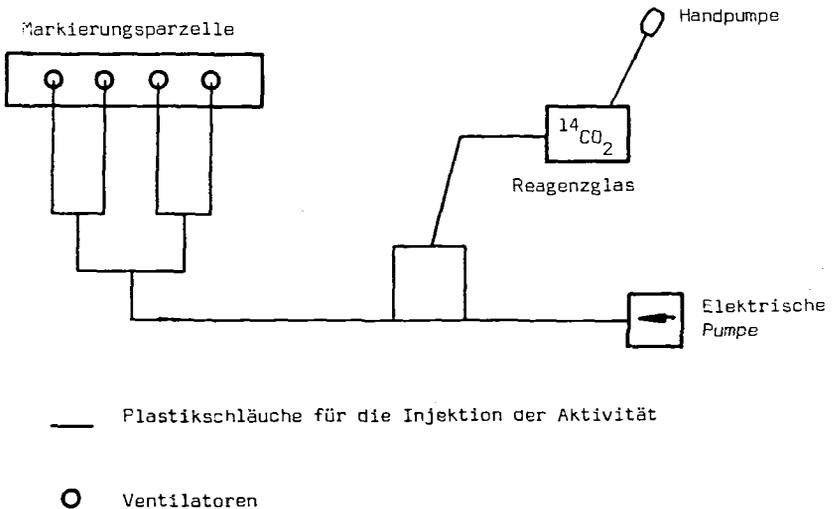
Früchte mit Assimilaten während der Phase der verlangsamten Fruchtentwicklung zu studieren. Diese tritt etwa 10 bis 14 Tage nach Blühbeginn ein (Jaquiéry, 1977). Um die durch die GA_3 -Applikation bewirkten Unterschiede ermitteln zu können, markierten wir die behandelten Pflanzen und die normalen Kontrollpflanzen zur selben Zeit mit ^{14}C . Zu diesem Zweck stellten wir ein Zelt aus Polypropylen her, in welchem alle Pflanzen einer Parzelle (1.5 x 3 m) untergebracht werden konnten. Eine solche Parzelle bestand aus sechs Reihen; an drei Reihen im 6-Blattstadium applizierten wir GA_3 (10^{-4} M), die anderen drei dienten als Kontrolle (Figur 15). Das Zeltdach wurde auf Metallbögen montiert, die in der Höhe den Pflanzen angepasst werden konnten. Das Zelt wurde am Boden mit Hilfe von wurstförmigen Sandsäcken festgehalten und abgedichtet. Vier kräftige Ventilatoren wurden im Zelt in Betrieb gesetzt.

Figur 15 Parzellenplan einer ^{14}C -Markierung im Feldversuch 1978



Die Aktivität (1 millicurie) wurde in einem Reagenzglas durch Zusatz von Milchsäure zu einer $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ -Lösung freigesetzt. Eine elektrische Pumpe beförderte das $^{14}\text{CO}_2$ durch Plastikschläuche in den Bereich der vier Ventilatoren. Der radioaktive Kohlenstoff wurde auf diese Weise innerhalb der ganzen Pflanzendecke im Zelt gut verteilt. Dieses System wird in Figur 16 beschrieben. Die Markierung dauerte jeweils eine Stunde, die Ernte der Früchte erfolgte 24 Stunden später. Jede Frucht wurde bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und auf der Analysenwaage gewogen. Die quantitative Analyse erfolgte mittels

Figur 16 Verteilsystem für $^{14}\text{CO}_2$



eines Beckman-Gerätes vom Typ LS 50, nachdem die jungen Früchte einzeln in einem Packard-Tri-Carb Sample Oxidizer verbrannt worden waren. Von diesen Einzelfrüchten kannten wir zudem das Gewicht, die Position innerhalb des Blütenstandes und das Alter. Pro Verfahren wurden fünf Pflanzen geerntet und zwei Markierungen durchgeführt.

Tabelle 12 Daten für die Markierungen (M) mit $^{14}\text{CO}_2$ im Feldversuch 1978

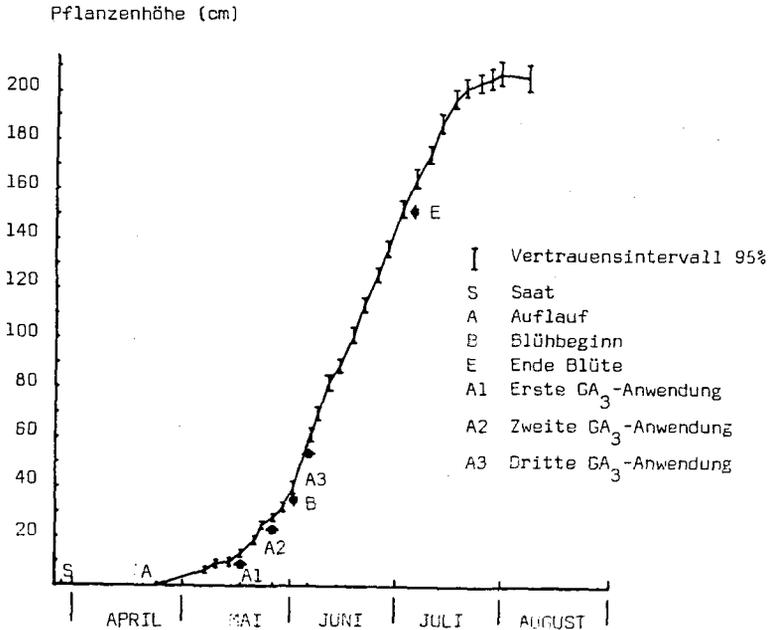
| Blühbeginn* | GA ₃ -Applikation | Datum der Markierung | |
|-------------|------------------------------|----------------------|----------|
| | | M1 | M2 |
| 5. Juni | 27. Mai | 14. Juni | 18. Juni |

* 50% der Pflanzen mit einer oder mehr Blüten.

2.4. Wachstumsverlauf

In Figur 17 ist die Wachstumskurve der Kontrollpflanzen für die Vegetationsperiode 1978 aufgezeichnet.

Figur 17 Wachstumskurve der Kontrollpflanzen des Feldversuches 1978
(Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



3. ERGEBNISSE UND KURZDISKUSSION

a. Durchführung von Teilernten während der Vegetationsperiode nach der GA₃-Applikation

3.1. Allgemeiner Einfluss des Anwendungszeitpunktes

Alle drei Anwendungszeitpunkte haben bei den erhobenen Merkmalen signifikante Wirkungen gezeigt. Wie im Feldversuch 1977, hat sich das 6-Blattstadium durchwegs als der beste Anwendungszeitpunkt erwiesen.

3.2. Allgemeiner Einfluss der GA₃-Konzentration

Von den drei benützten GA₃-Konzentrationen hat sich die mittlere (10^{-4} M) wiederum als die beste herausgestellt.

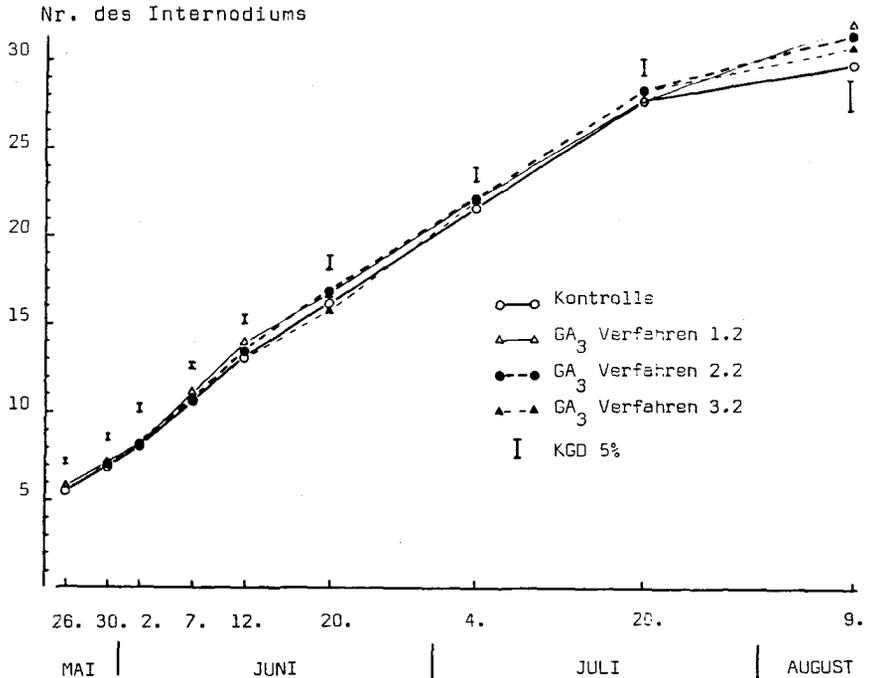
Bei den Erhebungen über das vegetative und reproduktive Wachstum sowie bei der Durchführung von Teilernten während der Vegetationsperiode beschränkten wir uns auf die mittlere GA₃-Konzentration (10^{-4} M) in den drei Anwendungszeitpunkten und auf das Kontrollverfahren.

3.3. Einfluss der GA₃-Applikation auf das vegetative Wachstum

3.3.1. Einfluss von GA₃ auf die Entwicklung der vegetativen Stadien

Der Einfluss von GA₃-Applikationen auf die Entwicklung der vegetativen Stadien ist in der Figur 18 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass bei den GA₃ behandelten Pflanzen lediglich die Tendenz einer Förderung der vegetativen Entwicklung festzustellen ist.

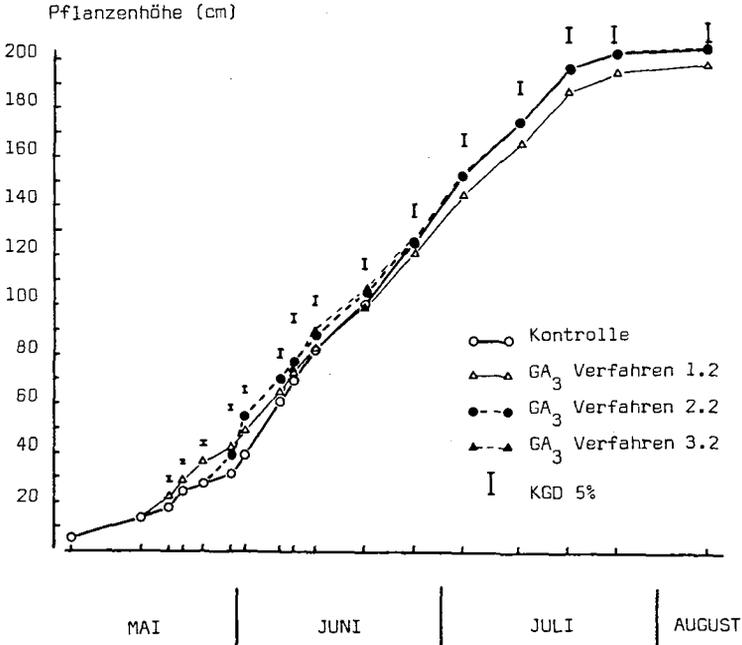
Figur 18 Einfluss von GA_3 auf die vegetative Entwicklung im Jahre 1978
(Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



3.3.2. Einfluss von GA_3 auf die Entwicklung der Pflanzenhöhe

Die GA_3 -Applikation in allen drei Zeitpunkten, besonders aber im ersten und zweiten, hat bereits nach einigen Tagen eine starke Zunahme des Sprosslängenwachstums bewirkt (Figur 19). Vom 22. Mai bis zum 19. Juni weisen die mit GA_3 behandelten Pflanzen signifikant bis hochsignifikant grössere Höhen auf. Vom 19. Juni bis zur Schlussernte sind keine Unterschiede mehr sichtbar. Einzig das GA_3 -Verfahren 1.2 zeigt vom 3. Juli bis zum 25. Juli eine signifikant kleinere Pflanzenhöhe.

Figur 19 Einfluss von GA_3 auf die Pflanzenhöhe im Jahre 1978
(Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



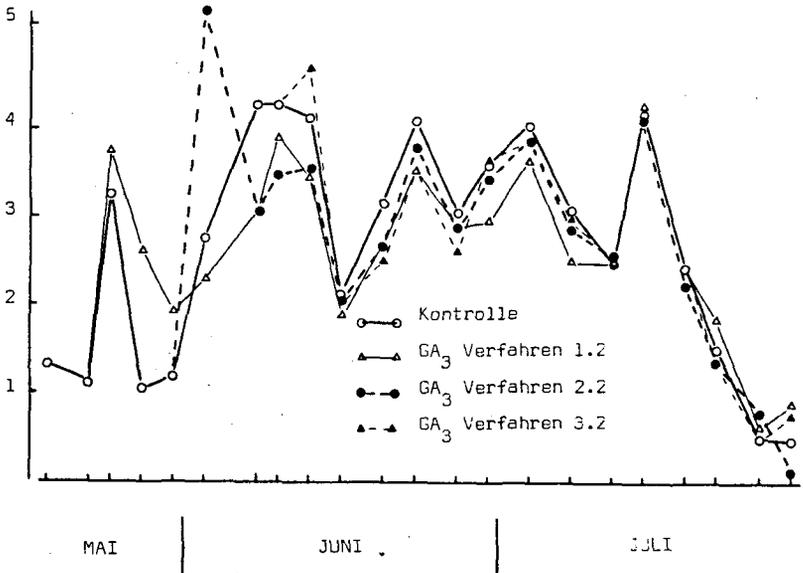
3.3.3. Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Rate des Längenwachstums

In Figur 20 ist die durchschnittliche Rate des Längenwachstums dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass nach jeder GA_3 -Applikation die durchschnittliche Wachstumsrate der jeweils behandelten Pflanzen zunächst beträchtlich gesteigert wurde. Nach der intensiven Zunahme tritt dann aber bald eine Abnahme der Wachstumsrate ein. GA_3 -Verfahren 2.2 hat diesbezüglich die stärksten Wirkungen gezeigt. Sechs Tage nach der GA_3 -Behandlung ist die durchschnittliche Wachstumsrate dieser Pflanzen von 5.34 cm/Tag Längenzunahme viel grösser als diejenige der Kon-

trolle, die 2.75 cm/Tag beträgt. Dies entspricht einer Steigerung der \emptyset Wachstumsrate um 94% verglichen mit der Kontrolle. Wenn wir aber die \emptyset Wachstumsrate dieses Verfahrens elf Tage nach der GA_3 -Applikation betrachten, so stellen wir eine Abnahme fest. Zu diesem Zeitpunkt beträgt die \emptyset Wachstumsrate der Kontrolle 4.25 cm/Tag, während das GA_3 -Verfahren 2.2 lediglich eine Längenzunahme von 3.3 cm/Tag aufweist. Prozentual ausgedrückt ist die \emptyset Wachstumsrate der GA_3 behandelten Pflanzen zu diesem Zeitpunkt um 40% kleiner als diejenige der Kontrolle. In einem späteren Zeitpunkt tritt dann wieder für alle Verfahren eine ähnliche Wachstumsrate ein.

Figur 20 Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Rate des Längenwachstums im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 18 Pflanzen.)

Durchschnittliche
Wachstumsrate (cm/Tag)



3.4. Einfluss von GA_3 auf das reproduktive Wachstum und auf den Fruchtfall

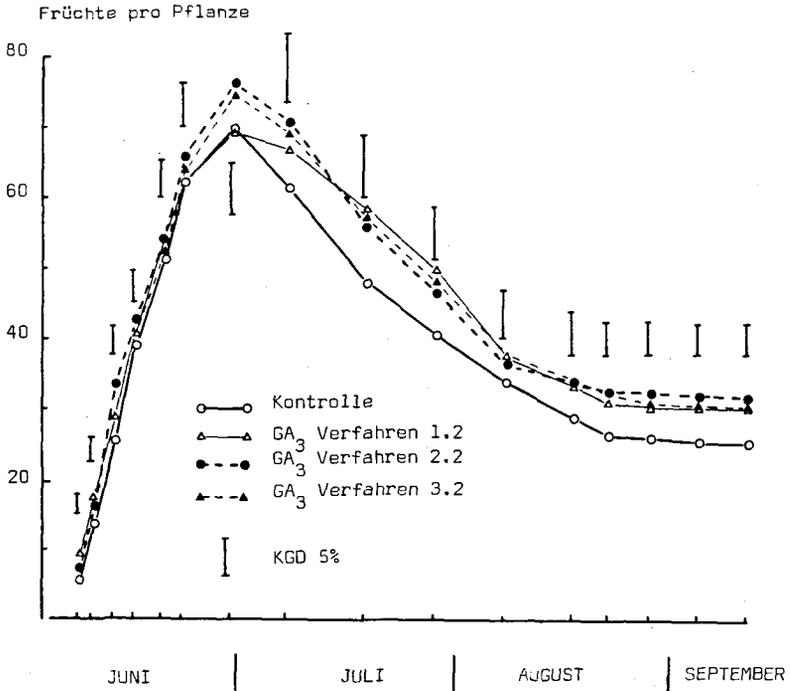
Im Jahre 1978 erstreckte sich die Blühdauer über ungefähr einen Monat, was als eine normale Blütezeit für Ackerbohnen zu betrachten ist. Nach dem Abschluss der Blüte (ca. Ende Juni) hielt das vegetative Wachstum für etwa einen Monat weiter an.

In Figur 21 ist der Einfluss von GA_3 -Behandlungen auf den Verlauf der Blüten- und Hülsenbildung während der Vegetationsperiode dargestellt. Bei allen GA_3 -behandelten Pflanzen ist eine grössere Fruchtbildung festzustellen als bei Kontrollpflanzen. Am ersten Erhebungsdatum nach Blühbeginn (7. Juni) weist das GA_3 -Verfahren 1.2, verglichen mit der Kontrolle, eine statistisch signifikant grössere Fruchtzahl auf (+63%). Am 12. Juni wird beim Verfahren 2.2 ebenfalls eine statistisch signifikant höhere Fruchtzahl festgestellt (+29%). An den übrigen Erhebungsdaten während der Vegetationsperiode zeigt sich, dass bei den GA_3 -Verfahren tendenzmässig weiterhin mehr Früchte pro Pflanze gebildet werden. Es treten dabei keine signifikanten Werte auf, weil bereits abgestorbene Früchte noch lang am Blütenstand hängen bleiben, bis sie dann endgültig abfallen. Der geringere Fruchtfall bei den GA_3 behandelten Pflanzen kommt beim letzten Erhebungsdatum (4. September) und bei der Schlussernte (11. September) zum Ausdruck. Der zweite und der dritte Anwendungszeitpunkt bewirkten einen signifikant höheren Hülsenansatz im Vergleich zur Kontrolle. Die grösste Hülsenanzahl erreichten wir mit dem Verfahren 2.2, bei dem wir den Hülsenansatz um 25% steigern konnten.

In Figur 22 ist der Einfluss von GA_3 auf die Entwicklung der Zahl der Früchte je Internodium dargestellt. Alle GA_3 -Verfahren verhielten sich im Hinblick auf diesen Parameter ähnlich. Der Uebersichtlichkeit wegen beschränken wir uns in der graphischen Darstellung auf die Aufzeichnung des Verfahrens 2.2 und der Kontrolle.

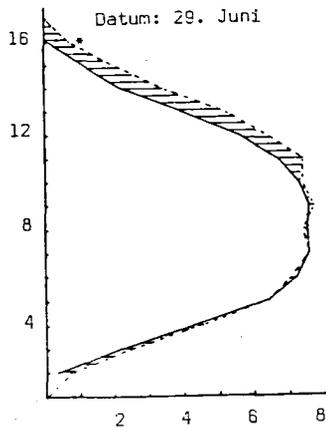
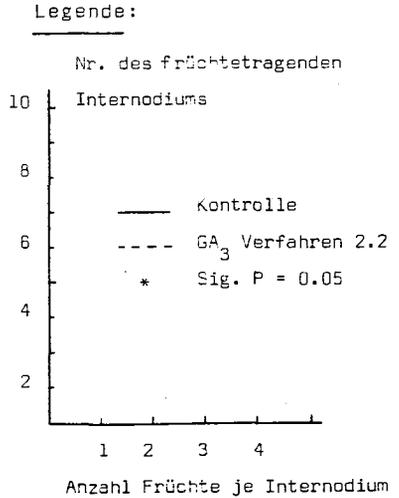
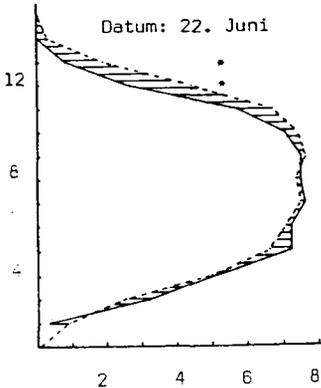
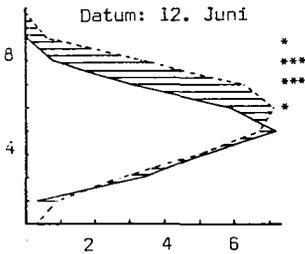
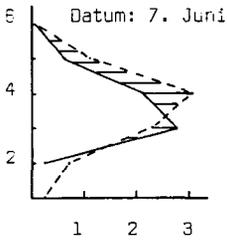
Schon am ersten Erhebungsdatum (7. Juni) ist zu beobachten, dass die mit GA_3 behandelten Pflanzen mehr Früchte je Interno-

Figur 21 Einfluss von GA_3 auf die Anzahl Früchte pro Pflanze im Verlaufe der Entwicklung im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)

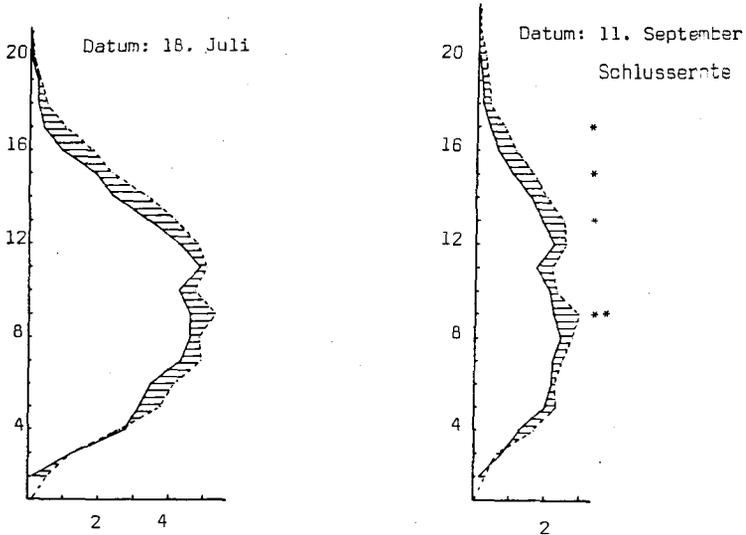


dium aufweisen. Am 12. Juni tragen die mit GA_3 behandelten Pflanzen je Internodium eindeutig mehr Früchte, und zwar in den oberen Internodien, wo die entsprechenden Zahlen signifikant höher sind als bei den Kontrollpflanzen. Die unteren Internodien (vom 1. bis zum 6.) zeigen zu diesem Zeitpunkt keine Unterschiede. Es scheint, dass GA_3 den Entwicklungsrythmus der Pflanze beschleunigt, so dass auch die Fruchtbildung gefördert wird. Ein ähnliches Bild ist am 22. und 29. Juni zu beobachten. Beim nächsten Erhebungsdatum (18. Juli) ist die Blüte bereits zu Ende. Die behandelten Pflanzen weisen je Internodium eine nicht signifikant grössere Fruchtzahl auf als diejenigen der Kontrolle. Im

Figur 22 Einfluss von GA_3 auf die Verteilung der Früchte entlang des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 18 Pflanzen)



Figur 22 (Fortsetzung)



Zeitpunkt der Schlussernte (11. September) tragen die mit GA_3 behandelten Pflanzen immer noch eine grössere Hülsenanzahl je Internodium. Bei einigen Internodien sind die höheren Werte sogar statistisch signifikant.

3.5. Einfluss von GA_3 auf die erhobenen Parameter bei den Teilernten

3.5.1. Einfluss von GA_3 auf die Internodienlänge

Der Einfluss von GA_3 auf die Internodienlänge hält sich im gleichen Rahmen wie im Jahre 1977. Bei den Teilernten erhielten wir zusätzliche Angaben über die Veränderung dieses Parameters während des vegetativen Wachstums. Nach allen drei Anwendungszeitpunkten der mittleren GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) wiesen die Pflanzen ähnliche Verschiebungen bezüglich der Internodienlänge auf.

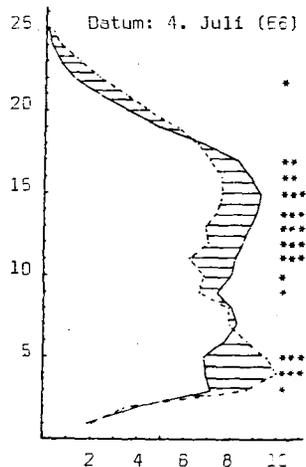
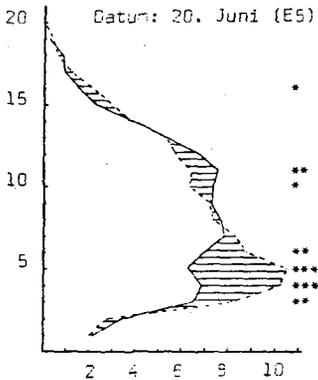
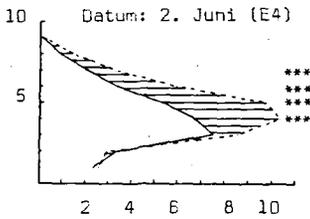
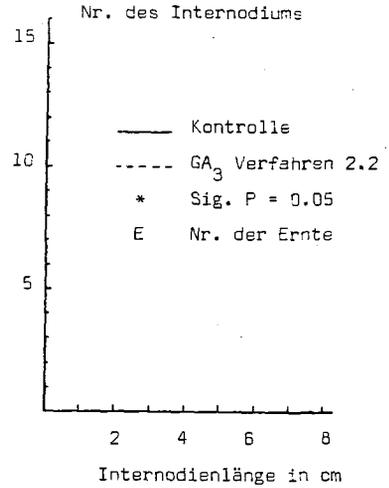
In Figur 23 ist der Zustand der Internodienlänge an den verschiedenen Erntedaten dargestellt. Verfahren 2.2 zeigt am 2. Juni (6 Tage nach der GA_3 -Applikation) eine starke Streckung der Internodien. An den späteren Erhebungsdaten ist festzustellen, dass die unteren Internodien der mit GA_3 behandelten Pflanzen länger, die mittleren kürzer und die obersten wiederum länger sind als diejenigen der unbehandelten Pflanzen. Die Differenzen sind bei den meisten Internodien statistisch hochsignifikant.

3.5.2. Einfluss von GA_3 auf den Durchmesser der Stengel

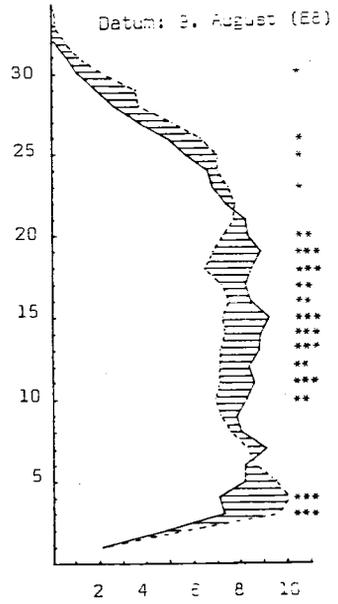
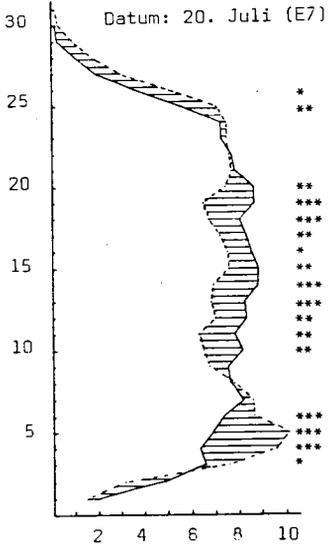
Während der ganzen Vegetationsperiode war bei der Internodienlänge eine ähnliche Wirkung festzustellen; die Internodienlänge hingegen entwickelte sich nach der GA_3 -Behandlung unterschiedlich. Die Ergebnisse der Teilernten sind in Figur 24 aufgezeichnet. Die Ernte vom 2. Juni zeigt, verglichen mit der Kontrolle, eine Zunahme des Dickenwachstums der unteren Internodien. Am 20. Juni sind keine klaren Unterschiede mehr zu beobachten. Bei den Kontrollpflanzen zeigt die nächste Ernte (4. Juli) bei den unteren Internodien (vom 3. bis zum 17. Internodium) eine signifikante Zunahme der Dicke. Die oberen Internodien weisen hingegen nach der GA_3 -Behandlung die Tendenz auf, dicker zu sein. Ein ähnliches Bild findet sich am 20. Juli und 9. August wieder. Am 9. August lässt jedoch kein Internodium statistisch signifikante Unterschiede erkennen. Im Zeitpunkt der Schlussernte (11. September) hat sich das Bild stark verändert. Praktisch alle Internodien der mit GA_3 behandelten Pflanzen sind dicker als diejenigen der Kontrollpflanzen.

Figur 23 Einfluss von GA_3 auf die Länge der Internodien des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978
(Mittelwerte aus 15 Pflanzen)

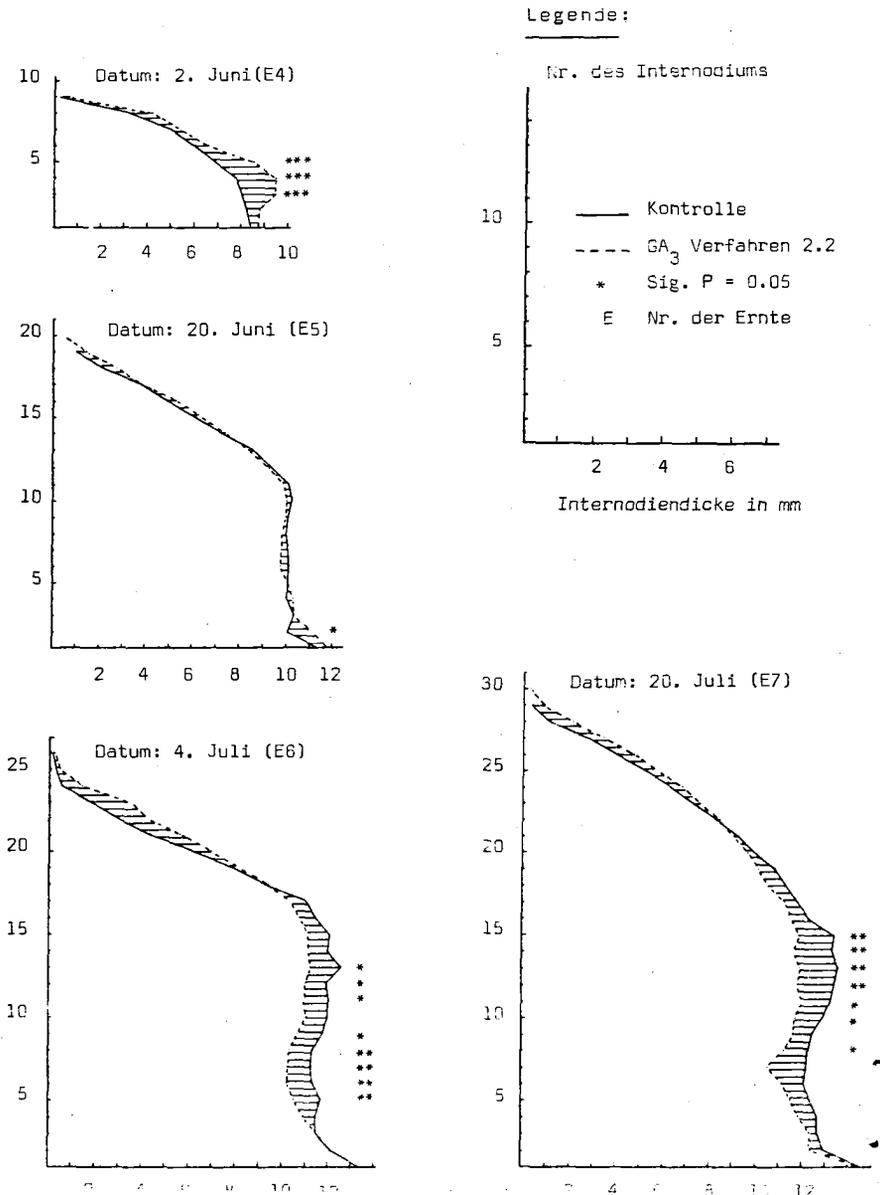
Legende:



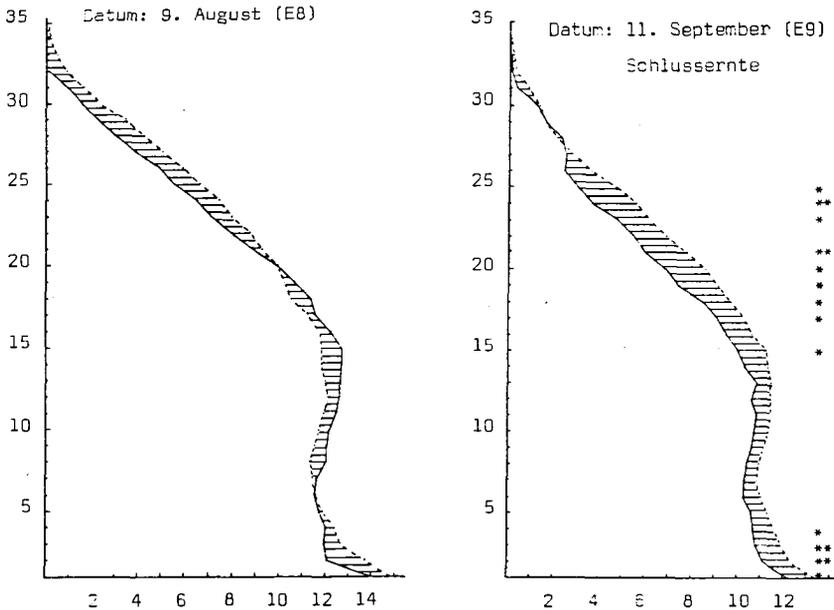
Figur 23 (Fortsetzung)



Figur 24 Einfluss von GA₃ auf den Durchmesser der Internodien des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten (Mittelwerte aus 15 Pflanzen, bei der Schlussernte 24 Pflanzen)



Figur 24 (Fortsetzung)

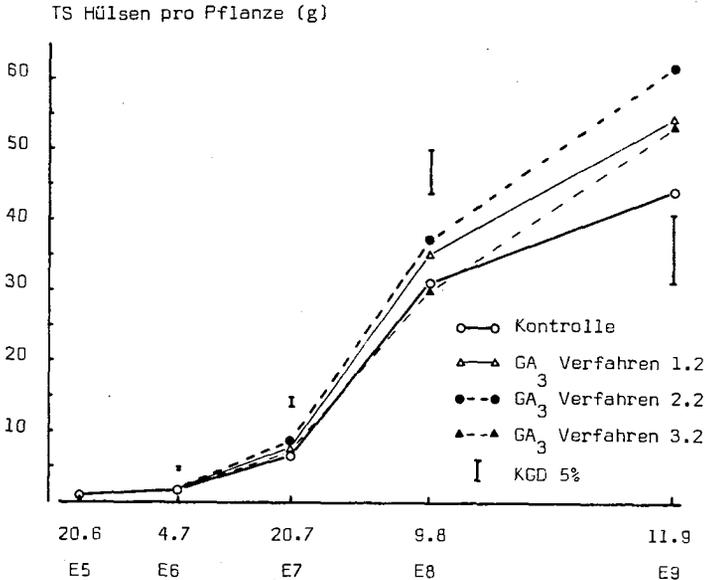


3.5.3. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der reproduktiven Organe (Hülsen und Körner)

Bei den Teilernten war es schwierig, das Trockengewicht der Körner zu bestimmen, so dass wir jeweils die jungen Körner mit den Hülsenblättern zusammen wogen. In Figur 25 ist die Entwicklung der Trockenmasse der Hülsen dargestellt. Die Ergebnisse vom 4. und 20. Juli zeigen, dass die Trockenmasse-Bildung der reproduktiven Organe langsam vor sich geht. Am 20. Juli weist jedoch das GA_3 -Verfahren 2.2, verglichen mit der Kontrolle, bereits eine signifikant höhere Trockenmasse der Hülsen auf (+31%). Vom 20. Juli an ist bei den GA_3 -Verfahren die Tendenz einer grösseren Trockenmasse-Produktion der Hülsen zu beobachten.

Bei den folgenden Ernten ist klar ersichtlich, dass das GA_3 -Verfahren 2.2 die grösste Hülsen-Trockenmasse hat.

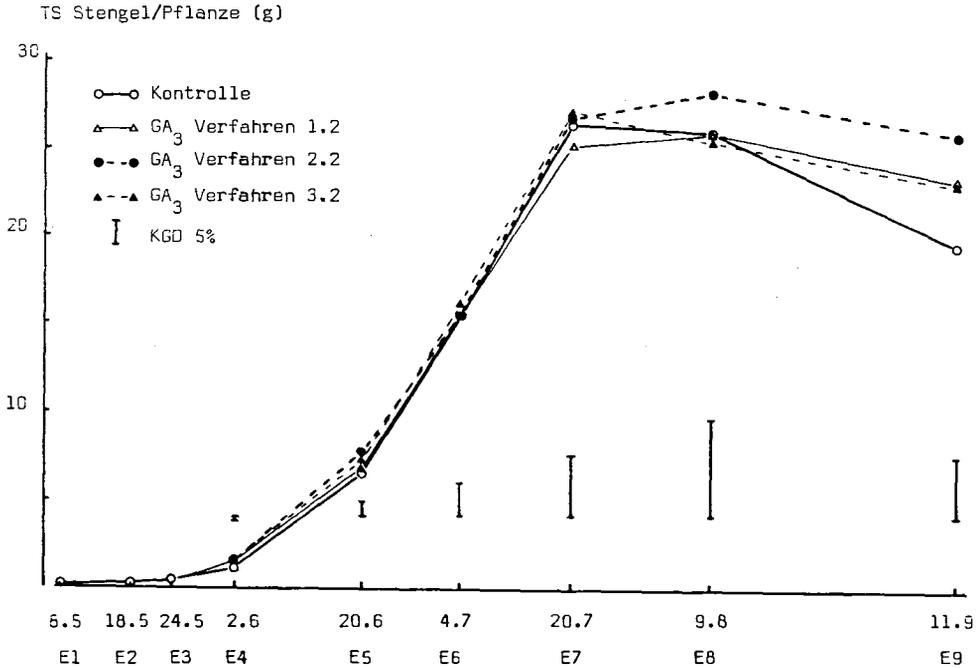
Figur 25 Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Hülsen pro Pflanze zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen, bei der Schlussenernte 24 Pflanzen)



3.5.4. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Stengel

Die Entwicklung der Trockensubstanzproduktion des Haupttriebes während der Vegetationsperiode ist in Figur 26 aufgezeichnet. Nach der GA_3 -Applikation zeigt sich für die Ernten vom 2. Juni (Verfahren 1.2 und 2.2) und 20. Juni (Verfahren 2.2) eine signifikante Zunahme der Trockensubstanzproduktion bei den behandelten Pflanzen. Am 2. Juni weist das Verfahren 2.2 eine um 34% grössere Trockenmasse der Stengel auf. In den nächsten zwei Ernten ist

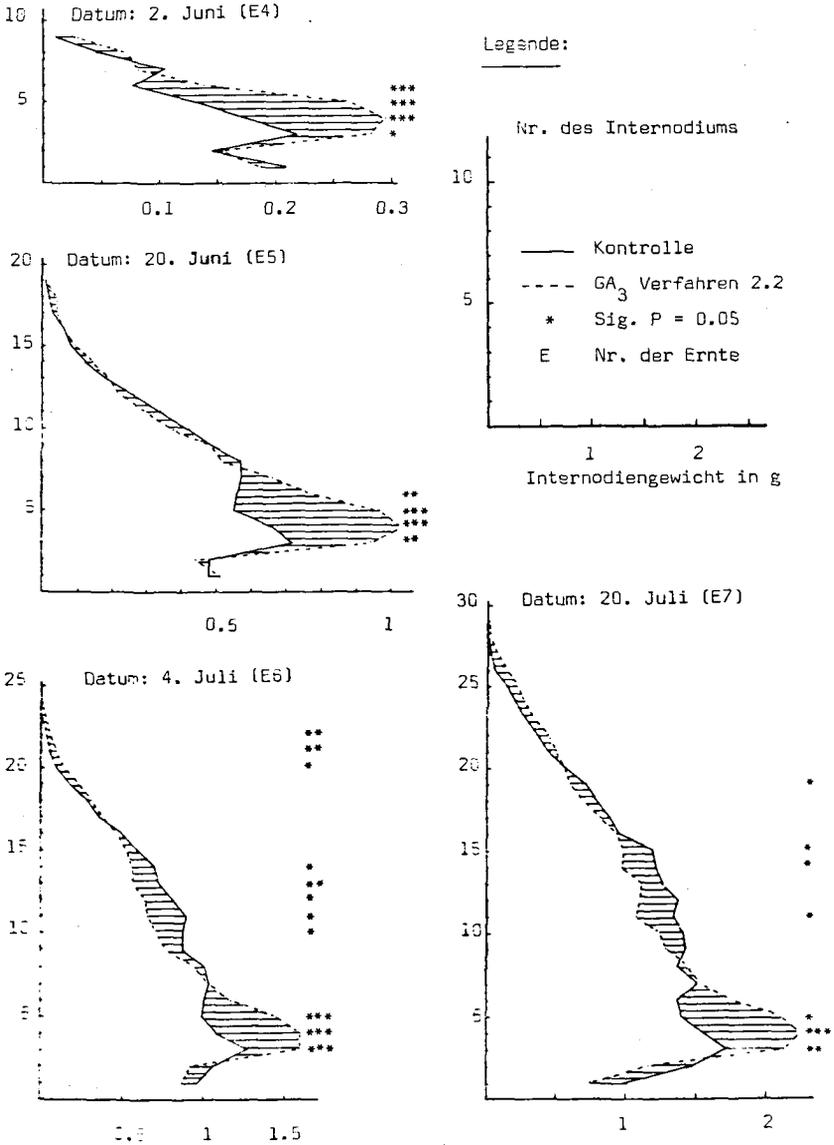
Figur 26 Einfluss von GA_3 auf die gesamte Trockenmasse der Stengel pro Pflanze zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978. (Mittelwerte aus 15 Pflanzen, bei der Schlussernte 24 Pflanzen)



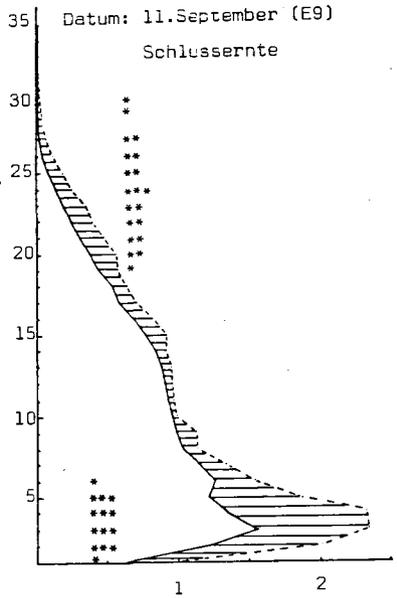
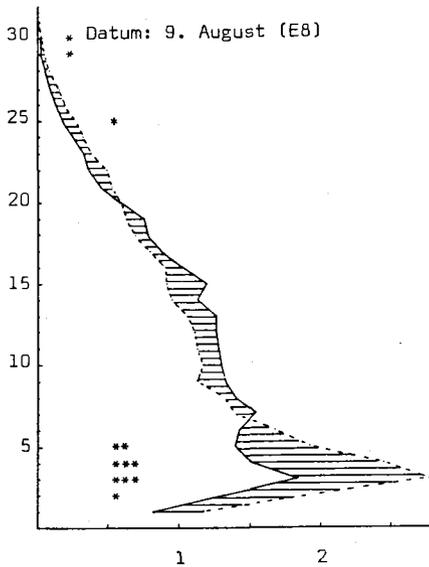
kein Unterschied in der Trockenmasse der Stengel zu beobachten. Erst wieder nach der Ernte vom 20. Juli wird sichtbar, dass die GA_3 -Verfahren, und besonders der zweite Anwendungszeitpunkt, eine grössere Stengel-Trockenmasse bewirkt haben. Alle drei GA_3 -Verfahren ergaben bei der Schlussernte (11. September) eine signifikant grössere Trockenmasse der Stengel als die Kontrolle. Verfahren 2.2 hat die grösste Trockenmasse der Stengel verursacht (+38%).

Zum Zeitpunkt der Teilernten lassen sich bei der gesamten Trockenmasse der Stengel pro Pflanze zuweilen keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisen, hingegen verläuft die Stengel-Trockengewichtproduktion je Internodium (Figur 27) während der ganzen Vegetationsperiode mit klaren Unterschieden. Alle drei Anwendungen der mittleren Konzentration führten diesbezüglich zu ähnlichen Ergebnissen. In Figur 27 haben wir jedoch nur die zweite Applikation aufgezeichnet. Am 2. Juni (sechs Tage nach der GA_3 -Behandlung) ist vom 2. bis zum 6. Internodium eine starke Zunahme der Trockenmasse zu beobachten. Das sind die gleichen Internodien, die nach der GA_3 -Behandlung eine starke Streckung erfahren haben (vgl. Figur 23). Am 20. Juni haben die unteren Internodien immer noch ein grösseres Gewicht als die Kontrolle. Ca. vom 9. bis zum 13. Internodium ist die Trockenmasse je Internodium beim GA_3 -Verfahren tendenzmässig kleiner. Es ist also hier die gleiche Entwicklung wie bei der Internodienlänge festzustellen. Die obersten Internodien sind schwerer als diejenigen der Kontrolle. Bei den nächsten zwei Ernten sieht das Bild ähnlich aus wie am 20. Juni. Am 9. August und besonders zum Zeitpunkt der Schluss-ernte (11. September) können wir ein verändertes Verhalten beobachten. Vor allem bei den Internodien ohne Hülsenansatz (ca. vom 1. bis zum 6. und vom 20. bis zum 31.) können wir beim GA_3 -Verfahren ein grösseres Stengelgewicht je Internodium verzeichnen, während die meisten fertilen Internodien (die fruchttragenden) am 9. August keinen signifikanten Unterschied und bei der Schluss-ernte sogar ein leicht grösseres Stengelgewicht aufweisen als diejenigen der Kontrolle. Bei der Schluss-ernte sind auch der erste und der zweite Anwendungszeitpunkt aufgezeichnet (Figur 27 a). GA_3 -Verfahren 1.2 ergibt ähnliche Resultate wie GA_3 -Verfahren 2.2. GA_3 -Verfahren 3.2 zeigt, verglichen mit den beiden anderen GA_3 -Verfahren, weniger klare Verschiebungen im Stengelgewicht je Internodium.

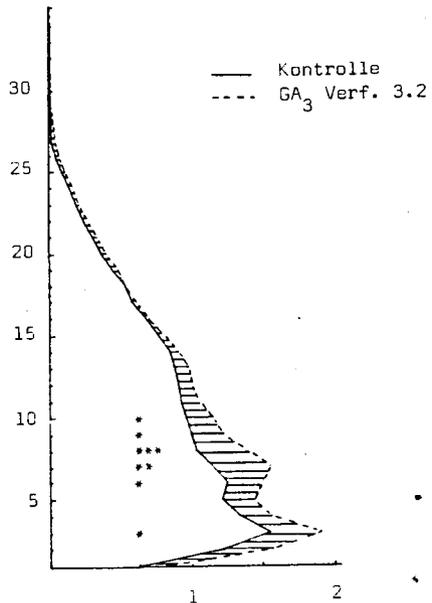
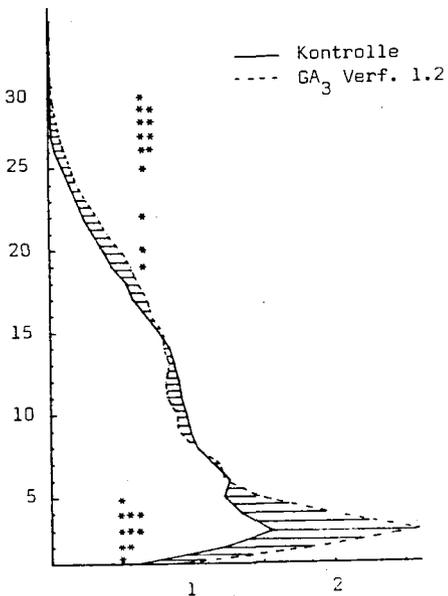
Figur 27 Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Internodien des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978
(Mittelwerte aus 15 Pflanzen, bei der Schlusserte 24 Pflanzen)



Figur 27 (Fortsetzung)



Figur 27 a (Schlussernte 11. September)

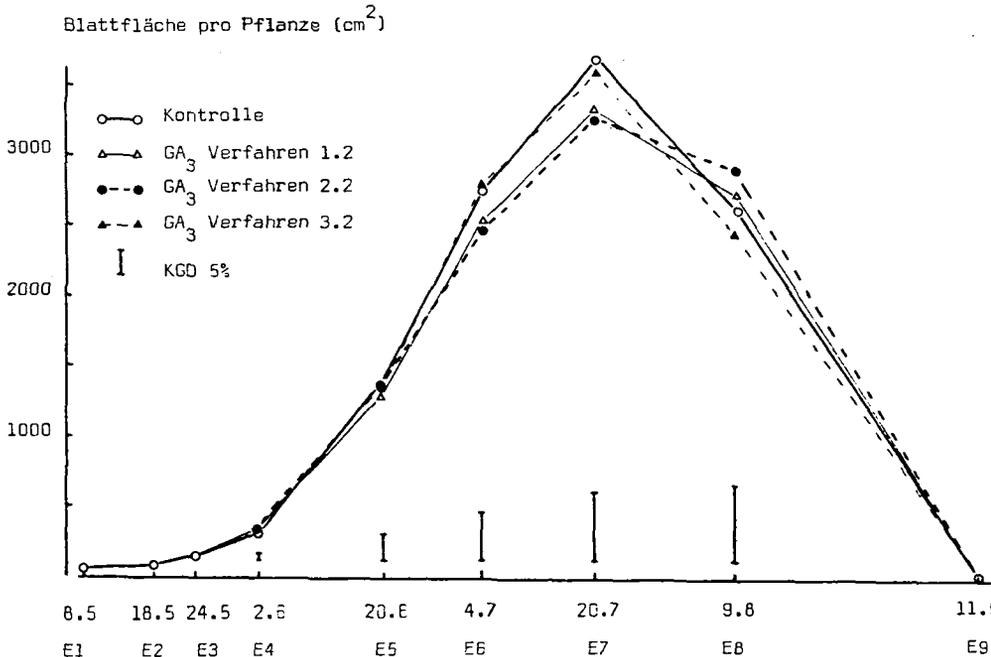


3.5.5. Einfluss von GA₃ auf die Blattfläche

Von den GA₃-Applikationen erwarteten wir eine Zunahme der Blattfläche.

In Figur 28 ist die gesamte Blattfläche pro Pflanze zu den verschiedenen Erntedaten aufgezeichnet. Bis zur 7. Teilernte (20. Juli) weist die Kontrolle die grössere Blattfläche im Vergleich zu den GA₃ behandelten Pflanzen auf. Erst bei der 8. Teilernte (9. August) weisen die GA₃-Verfahren 1.2 und 2.2 eine allerdings

Figur 28 Einfluss von GA₃ auf die Entwicklung der Blattfläche pro Pflanze im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)



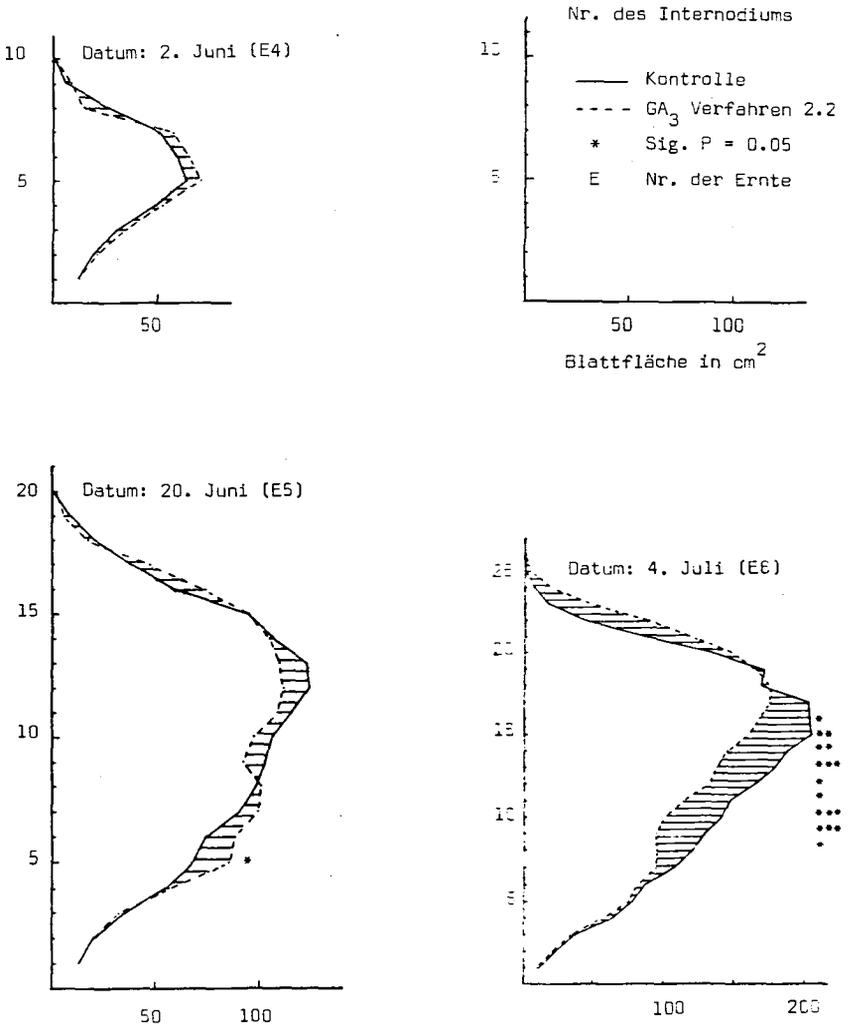
nicht signifikant grössere Blattfläche auf. Mit diesen Ergebnissen kann somit unsere Hypothese nicht gestützt werden. Ein anderes Bild ergibt sich, wenn wir die Blattfläche pro Internodium betrachten (Figur 29). Am 2. Juni (sechs Tage nach der GA_3 -Applikation) zeigt GA_3 -Verfahren 2.2 keinen klaren Unterschied, verglichen mit der Kontrolle. Bei der nächsten Ernte (20. Juni) ergeben sich ähnliche Verschiebungen der Blattfläche pro Internodium, wie wir sie schon bei den Veränderungen der Internodienlängen und des Internodiengewichts (Figuren 23 und 27) beobachten konnten. Dort, wo die Internodien länger sind, können wir eine grössere Blattfläche pro Internodium feststellen, und dort, wo sie kürzer sind, ist auch die Blattfläche kleiner. Am 4. und 20. Juli haben die verkürzten Internodien eine hochsignifikant kleinere Blattfläche pro Internodium, während die oberen Internodien eine grössere Blattfläche pro Internodium besitzen. Am 9. August sind es hauptsächlich die oberen Internodien, die eine grössere Blattfläche pro Internodium aufweisen.

3.5.6. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Blätter

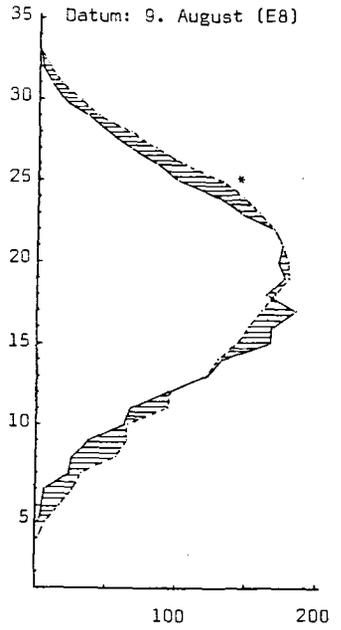
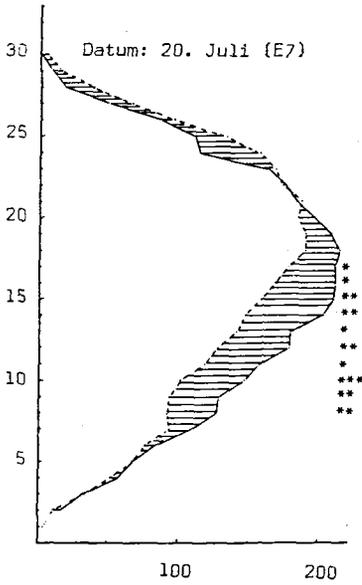
Im gleichen Rahmen wie die Bildung der gesamten Blattfläche pro Pflanze und pro Internodium hielt sich die Trockensubstanzproduktion der Blätter. In Figur 30 haben wir lediglich die Trockenmasse der Blätter pro Internodium am 20. Juli aufgezeichnet. Die verkürzten Internodien haben das geringere Blattgewicht pro Internodium, während die längeren Internodien schwerere Blätter bis zum Abreifen besitzen.

Figur 29 Einfluss von GA_3 auf die Blattfläche pro Internodium entlang des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)

Legende:



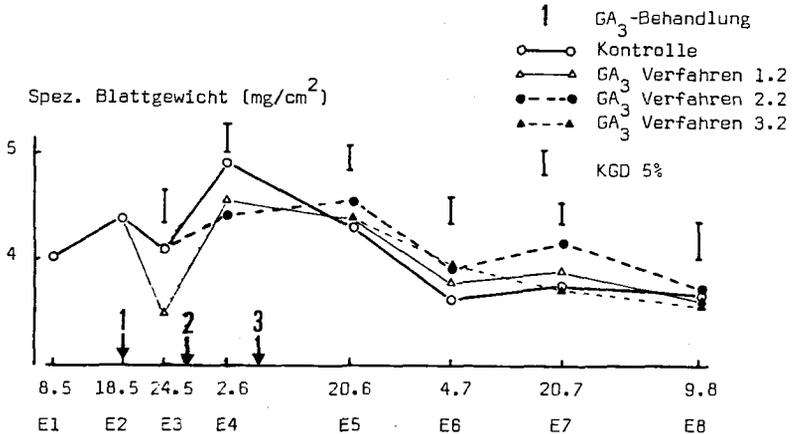
Figur 29 (Fortsetzung)



3.5.7. Einfluss von GA_3 auf das spezifische Blattgewicht

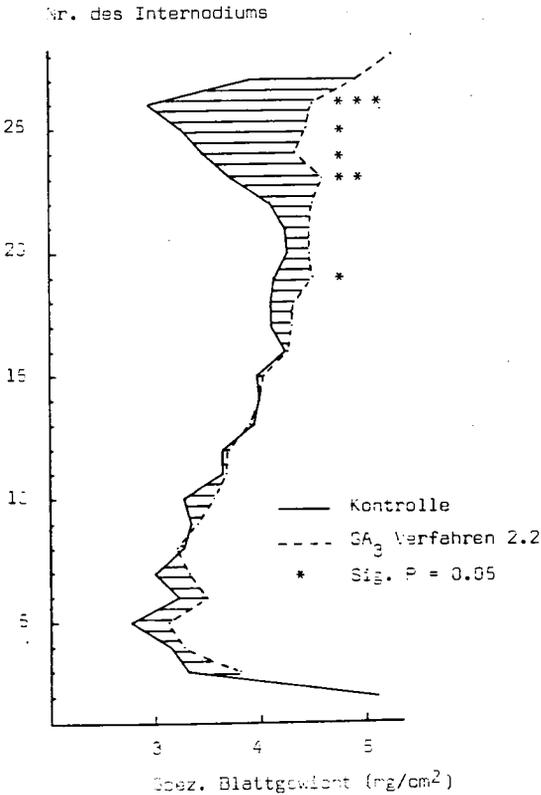
In Figur 31 sind die Veränderungen des spezifischen Blattgewichtes nach den drei GA_3 -Anwendungszeitpunkten und jene der Kontrolle dargestellt. Bei den Teilernten vom 24. Mai und 2. Juni, also kurz nach den GA_3 -Applikationen, haben die GA_3 -Verfahren ein signifikant kleineres spezifisches Blattgewicht als die Kontrolle. Bei den nächsten drei Ernten hingegen weisen die GA_3 -Verfahren und besonders Verfahren 2.2 ein signifikant höheres spezifisches Blattgewicht auf. Ein deutlich grösseres spezifisches Blattgewicht erbringt Verfahren 2.2 am 20. Juli. Zu diesem Zeitpunkt ist die Blüte schon lange zu Ende, und wir befinden uns in der Kornfüllungsphase.

Figur 31 Einfluss von GA_3 auf das spezifische Blattgewicht zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)



In Figur 32 haben wir das spezifische Blattgewicht je Internodium beim Verfahren 2.2 am 20. Juli aufgezeichnet. Wir können zu diesem Zeitpunkt feststellen, dass die oberen Internodien des GA₃-Verfahrens ein höheres spezifisches Blattgewicht aufweisen.

Figur 32 Einfluss von GA₃ auf das spezifische Blattgewicht entlang des Haupttriebes am 20. Juli 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)

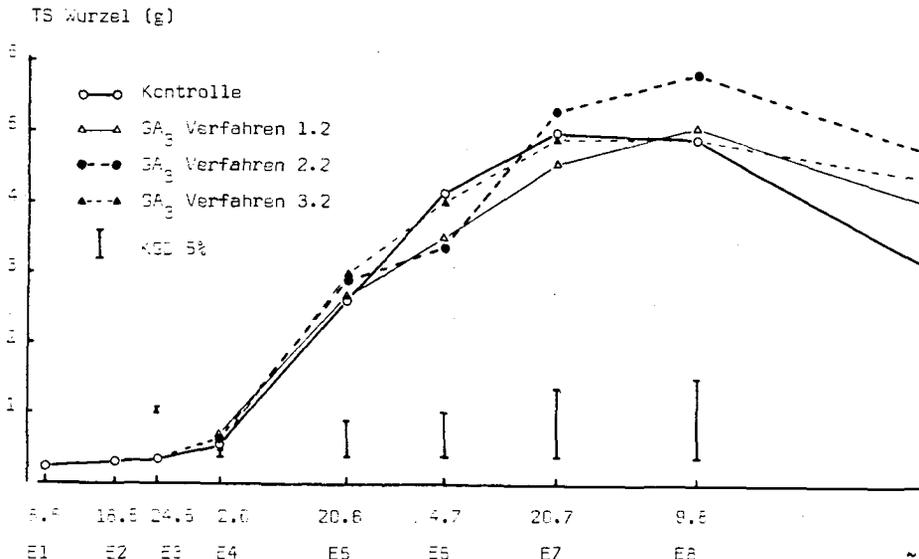


3.5.8. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Wurzel

Nach GA_3 -Applikationen erwartet man in der Regel, dass das Sprosslängenwachstum gefördert und das Wurzelwachstum gehemmt wird. Die methodische Bestimmung des Wurzelgewichtes ist in Kapitel I. Abschnitt 3.5 beschrieben.

Während der Vegetationsperiode (Figur 33) ist am Anfang der Wurzelentwicklung kein klarer Unterschied zwischen den Verfahren festzustellen. Verfahren 1.2 weist jedoch bereits am 2. Juni (15 Tage nach der GA_3 -Behandlung) eine signifikant grössere (+21%) Trockenmasse der Wurzel als die Kontrolle auf. Verfahren 2.2 zeigt (ausser am 4. Juli) die Tendenz, die grösste Wurzel-Trockenmasse zu produzieren. Zum Zeitpunkt der Schlussernte (11.

Figur 33 Einfluss von GA_3 auf das Wurzelgewicht zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen, bei der Schlussernte 24 Pflanzen)

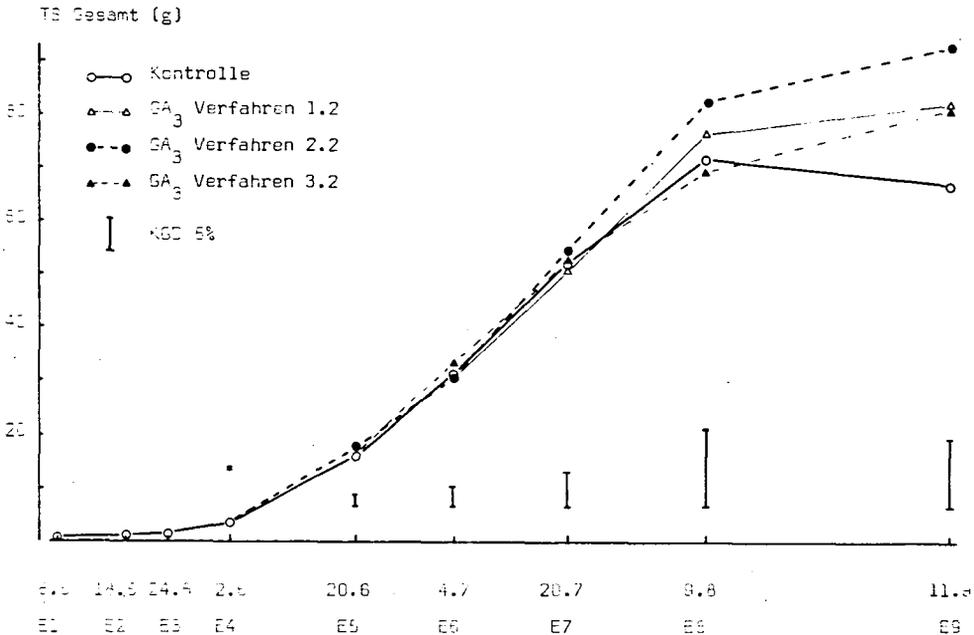


September) haben alle GA_3 -Verfahren statistisch gesicherte höhere Wurzelgewichte. Verfahren 2.2 verursachte die grösste Zunahme der Wurzel-Trockenmasse (+54%).

3.5.9. Einfluss von GA_3 auf die gesamte Trockenmasse

In Figur 34 ist die Entwicklung der Trockenmasse je Pflanze während der ganzen Vegetationsperiode dargestellt. Kurz nach der Applikation steigert GA_3 die Trockenmasse-Produktion. Am 2. Juni ist die Trockenmasse für den ersten und zweiten Anwendungszeitpunkt (in der Graphik nicht zu sehen) signifikant höher. Bei den nachfolgenden Ernten sind die Unterschiede nicht mehr signifikant. Erst wieder zum Zeitpunkt der Schlussernte (11. September) wird die signifikant grössere Trockenmasse der GA_3 behandelten Pflanzen sichtbar. GA_3 -Verfahren 2.2 bewirkt die grösste Trockenmasse-Produktion (+38%).

Figur 34 Einfluss von GA_3 auf die gesamte Trockenmasse pro Pflanze zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen, bei der Schlussernte 24 Pflanzen)



3.5.10. Einfluss von GA_3 auf die Blattflächedauer (LAD) und auf die durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR})

Gehriger (1979 b) berechnete in seinen Köpfversuchen bei Ackerbohnen die Blattflächedauer (LAD) und versuchte diese mit dem Körnerertrag in Beziehung zu bringen. Er konnte dabei eine signifikante Korrelation zwischen der Blattflächedauer und dem Ertrag berechnen. Er weist selber darauf hin, dass wegen der kleinen Zahl der berechneten Wertepaare seine ermittelte Korrelation mit Vorsicht zu interpretieren sei. Sein interessantes Resultat veranlasste uns, ebenfalls die Blattflächedauer zu berechnen (Tabelle 13).

Tabelle 13 Einfluss von GA_3 (Verfahren 2.2) auf die Blattflächedauer pro Pflanze (LAD) vom 2. Juni bis zum 11. September 1978

| | Blattflächedauer (LAD) ($dm^2 \times Tag$) | | | |
|------------|--|--------|--------|-----------|
| | I Wh | II Wh | III Wh | \bar{X} |
| Kontrolle | 2005.8 | 1865.0 | 1784.4 | 1885.1 |
| GA_3 2.2 | 1716.8 | 1750.2 | 2013.7 | 1826.9 |

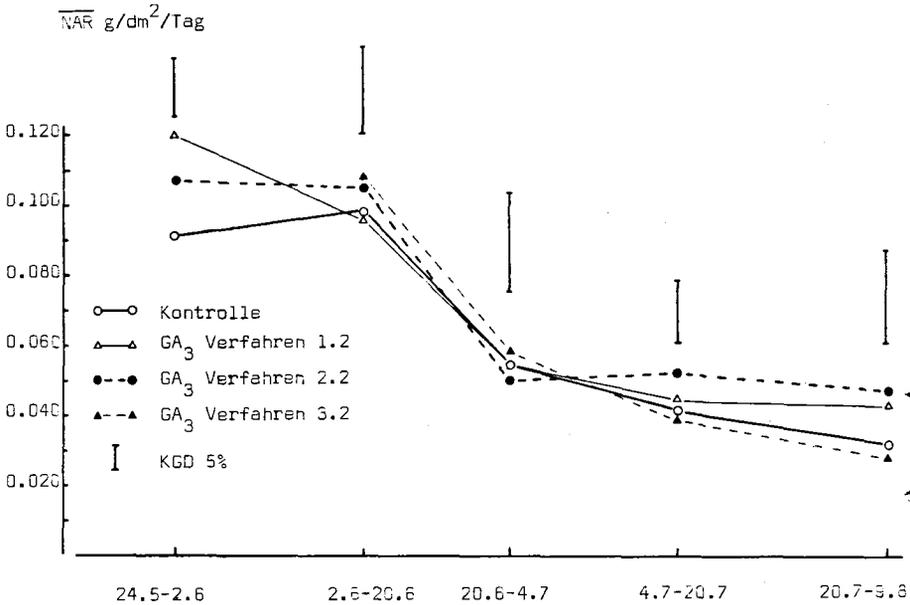
Die beiden Verfahren unterscheiden sich in Bezug auf die Blattflächedauer in geringem Masse voneinander. Die Kontrollpflanzen weisen eine um 3% grössere Blattflächedauer als die mit GA_3 behandelten Pflanzen auf. Trotz der Erhöhung des Ertrages durch GA_3 konnten wir keine signifikante Korrelation zwischen der Blattflächedauer und dem Körnerertrag ermitteln wie dies Gehriger (1979 b) in seinen Untersuchungen zeigen konnte. Aus den Daten der gesamten produzierten Trockenmasse und denjenigen der Blattfläche der verschiedenen Verfahren an den Teilertedaten können wir die durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR}) berechnen (Tabelle 14).

Tabelle 14 Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR}) vom 2. Juni bis zum 11. September 1978

| | Durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR}) in g pro dm^2 pro Tag | | | | |
|------------|--|-------|--------|-----------|-----|
| | I Wh | II Wh | III Wh | \bar{X} | % |
| Kontrolle | 0.035 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 100 |
| GA_3 2.2 | 0.036 | 0.056 | 0.053 | 0.048 | 141 |

Wie wir der Tabelle 14 entnehmen können, bewirkt das GA_3 -Verfahren eine grössere Nettoassimilationsrate als die Kontrolle (+41%). Das Ergebnis des GA_3 -Verfahrens der ersten Wiederholung weicht von den beiden anderen Werten stark ab, so dass sich keine statistische Signifikanz herausstellt. Wenn wir die durchschnittliche Nettoassimilationsrate für die einzelnen Perioden der Vegetation berechnen, erfahren wir, dass Verfahren 1.2 in der Periode vom 24. Mai bis 2. Juni, also kurz nach der GA_3 -Applikation, eine signifikant höhere Nettoassimilationsrate im Vergleich zur Kontrolle hat (Figur 35). Das GA_3 -Verfahren 1.2 weist mit einer \overline{NAR} von 0.12 g TS pro dm^2 und pro Tag, verglichen mit den 0.091 g pro dm^2 und pro Tag der Kontrolle, eine Zunahme der \overline{NAR} von 31% auf. Verfahren 2.2 zeigt ebenfalls eine höhere \overline{NAR} als die Kontrolle, sie ist jedoch nicht statistisch gesichert. Bei den übrigen Perioden gibt es keine signifikanten Unterschiede mehr. Verfahren 2.2 lässt jedoch die Tendenz erkennen, eine grössere \overline{NAR} zu verursachen. Dies ist vor allem in der Periode vom 20. Juli bis zum 9. August zu beobachten (+47%).

Figur 35 Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR}) zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)



3.5.11. Einfluss von GA_3 auf einige vegetative-reproduktive Beziehungen

In Tabelle 15 sind einige der berechneten Korrelationen zwischen den vegetativen und reproduktiven Pflanzenteilen zusammengestellt. Wir haben zuerst die Korrelationen zwischen der Pflanzenhöhe und anderen vegetativen Merkmalen angegeben. GA_3 hat das Längenwachstum für einige Tage beschleunigt. Bei den Ernten vom 2. und 20. Juni ist ersichtlich, dass die GA_3 -Verfahren 1.2 und 2.2 durch die Förderung der Pflanzenhöhe ebenfalls eine Förderung der Blattfläche und der Trockenmasse der Blätter bewirkt haben. Eine negative Korrelation zwischen der Pflanzenhöhe und dem

spezifischen Blattgewicht ist beim Verfahren 2.2 am 2. und 20. Juni tendenzmässig am grössten. Die Korrelationen zwischen der Pflanzenhöhe und der Trockenmasse der Stengel, der Wurzel und der Gesamttrockenmasse sind je nach Erntedatum verschieden. Zwischen dem spezifischen Blattgewicht und einigen in der Tabelle 15 a angegebenen Parametern haben sich interessante Korrelationen ergeben; wichtig ist jene zwischen spezifischem Blattgewicht und der Trockenmasse der Hülsen am 20. Juli. Verfahren 2.2 weist dort eine positive signifikante Korrelation auf. Gute Korrelationen konnten wir ebenfalls feststellen:

- zwischen der Trockenmasse der Hülsen und Stengel,
- zwischen der Trockenmasse der Hülsen und der Wurzel,
- zwischen der Trockenmasse der Hülsen und der Gesamt-Trockenmasse,
- zwischen der Trockenmasse der Stengel und der Wurzel,
- zwischen der Trockenmasse der Wurzel und der Gesamt-Trockenmasse.

Die Berechnung der mehrfachen Regression während der Vegetationsperiode (Tabelle 16) führten wir durch, um die verfahrensbedingten Unterschiede in der Ertragsbildung besser zu erfassen. Als Zielgrösse diente die Trockenmasse der Hülsen pro Pflanze, und einige wichtige Parameter wurden als unabhängige Variablen in das System aufgenommen. Ähnlich wie die Berechnung der einfachen Korrelationen ergibt beim GA_3 -Verfahren 2.2 auch jene der mehrfachen Regression eine signifikante Wechselbeziehung zwischen dem spezifischen Blattgewicht und der Trockenmasse der Hülsen. Die Interpretation von Mehrfach-Regressionen erfordert jedoch eine gewisse Vorsicht.

Einige einfache Korrelationen zum Zeitpunkt der Schlussernte (11. September) sind in Tabelle 17 zusammengestellt. Die Körnerzahl ist in der Regel negativ mit dem Einzelkorngewicht korreliert. Diese Tendenz hat sich in unseren Untersuchungen beim Kontrollverfahren und beim GA_3 -Verfahren 1.2 bestätigt. Bei den GA_3 -Verfahren 2.2 und 3.2 ist hingegen eine schwache positive Korrelation ersichtlich. Bei den übrigen berechneten Korrelationen sind vor allem diejenigen zwischen dem Körnerertrag und der Trockenmasseproduktion positiv zum Ausdruck gekommen. Der Körnerertrag

Tabelle 15 Korrelationskoeffizienten zwischen der Pflanzenhöhe und einigen Merkmalen der vegetativen Entwicklung

* sig. P = 0.05

| Korrelationsfaktor | Verf. | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 |
|-----------------------|-------|-------|--------|------|--------|--------|--------|
| | | 2.6 | 20.6 | 4.7 | 20.7 | 9.8 | 11.9 |
| Höhe- Blattfläche | KO | .30 | .05 | -.33 | .46 | -.02 | - |
| | 1.2 | .70** | .65** | .01 | .46 | .53* | - |
| | 2.2 | .22 | .77*** | -.20 | .20 | .13 | - |
| | 3.2 | - | .12 | -.02 | .21 | .27 | - |
| Höhe- TS-Blätter | KO | .30 | -.06 | .01 | .37 | .32 | - |
| | 1.2 | .61* | .57* | .22 | .33 | .47 | - |
| | 2.2 | .16 | .73** | -.18 | .03 | .13 | - |
| | 3.2 | - | .19 | -.03 | .08 | .36 | - |
| Höhe- spez.Bl.gew. | KO | .01 | -.36 | .47 | -.36 | .78*** | - |
| | 1.2 | -.04 | -.40 | .55* | -.30 | -.03 | - |
| | 2.2 | -.06 | -.46 | .12 | -.58* | .04 | - |
| | 3.2 | - | .26 | .01 | -.23 | .19 | - |
| Höhe- TS-Stengel | KO | .58* | .42 | .08 | .79*** | .80*** | .57** |
| | 1.2 | .76** | .79*** | .46 | .59* | .76*** | .50* |
| | 2.2 | .24 | .85*** | .04 | .39 | .41 | .79*** |
| | 3.2 | - | .28 | .50 | .23 | .55* | .50* |
| Höhe- TS-Wurzel | KO | .07 | -.14 | .13 | .47 | .56* | .33 |
| | 1.2 | .56 | .10 | .01 | .09 | .58* | .17 |
| | 2.2 | -.22 | .57* | -.45 | .21 | -.27 | .66*** |
| | 3.2 | - | .14 | .04 | -.03 | .38 | .32 |
| Höhe- TS-Gesamt | KO | .37 | .08 | .05 | .62* | .69** | .47* |
| | 1.2 | .74** | .65** | .31 | .27 | .65** | .54** |
| | 2.2 | .11 | .79*** | .17 | .16 | .07 | .68*** |
| | 3.2 | - | .24 | .23 | .12 | .40 | .45* |

Tabelle 15 a Korrelationskoeffizienten zwischen einigen Parametern der vegetativen und reproduktiven Entwicklung * sig. P = 0.05

| Korrelationsfaktor | Verf. | E6 4.7 | E7 20.7 | E8 9.8 | E9 11.9 |
|-----------------------------|-------|-----------|------------|-----------|------------|
| Spez.Bl.gew.- TS-Hülsen | KO | .46 | -.16 | .71** | - |
| | 1.2 | -.21 | .26 | .38 | - |
| | 2.2 | .47 | .60* | .48 | - |
| | 3.2 | .12 | .43 | .39 | - |
| Spez.Bl.gew.- TS-Stengel | KO | .30 | -.21 | .79*** | - |
| | 1.2 | .30 | .14 | .44 | - |
| | 2.2 | .44 | .05 | .68*** | - |
| | 3.2 | .13 | .35 | .30 | - |
| Spez.Bl.gew.- TS-Wurzel | KO | .37 | -.45 | .63* | - |
| | 1.2 | .14 | .35 | .58* | - |
| | 2.2 | .20 | -.01 | .74** | - |
| | 3.2 | -.02 | .35 | .30 | - |
| Spez.Bl.gew.- TS-Gesamt | KO | .46 | -.21 | .76*** | - |
| | 1.2 | .20 | .29 | .45 | - |
| | 2.2 | .44 | .24 | .67** | - |
| | 3.2 | .13 | .47 | .37 | - |
| TS-Hülsen- Blattfläche | KO | .50 | .37 | .52* | - |
| | 1.2 | .52* | .06 | .66* | - |
| | 2.2 | .83*** | .51 | .76** | - |
| | 3.2 | .70** | .38 | .71** | - |
| TS-Hülsen- TS-Stengel | KO | .58* | .21 | .80*** | - |
| | 1.2 | .42 | -.18 | .84*** | - |
| | 2.2 | .79*** | .32 | .60* | - |
| | 3.2 | .41 | .37 | .79*** | - |
| TS-Hülsen- TS-Wurzel | KO | .20 | .20 | .73** | - |
| | 1.2 | .37 | .12 | .68** | - |
| | 2.2 | .50 | .36 | .75** | - |
| | 3.2 | .28 | .34 | .74** | - |
| TS-Hülsen- TS-Gesamt | KO | .71* | .41 | .94*** | - |
| | 1.2 | .50 | .29 | .93*** | - |
| | 2.2 | .87*** | .63* | .92*** | - |
| | 3.2 | .47 | .57* | .96*** | - |

Tabelle 15 a (Fortsetzung)

| Korrelationsfaktor | Verf. | E6 4.7 | E7 20.7 | E8 9.8 | E9 11.9 |
|--------------------------|-------|-----------|------------|-----------|------------|
| TS-Stengel- TS-Wurzel | KO | .39 | .79** | .78*** | .77*** |
| | 1.2 | .76*** | .69** | .85*** | .16 |
| | 2.2 | .50 | .52* | .73** | .91*** |
| | 3.2 | .70** | .88*** | .81*** | .81*** |
| TS-Wurzel- TS-Gesamt | KO | .64** | .86*** | .83*** | .80*** |
| | 1.2 | .84*** | .82*** | .85*** | .55** |
| | 2.2 | .70** | .62* | .85*** | .87*** |
| | 3.2 | .72** | .89*** | .85*** | .84*** |

und die gesamte Trockenmasse weisen die beste Korrelation auf. Die mehrfache Regression bei der Schlussernte ist in Tabelle 18 angegeben. Als Zielgrösse wurde hier der Körnerertrag pro Pflanze gewählt, während die Pflanzenhöhe, die gesamte Trockenmasse und die Hülsenzahl pro Pflanze als unabhängige Variablen ins Modell aufgenommen wurden. Hier tritt auch die Bedeutung der Gesamttrockenmasse und der Hülsenzahl pro Pflanze deutlich in Erscheinung.

Tabelle 16 Mehrfache Regression verschiedener Parameter der vegetativen Entwicklung in Abhängigkeit von der Trockenmasse der Hülsen am 20. Juli (E7)

* sig. P = 0.05

| Verf. | Höhe | TS-Wu. | TS-St. | Bl.fl. | Sp.Bg. | B% | F Wert | F Reg. |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|
| KO | | | | | | 37.7 | 1.09 | - |
| 1.2 | | | | * | * | 62.8 | 3.04 | - |
| 2.2 | | | * | ** | ** | 81.9 | 8.18 | ** |
| 3.2 | | | | | | 32.3 | 0.86 | - |

Höhe = Pflanzenhöhe

TS-Wu = Trockenmasse der Wurzel pro Pflanze

TS-St. = Trockenmasse der Stengel pro Pflanze

Bl.fl. = Blattfläche pro Pflanze

Sp.Bg. = Spezifisches Blattgewicht pro Pflanze

Tabelle 17 Korrelationskoeffizienten zwischen einigen Parametern der vegetativen und der reproduktiven Entwicklung bei der Schlusserte (11. September)

* sig. P = 0.05

| Verf. | Kö.zahl- EKG | Kö.zahl- TS-Gesamt | Hü.zahl- Ertrag | Kö.zahl- Ertrag | TS-St.- Ertrag | TS-Wurz.- Ertrag | EKG- Ertrag | TS-Gesamt- Ertrag |
|-------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| | | | | | | | | |
| KO | - .15 | .91*** | .76*** | .85*** | .89*** | .77*** | .39 | .97*** |
| 1.2 | -.02 | .90*** | .82*** | .92*** | .65*** | .59** | .35 | .98*** |
| 2.2 | .05 | .92*** | .85*** | .95*** | .87*** | .79*** | .27 | .97*** |
| 3.2 | .01 | .95*** | .90*** | .96*** | .92*** | .79*** | .28 | .99*** |

Tabelle 18 Mehrfache Regression der Pflanzhöhe, der Gesamttrockenmasse und der Hülsenzahl pro Pflanze in Abhängigkeit vom Ertrag pro Pflanze zur Zeit der Schlusserte (11. September) * sig. P = 0.05

| Verf. | Höhe | TS-Gesamt | Hülsen/Pfl. | B% | F _{Wert} | F _{Reg.} |
|-------|------|-----------|-------------|-------|-------------------|-------------------|
| KO | | ** | | 80.80 | 28.08 | *** |
| 1.2 | | | *** | 83.38 | 33.46 | *** |
| 2.2 | | *** | *** | 88.85 | 53.14 | *** |
| 3.2 | | ** | * | 88.31 | 50.37 | *** |

3.6. Einfluss von GA_3 auf Hülsenzahl, Körnerzahl und Trockenmasse der Körner je Internodium bei der Schlussernte

Figur 36 veranschaulicht, dass der Hülsenansatz durch das GA_3 -Verfahren an den verkürzten Internodien erhöht wurde. Ein ähnliches Verhalten konnten wir im Jahre 1977 nach dem gleichen Anwendungszeitpunkt bei gleicher GA_3 -Konzentration beobachten (Figur 12). Die durch GA_3 ebenfalls erhöhte Körnerzahl und Trockenmasse der Körner je Internodium haben wir in Figur 37 und 38 dargestellt.

3.7. Einfluss von GA_3 auf die vegetativen Pflanzenteile und auf die Ertragskomponenten bei der Schlussernte

GA_3 hat einen starken Effekt auf die Entwicklung der vegetativen Pflanzenteile. In Tabelle 19 finden wir eine Zusammenstellung über den Einfluss von GA_3 -Applikationen auf die Trockenmasse der Stengel, der Wurzel und der Gesamttrockenmasse sowie den Einfluss auf den Ernte-Index.

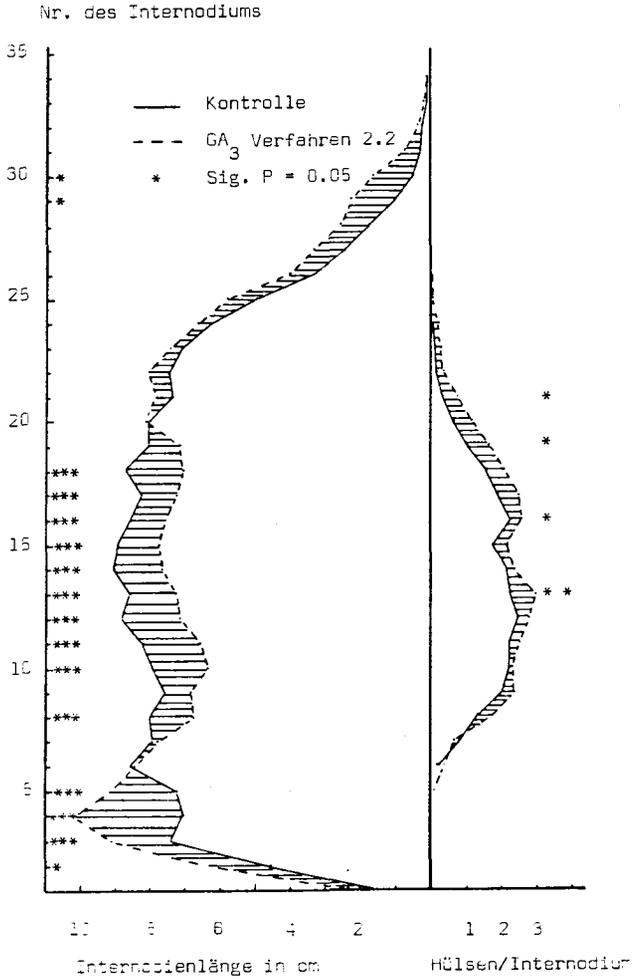
Die mittlere GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) aller drei Anwendungszeitpunkte hat eine statistisch signifikante Steigerung der Trockenmasse bewirkt. GA_3 -Verfahren 2.2 hat die grösste Trockenmasse aller untersuchten Pflanzenteile erbracht. Erstaunlich dabei ist die grosse Trockenmasse der Wurzel beim GA_3 -Verfahren 2.2 (+54%). Die stärkere und schwächere Konzentration aller drei Applikationen haben keine signifikanten Unterschiede verursacht. Der Ernte-Index (Harvest-Index) ist bei allen Verfahren unverändert geblieben, und die Variationskoeffizienten sind sehr klein. Der Einfluss von GA_3 auf die reproduktiven Organe bei der Schlussernte ist in Tabelle 20 wiedergegeben.

Aehnlich wie bei den vegetativen Pflanzenteilen bewirkte die mittlere GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) in allen drei Anwendungszeitpunkten eine Verbesserung der Ertragskomponenten. Hülsenzahl, Körnerzahl und Körnerertrag pro Pflanze wurden dabei statistisch signifikant erhöht. Die zweite Anwendung der mittleren Konzentration hatte das beste Ertragsergebnis zur Folge, obwohl beim Einzelkorngewicht keine signifikanten Unterschiede ersich-

lich sind. Das GA_3 -Verfahren 2.2 erzielte jedoch die grösste Erhöhung des Einzelkorngewichtes.

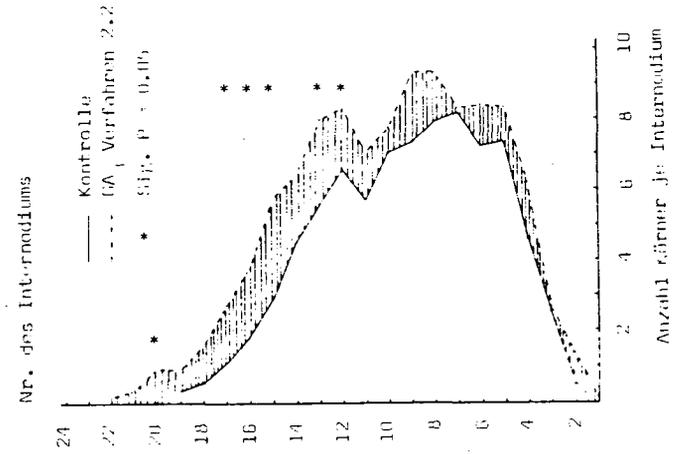
Die starke und schwache GA_3 -Konzentration haben keine Verbesserung der Ertragsstruktur bewirkt.

Figur 36 Einfluss von GA_3 auf die Länge der Internodien und die Anzahl Hülsen bei der Schlussernte im Jahre 1978
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



Figur 37 und 38 Einfluss von GA₃ auf die Anzahl- und Trockenmasse der Körner je Internodium bei der Schlusserte im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)

Figur 37



Figur 38

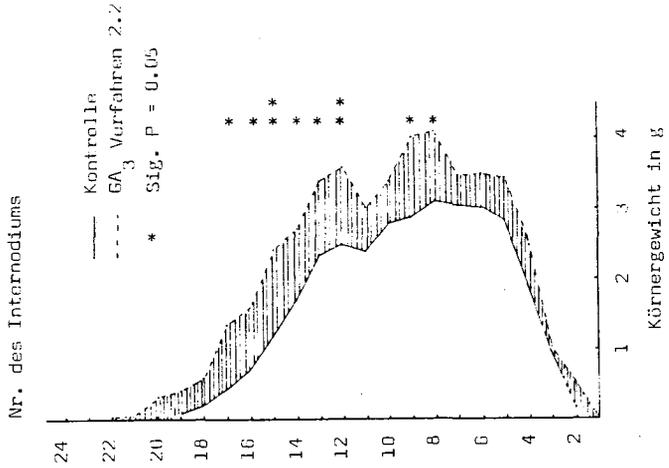


Tabelle 19 Einfluss von GA₃ auf die vegetative Entwicklung und auf den Ernte-Index zur Zeit der Schlusserte (Mittelwerte aus 24 Pflanzen) * sig. P = 0.05

| Verfahren | TS-Stengel (g)/Pfl. | | TS-Wurzel (g)/Pfl. | | TS-Gesamt (g)/Pfl | | Ernte-Index/Pfl. | |
|---------------------|---------------------|-----|--------------------|-----|-------------------|-----|------------------|-------|
| | \bar{X} | % | \bar{X} | % | \bar{X} | % | \bar{X} | V_k |
| Kontrolle | 19.42 | 100 | 3.02 | 100 | 66.53 | 100 | 0.48 | 0.08 |
| GA ₃ 1.1 | 18.55 | 95 | 3.04 | 101 | 62.79 | 94 | 0.49 | 0.10 |
| GA ₃ 1.2 | 23.04* | 119 | 3.93* | 130 | 81.35* | 122 | 0.50 | 0.08 |
| GA ₃ 1.3 | 17.59 | 90 | 2.70 | 88 | 58.34 | 86 | 0.47 | 0.13 |
| GA ₃ 2.1 | 17.46 | 89 | 3.18 | 105 | 58.00 | 85 | 0.49 | 0.09 |
| GA ₃ 2.2 | 25.76** | 133 | 4.65** | 154 | 92.07** | 138 | 0.49 | 0.08 |
| GA ₃ 2.3 | 20.32 | 105 | 3.37 | 112 | 69.85 | 105 | 0.49 | 0.08 |
| GA ₃ 3.1 | 18.35 | 94 | 3.58 | 119 | 61.32 | 92 | 0.47 | 0.06 |
| GA ₃ 3.2 | 22.96* | 118 | 4.31** | 143 | 80.31* | 121 | 0.49 | 0.06 |
| GA ₃ 3.3 | 17.37 | 88 | 3.02 | 100 | 59.24 | 88 | 0.48 | 0.10 |
| F-Konz. | 18.23*** | | 20.84*** | | 21.00*** | | 1.19 n.s. | |
| KGD 5% | 3.04 | | 0.65 | | 11.52 | | 0.024 | |

Tabelle 20 Einfluss von GA₃ auf die Ertragskomponenten zur Zeit der Schlussernte
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen) * sig. P = 0.05

| Verfahren | Hülsenzahl/Pfl. | | Körnerzahl/Pfl. | | Einzelkorngew. (mg) | | Körnerertrag/Pfl. (g) | |
|---------------------|-----------------|-----|-----------------|-----|---------------------|-----|-----------------------|-----|
| | \bar{X} | % | \bar{X} | % | \bar{X} | % | \bar{X} | % |
| Kontrolle | 25.3 | 100 | 81.0 | 100 | 404 | 100 | 32.40 | 100 |
| GA ₃ 1.1 | 25.5 | 101 | 81.7 | 101 | 384 | 95 | 31.18 | 96 |
| GA ₃ 1.2 | 30.0* | 118 | 101.0** | 125 | 410 | 101 | 41.4** | 128 |
| GA ₃ 1.3 | 23.8 | 93 | 75.9 | 93 | 370 | 91 | 28.19 | 85 |
| GA ₃ 2.1 | 24.5 | 96 | 75.9 | 93 | 381 | 94 | 28.63 | 87 |
| GA ₃ 2.2 | 31.8** | 125 | 107.6** | 133 | 423 | 105 | 45.5** | 140 |
| GA ₃ 2.3 | 28.8 | 114 | 93.0 | 115 | 376 | 93 | 34.52 | 107 |
| GA ₃ 3.1 | 27.5 | 108 | 80.0 | 99 | 367* | 90 | 29.15 | 89 |
| GA ₃ 3.2 | 30.3* | 119 | 96.3* | 119 | 409 | 101 | 39.41* | 122 |
| GA ₃ 3.3 | 26.0 | 103 | 76.4 | 94 | 375 | 92 | 28.63 | 87 |
| F-Konz. | 7.38*** | | 11.95*** | | 7.90*** | | 19.80*** | |
| KGD 5% | 4.4 | | 14.7 | | 34 | | 6.24 | |

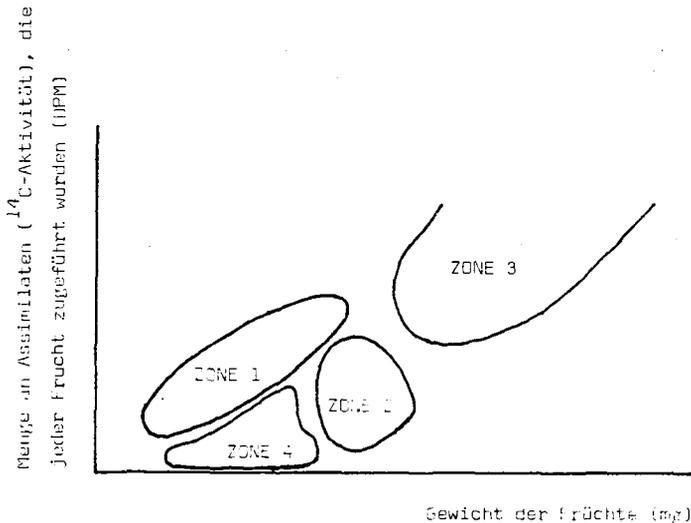
b. Einfluss von GA_3 auf die Versorgung der jungen Früchte mit ^{14}C -markierten Assimilaten

3.8. Allgemeines

Die durchgeführten Untersuchungen mittels ^{14}C -Markierungen sind in unseren Versuchen von untergeordneter Bedeutung. Wir beschränkten uns auf zwei Markierungen zum Zeitpunkt der verlangsamten Entwicklung der Früchte (Jaquiéry, 1980). Wir führten die Markierungen beim zweiten GA_3 -Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) bei der mittleren Konzentration (10^{-4} M) durch.

Folgende Angaben über das Wachstum der Früchte der Ackerbohne haben wir von Jaquiéry (1980) übernommen. In Figur 39 ist das Schema der Beziehungen zwischen Fruchtgewicht und ^{14}C -Aktivität, die in den Früchten enthalten ist, aufgezeichnet.

Figur 39 Schema der Beziehungen zwischen Fruchtgewicht und ^{14}C -Aktivität, die in den Früchten enthalten ist. Erklärung der Zonen im Text (Jaquiéry, 1980).



Zoneneinteilung (nach Jaquiéry, 1980)

Zone 1: 0* bis 3 Tage alte Früchte → Zone der Blütenbildung

Zone 2: 4 bis 5 Tage alte Früchte** → Zone der Wachstumsverlangsamung der jungen Früchte

Zone 3 und 4: 6 Tage und ältere Früchte

Zone 3 → Zone der Entwicklung junger Früchte

Zone 4 → Zone des Blütenfalls

* Tag 0 = Sichtbarwerden der weissen Blütenspitze.

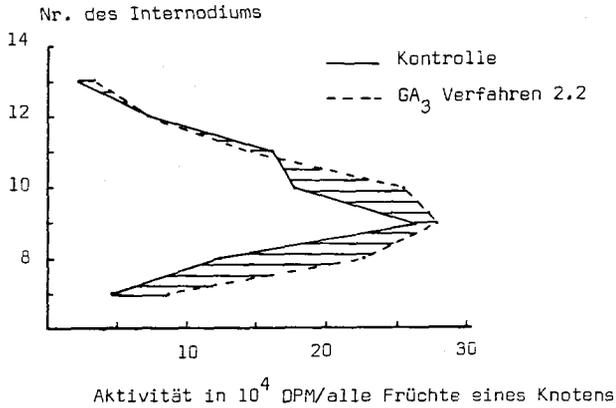
** Das Alter der ^{14}C -markierten Früchte ermittelten wir durch beobachten des Erscheinens der Blüten für jede Position im Blütenstand.

3.8.1. Einfluss von GA_3 auf die Aktivitätsverteilung in den Früchten in Zerfallsimpulse pro Minute (DPM) und je Internodium

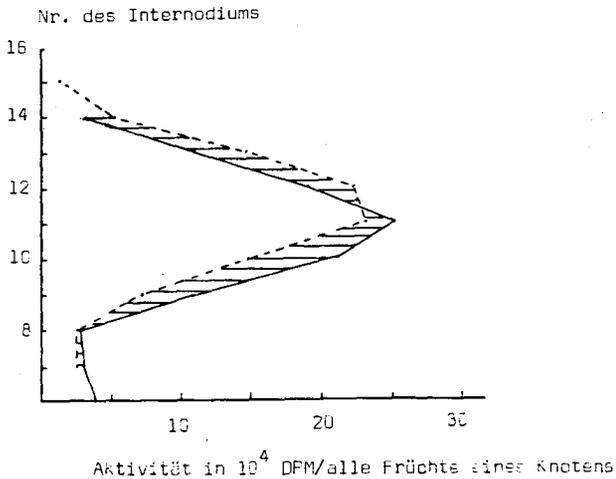
Um einen ersten Ueberblick über die Versorgung der jungen Früchte mit ^{14}C -markierten Assimilaten zu erhalten, haben wir in Figur 40 die wiedergefundene Aktivität der Früchte je Internodium der beiden Markierungen aufgezeichnet. Bei der ersten Markierung (14. Juni; 18 Tage nach der GA_3 -Behandlung) ist in den Früchten des 7. bis 10. Internodiums eine grössere Aktivität zu beobachten. Obwohl dabei keine statistisch signifikanten Unterschiede ermittelt werden konnten, ist die gesamte Aktivität in DPM/Pflanze beim GA_3 -Verfahren um 17% grösser als bei den unbehandelten Pflanzen. Wir können daraus entnehmen, dass die Früchte nach der GA_3 -Applikation besser mit Assimilaten versorgt wurden als jene der Kontrolle. Bei der zweiten Markierung (18. Juni; 22 Tage nach der GA_3 -Behandlung) ist kein klares Bild über allfällige Unter-

Figur 40 Einfluss von GA_3 auf die Verteilung der Aktivität auf die Früchte entlang des Haupttriebes im Jahre 1978 (Mittelwerte aus 5 Pflanzen)

ERSTE MARKIERUNG (14. Juni)



ZWEITE MARKIERUNG (18. Juni)



schiede mehr festzustellen. Die Früchte der unteren Internodien der GA₃-behandelten Pflanzen weisen eine kleinere Aktivität auf, während die oberen Internodien, verglichen mit der Kontrolle, das umgekehrte Bild zeigen. Die zwei Verfahren lassen fast keinen Unterschied in Bezug auf die gesamte Aktivität in DPM/Pflanze erkennen.

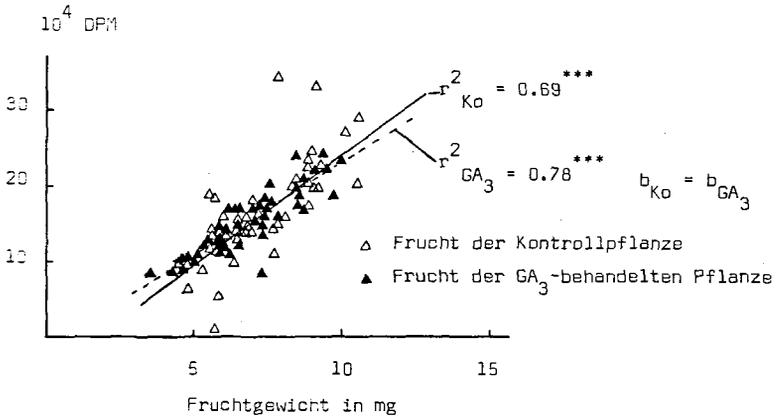
3.8.2. Einfluss von GA₃ auf die Aktivitätsverteilung (in DPM) in Funktion von Gewicht und Alter der Früchte

Die Versorgung der Früchte mit ¹⁴C-markierten Assimilaten im Zusammenhang mit ihrem Gewicht und Alter wurde für beide Verfahren in den Figuren 41 (1. Markierung) und 42 (2. Markierung) je nach vorherrschender Entwicklungszone (Jaquiéry, 1980) jeweils separat aufgezeichnet.

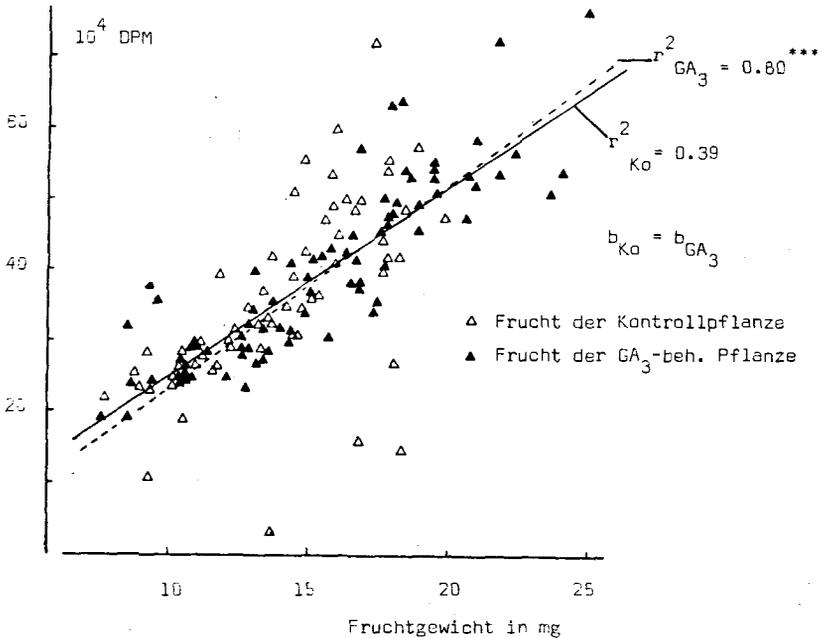
Kurz nach dem Blühbeginn erhielten die jungen Früchte viel Aktivität (Figur 41 a und b). Die Früchte befinden sich in der Zone 1, auch Zone der Blütenbildung genannt. Sie sind zu diesem Zeitpunkt 0 bis 2 Tage alt. Für beide Verfahren besteht eine lineare Beziehung zwischen der Zunahme des Gewichtes und der Aktivität der Früchte. In Figur 41 b erhalten die Früchte, gemessen an ihrem Gewicht, viel Aktivität. Ihre "sink"-Stärke verhält sich proportional zur Gewichtszunahme. Bei der Figur 41 c sind die Früchte 3 bis 5 Tage alt und kommen damit in die Zone des verlangsamten Wachstums (Zone 2). Hier besteht keine lineare Beziehung mehr zwischen dem Gewicht und der Aktivität der Früchte. Die Früchte der mit GA₃ behandelten Pflanzen scheinen ein höheres Gewicht zu besitzen als diejenigen der Kontrolle. Die 6 bis 7 Tage alten Früchte (Figur 41 d) befinden sich entweder in Zone 3 oder 4. Der "sink" der Früchte um Assimilate hat stark abgenommen, während das Fruchtgewicht noch relativ hoch ist. Die Früchte der GA₃ behandelten Pflanzen sind schwerer als diejenigen der unbehandelten Pflanzen, und die Aktivität einiger Früchte ist grösser. Für die zweite Markierung haben wir in Figur 42 nur die Zonen 3 und 4 aufgezeichnet. Die Zonen 1 und 2 haben sich ähnlich entwickelt wie in der ersten Markierung.

Figur 41 Einfluss von GA_3 auf die Versorgung der jungen Früchte mit ^{14}C -markierten Assimilaten bei der ersten Markierung (14. Juni 78) (Mittelwerte aus 5 Pflanzen)

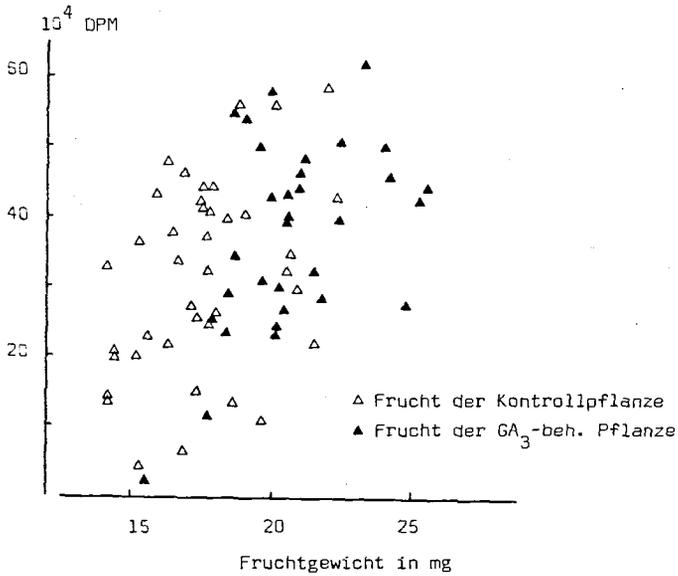
Figur 41 a: 0 Tage oder jüngere Früchte → ZONE 1



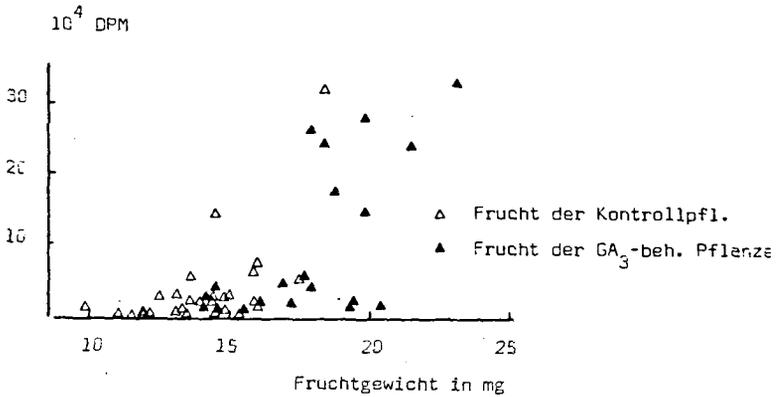
Figur 41 b: 1 bis 2 Tage alte Früchte → ZONE 1



Figur 41 c: 3 bis 5 Tage alte Früchte → ZONE 1 und 2

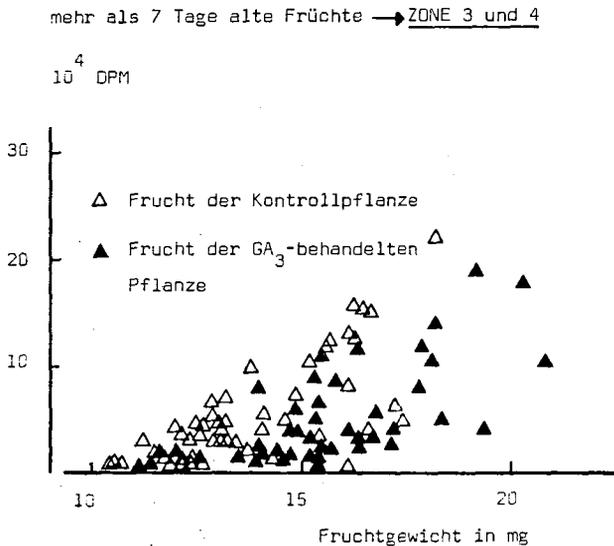


Figur 41 d: 6 bis 7 Tage alte Früchte → ZONE 3 und 4



Figur 42 zeigt, dass bei den mit GA_3 behandelten Pflanzen wiederum die Tendenz eines höheren Fruchtgewichtes besteht. Der "sink" hat sich abgeschwächt, und zwischen den zwei Verfahren sind keine klaren Unterschiede bezüglich der von jeder Frucht empfangenen Aktivität festzustellen.

Figur 42 Einfluss von GA_3 auf die Versorgung der jungen Früchte mit ^{14}C -markierten Assimilaten bei der zweiten Markierung (18. Juni 78) (Mittelwerte aus 5 Pflanzen)



3.8.3. Einfluss von GA_3 auf die spezifische Aktivität der Früchte

Die Division der wiedergefundenen Aktivität pro Frucht durch ihr Gewicht ergibt die spezifische Aktivität pro Frucht. Diese Werte haben wir in Tabelle 22, unterteilt nach den verschiedenen Entwicklungszonen, dargestellt.

Nach der ersten und zweiten Markierung ist ersichtlich, wie die jungen Früchte zuerst viel Aktivität bekommen (Zone 1). In der Zone 1 und 2 nimmt sie dann allmählich ab, und in der Zone 3 und 4 fällt sie stark ab. Die Früchte der ersten Markierung in den Zonen 3 und 4 weisen eine grössere spezifische Aktivität als diejenigen der Kontrolle auf (+72%). Die spezifische Aktivität aller Früchte der GA_3 behandelten Pflanzen der ersten Markierung ist ebenfalls grösser als bei der Kontrolle (+8%). Bei der zweiten Markierung haben die Früchte der mit GA_3 behandelten Pflanzen in den Zonen 3 und 4 eine kleinere spezifische Aktivität als die Kontrolle (-32%). Die, nicht in Entwicklungszonen aufgeteilte, spezifische Aktivität der Früchte ist bei den GA_3 behandelten Pflanzen höher (+10%). Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Verfahren konnten nicht berechnet werden.

Tabelle 22 Einfluss von GA_3 auf die spezifische Aktivität der Früchte (DPM/mg)

1. Markierung (14. Juni)

| Verfahren | Zone 1 * | Zone 1 ** | Zone 1-2 | Zone 3-4 | \bar{x} |
|------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| Kontrolle | 216 | 254 | 178 | 30 | 190 |
| GA_3 2.2 | 219 | 250 | 179 | 52 | 206 |

* Figur 41 a

** Figur 41 b

Tabelle 22 (Fortsetzung)

2. Markierung (18. Juni)

| Verf. | Zone 1 | Zone 1 | Zone 1-2 | Zone 2 | Zone 3-4 | \bar{X} |
|---------------------|--------|--------|----------|--------|----------|-----------|
| Kontrolle | 236 | 230 | 226 | 133 | 37 | 147 |
| GA ₃ 2.2 | 251 | 256 | 243 | 123 | 28 | 163 |

3.8.4. Erste Schlussfolgerungen

GA₃ hat den Entwicklungsrhythmus der vegetativen und reproduktiven Organe gefördert. Bei den Untersuchungen über die Versorgung der jungen Früchte mit ¹⁴C-markierten Assimilaten konnten wir bei den zwei Verfahren diesbezüglich Unterschiede feststellen. Die Früchte der GA₃ behandelten Pflanzen sind schwerer (Figuren 41 c und d). Bei der wiedergefundenen Aktivität sind jedoch keine eindeutigen Differenzen zu beobachten. Einzig in Figur 41 d weisen einige GA₃-Früchte klar höhere Aktivität und höheres Gewicht auf. Die Entwicklungszonen der Früchte, wie sie Jaquiéry (1977) beschrieben hat, sind in unseren Versuchen in ähnlicher Weise aufgetreten. Auch in den Köpfversuchen von Gehriger (1979 a) mit Ackerbohnen ergaben sich die gleichen Entwicklungszonen für die Früchte.

Aus dem grösseren Fruchtgewicht wird ersichtlich, dass GA₃ eine bessere Ernährung der Früchte bewirkte. Ob dabei GA₃ einen stärkeren "sink" verursachte, können wir anhand unserer Untersuchungen nicht herausfinden. Ebenfalls durch ¹⁴C-Markierungen zeigte Gehriger (1978), dass die 6 bis 7 Tage alten Früchte (Figur 28 b in seiner Arbeit) von geköpften Ackerbohnenpflanzen, sich in der Gewichtszunahme ähnlich verhielten, wie dies in unseren mit GA₃ behandelten Pflanzen beim gleichen Fruchtalter der Fall war (Figur 41 d). GA₃ scheint folglich eine ähnliche Wirkung auf die Ernährung der Früchte zu haben wie das Köpfen.

Ob GA_3 eine Veränderung von "sink" oder "source" zur Folge hat, ist aus unseren Ergebnissen nicht klar zu ersehen. Um dies zu untersuchen, wäre die Untersuchung aller Pflanzenteile (Stengel, Blätter, Früchte) notwendig gewesen.

Eine direkte Wirkung von GA_3 auf das physiologische Verhalten während der Blüte scheint nicht eingetreten zu sein. Die Phasen der Wachstumsverlangsamung der Früchte (Zone 2) tritt bei den GA_3 behandelten Pflanzen ebenfalls ein. Ein direkter Einfluss auf die Ausprägung des "sinks" der Frucht ist dabei nicht deutlich zu erkennen. Möglicherweise verstärkt GA_3 indirekt durch eine grössere Zellteilung den Transport von Assimilaten zu den Früchten. Eine Verschiebung des Konkurrenzverhältnisses zwischen vegetativer und reproduktiver Entwicklung könnte dabei ebenfalls eintreten.

Durch die Applikation von GA_3 wird der Hormonhaushalt der Pflanze beeinflusst und verändert. Eine daraus resultierende direkte oder indirekte Umleitung von Assimilaten zu den reproduktiven Organen durch GA_3 ist ebenfalls denkbar.

4. ZUSAMMENFASSUNG (Feldversuch 1978)

In einem Feldversuch wurde die Wirkung von GA_3 auf das Wachstum und den Ertragsaufbau bei der Ackerbohne untersucht.

Der experimentelle Teil umfasste einerseits Untersuchungen über den Einfluss von GA_3 in drei Anwendungszeitpunkten und drei Konzentrationen auf die vegetative und reproduktive Entwicklung während der Vegetationsperiode, und andererseits Untersuchungen über den Einfluss von GA_3 auf die Ernährung der Früchte mit ^{14}C -markierten Assimilaten während der Phase der verlangsamten Fruchtentwicklung (Jaquiéry, 1977).

In allen drei Anwendungszeitpunkten (4-, 6- und 10-Blattstadium) wurden klare Wirkungen festgestellt. Der zweite Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) zeigte die deutlichsten Ergebnisse. Die mittlere GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) erwies sich in allen drei Anwendungszeitpunkten als die wirksamste. Die durchgeführten Erhebungen über die Veränderung der Pflanzenhöhe zeigten eine hochsignifikante Förderung des Längenwachstums kurz nach der GA_3 -Behandlung. Etwa einen Monat nach der GA_3 -Applikation waren diesbezüglich keine Unterschiede zur Kontrolle mehr festzustellen. Am 2. Juni (6 Tage nach der GA_3 -Applikation) war eine hochsignifikante Streckung fast aller Internodien zu beobachten. An den späteren Erhebungsdaten waren die unteren Internodien länger, die mittleren kürzer und die obersten wiederum länger als diejenigen der Kontrolle. Die Dicke der Internodien nahm kurz nach der GA_3 -Behandlung zu. An späteren Erhebungsdaten waren Verschiebungen der Internodiendicke entlang dem Haupttrieb bis zum Zeitpunkt der Schlussernte zu beobachten.

Das Trockengewicht der Stengel pro Pflanze wurde durch GA_3 signifikant erhöht. Das Trockengewicht der Internodien ändert sich entlang des Haupttriebes entsprechend der Länge. Die unteren Internodien waren schwerer, die mittleren leichter und die oberen wiederum schwerer als diejenigen der Kontrolle.

Die gesamte Blattfläche pro Pflanze zeigte keine klaren Unterschiede zwischen dem GA_3 - und dem Kontrollverfahren. Die Blatt-

fläche und die Trockenmasse der Blätter je Internodium zeigten ähnliche Verschiebungen entlang dem Haupttrieb wie die Länge und das Trockengewicht der Internodien. An den längeren Internodien waren meistens im Vergleich zur Kontrolle eine grössere Blattfläche und ein grösseres Blattgewicht zu beobachten, während an den kürzeren Internodien die Blattfläche und das Blattgewicht kleiner waren. Das spezifische Blattgewicht der mit GA_3 behandelten Pflanzen nahm kurz nach der Applikation ab. Später war das spezifische Blattgewicht der GA_3 behandelten Pflanzen jedoch grösser als bei der Kontrolle. Die Blattflächendauer (LAD) war für das untersuchte GA_3 -Verfahren (2. Anwendungszeitpunkt, 10^{-4} M) und für die Kontrolle gleich.

Die durchschnittliche Nettoassimilationsrate (\overline{NAR}) wurde kurz nach der GA_3 -Applikation signifikant gesteigert und war dann während der ganzen Vegetationsperiode meistens grösser als bei der Kontrolle.

Das Trockengewicht der Wurzel wie auch dasjenige der ganzen Pflanze wurde durch GA_3 signifikant erhöht.

Ein grösserer Fruchtansatz je Internodium wurde durch GA_3 während der ganzen Vegetationsperiode induziert. GA_3 verminderte in starkem Masse den Fruchtfall. Auf Grund von Markierungen mit ^{14}C stellten wir fest, dass die Früchte der mit GA_3 behandelten Pflanzen besser mit Assimilaten ernährt wurden. Die verlangsamte Fruchtentwicklung war beim GA_3 - und beim Kontrollverfahren ähnlich ausgeprägt wie bei Jaquiéry (1977) und Gehriger (1979 a). Bei der Schlussernte zeigte sich, dass die mittlere GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) in allen drei Anwendungszeitpunkten den Hülsenansatz, die Körnerzahl und den Körnerertrag pro Pflanze signifikant zu vermehren vermochte. Das Einzelkorngewicht war bei diesen Verfahren etwas grösser als beim Kontrollverfahren. Die restlichen GA_3 -Verfahren blieben diesbezüglich ohne positive Wirkungen. Es konnte eine hochsignifikante Korrelation zwischen dem Gesamt-Trockengewicht und dem Körnerertrag pro Pflanze berechnet werden. Der Ernte-Index (Harvest-Index) war bei allen Verfahren gleich.

B. FELDVERSUCH 1979

1. EINLEITUNG

Der Zweck dieses Feldversuches bestand in der Ueberprüfung der im Jahre 1977 und 1978 erhaltenen positiven Wirkungen von GA_3 auf den Hülsenansatz und den Ertrag. Im Feldversuch 1978 wurden interessante Beobachtungen über die Entwicklung des spezifischen Blattgewichtes während der Kornfüllungsphase gemacht. Es konnte eine Zunahme des spezifischen Blattgewichtes der mit GA_3 behandelten Pflanzen, besonders in den oberen Blattetagen, festgestellt werden. Bei den Untersuchungen über den Einfluss von GA_3 auf die Entwicklung der Blattfläche und des spezifischen Blattgewichtes beschränkten wir uns auf zwei Teilernten während der Kornfüllungsphase.

2. MATERIAL UND METHODEN

Versuchsort, Versuchsboden, Applikationstechnik und das übrige methodische Vorgehen sind, wenn nicht anders erwähnt, gleich wie im Feldversuch 1978.

2.1. Versuchsanlage

Anwendungszeitpunkte

In Tabelle 23 sind die drei gewählten Anwendungszeitpunkte angegeben.

Die gewählten GA_3 -Konzentrationen:

Wir beschränkten uns in diesem Versuch auf eine einzige GA_3 -Konzentration, nämlich diejenige, die sowohl im Jahre 1977 als auch im Jahre 1978 die besten Resultate ergeben hatte. Es handelt sich um die GA_3 -Konzentration 10^{-4} M.

Tabelle 23 Gewählte Anwendungszeitpunkte im Feldversuch 1979

| | ANWENDUNGSZEITPUNKT | | |
|----------------------------|---------------------|---------|---------|
| | Erster | Zweiter | Dritter |
| Datum: | 28. Mai | 31. Mai | 2. Juni |
| Tage n.d. Saat: | 48 | 51 | 53 |
| Blattstadium: | 5.7 | 6.5 | 7.4 |
| Ø Pflanzenhöhe: | 17.7 | 24.8 | 30.9 |
| GA ₃ -Verfahren | 1 | 2 | 3 |

Die verwendeten Spritzmengen:

- Erster Anwendungszeitpunkt: 400 ml GA₃-Lösung pro Reihe *
 - Zweiter Anwendungszeitpunkt: 450 ml GA₃-Lösung pro Reihe
 - Dritter Anwendungszeitpunkt: 450 ml GA₃-Lösung pro Reihe
- * Reihenlänge = 2 m

Die Durchführung von Teilernten während der Vegetationsperiode

Während der Vegetationsperiode schalteten wir zwei Teilernten ein. Bei der Reife wurde eine Schlussernte durchgeführt.

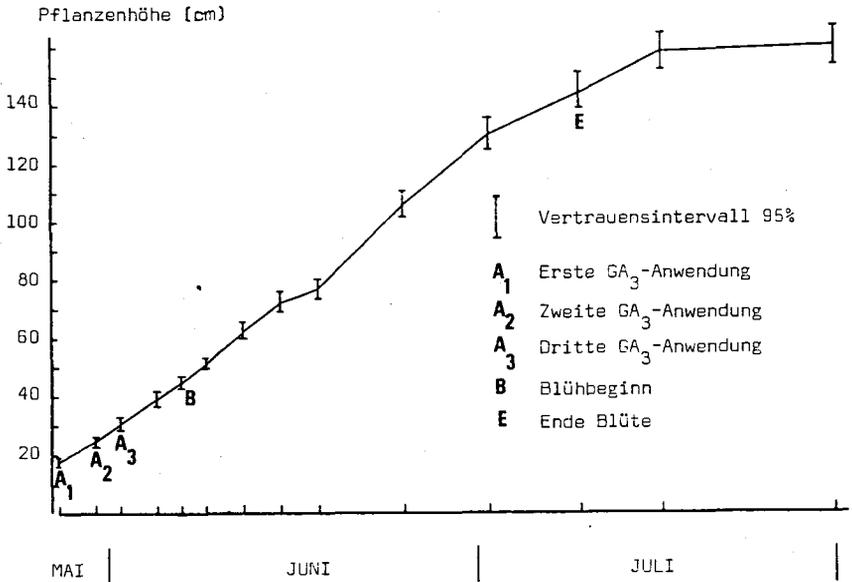
Erste Teilernte: 23. Juli
 Zweite Teilernte: 7. August
 Schlussernte: 2. September

Die ausgezählte Bestandesdichte ergab durchschnittlich 30 Pflanzen pro m².

2.2. Wachstumsverlauf

In Figur 43 ist die Wachstumskurve der Kontrollpflanzen auf-
gezeichnet.

Figur 43 Wachstumskurve der Kontrollpflanzen des Feldversuches 1979



3. ERGEBNISSE UND KURZDISKUSSION

3.1. Allgemeiner Einfluss des Anwendungszeitpunktes von GA₃

Der zweite Anwendungszeitpunkt (6.5-Blattstadium) hat sich als der beste der drei erwiesen. Obgleich die Zeitspannen in Tagen zwischen den drei Anwendungszeitpunkten klein waren, ergaben sich unterschiedliche Wirkungen: die erste und die dritte GA₃-Behandlung brachten keine positiven Ergebnisse, wie dies bei der mittleren der Fall war.

3.2. Einfluss von GA₃ auf das vegetative Wachstum

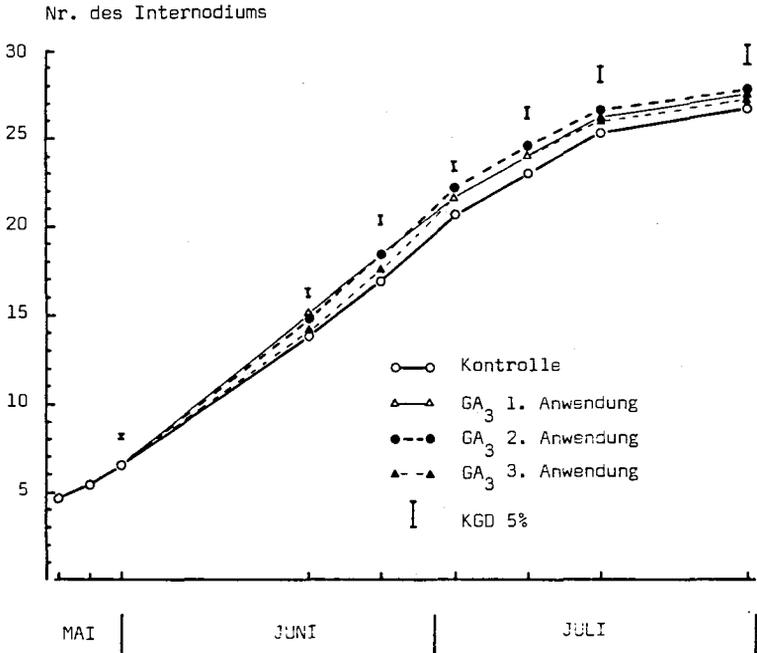
3.2.1. Einfluss von GA₃ auf die Entwicklung der vegetativen Stadien

Aehnlich wie im Versuchsjahr 1978 hat GA₃ die Entwicklung der vegetativen Stadien gefördert (Figur 44).

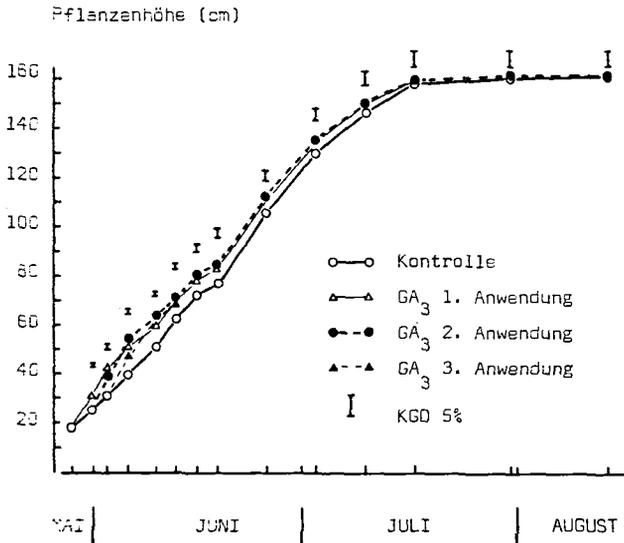
3.2.2. Einfluss von GA₃ auf die Pflanzenhöhe

Die in den Jahren 1977 und 1978 beobachtete Förderung des Sprosslängenwachstums durch GA₃ konnte im diesjährigen Versuch nach allen drei Anwendungszeitpunkten festgestellt werden. Figur 45 zeigt den Einfluss der GA₃-Applikation auf die Pflanzenhöhe. Nach der GA₃-Behandlung tritt eine starke Förderung des Längenwachstums ein, welche dann allmählich abnimmt. Bis zum 25. Juni gibt es zwischen den mit GA₃ behandelten Pflanzen und den Kontrollpflanzen statistisch gesicherte Unterschiede. Nach diesem Datum sind die Unterschiede nicht mehr signifikant.

Figur 44 Einfluss von GA_3 auf die vegetative Entwicklung im Jahre 1979
 (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



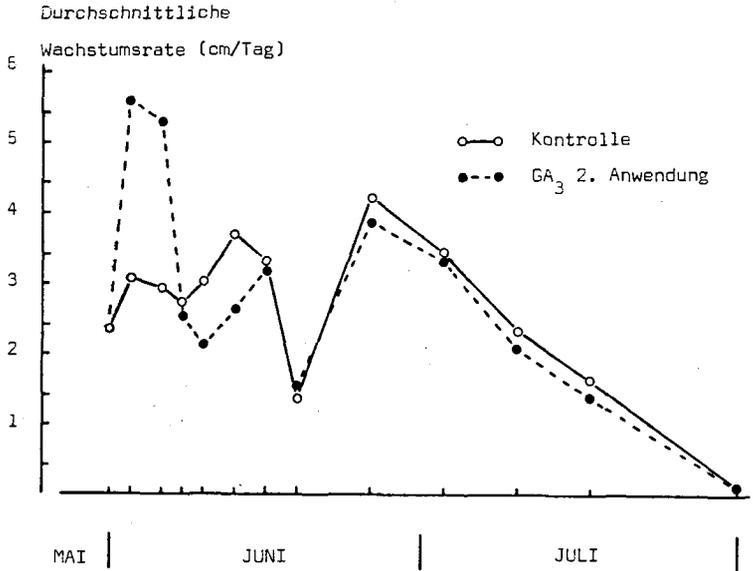
Figur 45 Einfluss von GA_3 auf die Pflanzenhöhe im Jahre 1979
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



3.2.3. Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Rate des Längenwachstums

In Figur 46 haben wir die durchschnittliche Rate des Längenwachstums für das Kontrollverfahren und den zweiten GA_3 -Anwendungszeitpunkt dargestellt. Das ähnliche Verhalten konnten wir im Versuchsjahr 1978 beobachten (Fig. 20). Bis 7 Tage nach der GA_3 -Behandlung wurde die durchschnittliche Wachstumsrate der mit GA_3 behandelten Pflanzen stark gefördert (bis zu 80%, verglichen mit der Kontrolle). Neun Tage nach der GA_3 -Applikation war sie um 30% kleiner als diejenige des Kontrollverfahrens. Beide Verfahren wiesen etwa zwei Wochen nach der Behandlung bis zum Ende der Vegetation ungefähr die gleiche Wachstumsrate auf.

Figur 46 Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Rate des Längenwachstums im Jahre 1979 (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)

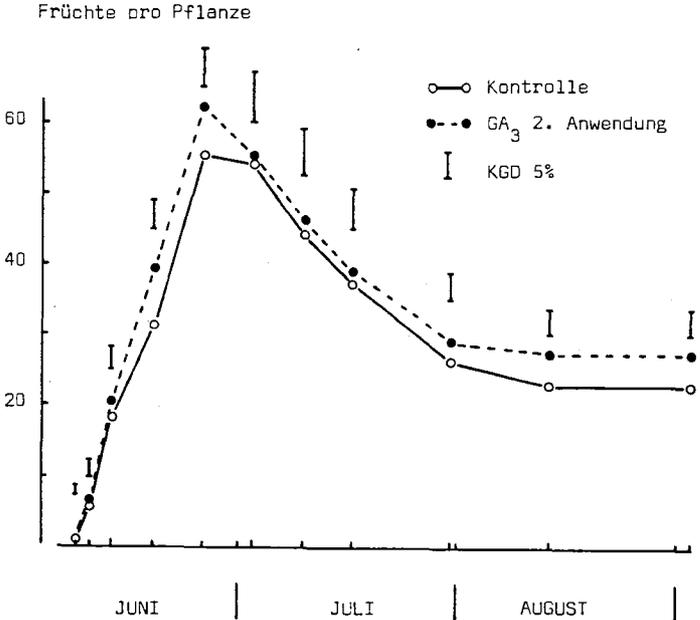


3.3. Einfluss von GA_3 auf das reproduktive Wachstum und auf den Fruchtfall

Die Entwicklung der Früchte pro Pflanze und der Früchte je Knoten verlief im gleichen Rahmen wie im Jahr 1978.

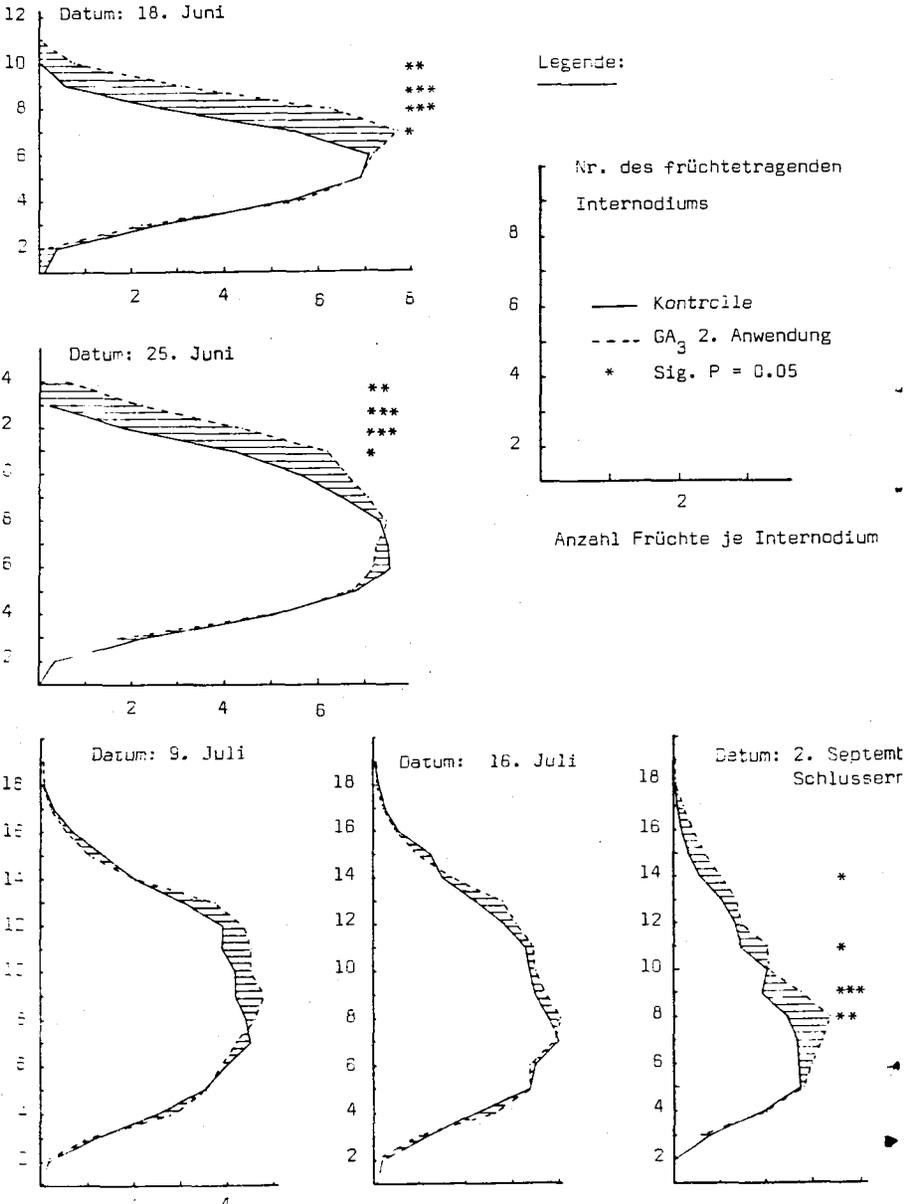
In Figur 47 ist die Entwicklung der Zahl der Früchte pro Pflanze während der Vegetationsperiode aufgezeichnet. Wie im Jahre 1978 (Fig. 21) bildeten die GA_3 behandelten Pflanzen die grössere Zahl an Früchten aus. Am 12. und 18. Juni weist sich das GA_3 -Verfahren über statistisch signifikant höhere Fruchtzahlen aus. Anschliessend waren keine gesicherten Unterschiede mehr festzustellen. Vom 13. August bis zur Schlussernte ergaben die mit GA_3 behandelten Pflanzen wieder eine signifikant grössere Anzahl Früchte.

Figur 47 Einfluss von GA_3 auf die Anzahl Früchte pro Pflanze im Verlaufe der Entwicklung im Jahre 1979 (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



Bei der Betrachtung der Zahl der Früchte je Internodium (Figur 48) stellen wir fest, dass GA_3 wiederum den Entwicklungsrhythmus der reproduktiven Entwicklung beschleunigt hat. Im Feldversuch 1978 wurde das ähnliche Verhalten in Figur 22 veranschaulicht. Die aufgezeichneten Erhebungen vom 18. und 25. Juni zeigen bei den GA_3 behandelten Pflanzen statistisch signifikant höhere Fruchtzahlen an einigen Internodien. Am 9. und 16. Juli waren keine signifikanten Unterschiede mehr zu beobachten. Erst wieder vom 30. Juli an (dieses Erhebungsdatum ist hier nicht aufgezeichnet) wiesen die GA_3 behandelten Pflanzen wieder Internodien mit signifikant höheren Fruchtzahlen auf. Bei der Schlussernte am 2. September hatten verschiedene Interno-

Figur 48 Einfluss von GA_3 auf die Verteilung der Früchte entlang des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1979
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



dien des zweiten GA_3 -Anwendungszeitpunktes signifikant höhere Hülsenzahlen.

3.4. Einfluss von GA_3 auf die erhobenen Parameter bei den Teilernten

3.4.1. Einfluss von GA_3 auf die Ausbildung der Blattfläche pro Internodium

GA_3 verursachte im zweiten Anwendungszeitpunkt (6.5-Blattstadium) eine ähnliche Ausbildung der Blattfläche pro Internodium wie im Feldversuch 1978 (Figur 29). Die unteren Internodien der GA_3 behandelten Pflanzen wiesen eine kleinere Blattfläche als die Kontrolle auf (Figur 49), während sich an den oberen Internodien eine grössere Blattfläche entfaltetete. Bei den beiden Teilernten vom 23. Juli und 7. August können wir das ähnliche Verhalten beobachten.

3.4.2. Einfluss von GA_3 auf das spezifische Blattgewicht

Die interessanten Wirkungen von GA_3 auf das spezifische Blattgewicht im Jahre 1978 konnten im diesjährigen Versuch nicht wiederholt werden. Weder das spezifische Blattgewicht pro Pflanze noch dasjenige pro Internodium war bei den GA_3 behandelten Pflanzen grösser als bei der Kontrolle. In Tabelle 24 ist das spezifische Blattgewicht der ganzen Pflanze bei den beiden Teilernten dargestellt. Während am 23. Juli keine Unterschiede zwischen den Verfahren festzustellen sind, zeigt am 7. August das GA_3 -Verfahren 1.2 ein signifikant kleineres spezifisches Blattgewicht. Die übrigen zwei Zeitpunkte lassen keine klaren Unterschiede erkennen. In Figur 50 haben wir das spezifische Blattgewicht pro Internodium beim GA_3 -Verfahren 2 am 23. Juli aufgezeichnet. Dabei ergaben sich zwischen den GA_3 -Verfahren und der Kontrolle keine deutlichen Differenzen.

Figur 41 Einfluss von GA₃ auf die Blattfläche pro Internodium entlang des Haupttriebes zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahre 1979 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)

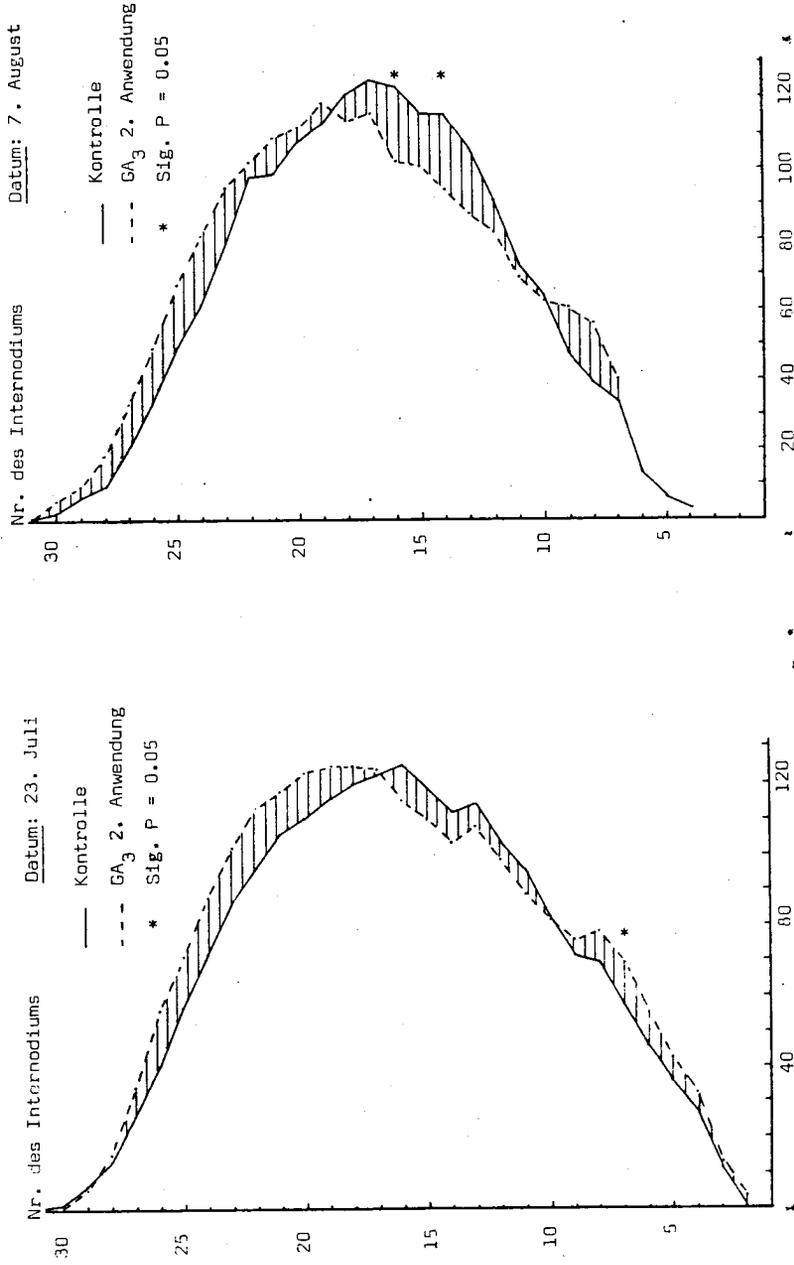


Tabelle 24 Einfluss von GA₃ auf das spezifische Blattgewicht
in mg/cm² (Feldversuch 1979)

| Verfahren | 1. Teilernte 23. Juli | 2. Teilernte 7. August |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| Kontrolle | 4.12 | 4.03 |
| GA ₃ 1 | 4.14 | 3.63* |
| GA ₃ 2 | 4.15 | 3.96 |
| GA ₃ 3 | 4.11 | 3.84 |
| F-Zeitp. | n.s. | * |
| KGD 5% | 0.28 | 0.28 |

* sig. P = 0.05

3.4.3. Einfluss von GA₃ auf weiter erhobene Parameter bei den Teilernten

Weitere in den beiden Teilernten erhobene Parameter (Trockenmasse der Hülsen, Blattfläche, Trockenmasse der Stengel, Trockenmasse der Wurzel, Gesamt-Trockenmasse und Hülsenzahl) sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Obwohl GA₃-Verfahren 2 bei allen Merkmalen die besten Ergebnisse erzielte, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede errechnet werden.

Figur 50 Einfluss von GA_3 auf das spezifische Blattgewicht entlang des Haupttriebes am 23. Juli 1979 (Mittelwerte aus 15 Pflanzen)

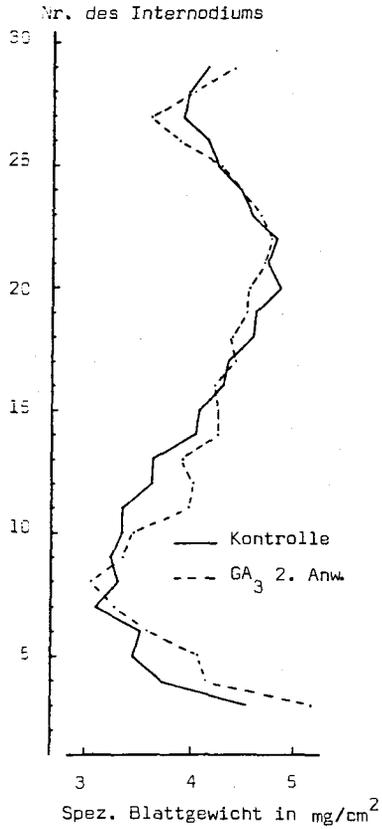


Tabelle 25 Einfluss von GA₃ auf das Wachstum der Ackerbohne im Jahre 1979
(Mittelwerte aus 15 Pflanzen) * sig. P = 0.05

1. Teilernte (23. Juli)

| Verf. | Hülsen/ Pfl. | Hülsen-TS/ Pfl. (g) | Blätter-TS/ Pfl. (g) | Stengel-TS/ Pfl. (g) | Wurzel-TS/ Pfl. (g) | Gesamt-TS/ Pfl. (g) | Blattfläche/ Pfl. (cm ²) |
|-------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---|
| KO | 29.1 | 14.62 | 8.40 | 15.13 | 3.24 | 41.36 | 2052.7 |
| GA ₃ 1 | 24.5 | 14.70 | 8.09 | 15.26 | 3.40 | 41.45 | 1927.5 |
| GA ₃ 2 | 30.6 | 16.48 | 9.10 | 16.52 | 3.79 | 45.89 | 2183.0 |
| GA ₃ 3 | 27.3 | 15.26 | 7.74 | 14.13 | 3.35 | 40.48 | 1875.0 |
| F-Zeit. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| KGD 5% | 4.8 | 2.59 | 1.5 | 2.60 | 0.68 | 6.72 | 295.6 |

2. Teilernte (7. August)

| | | | | | | | |
|-------------------|------|-------|------|-------|------|-------|--------|
| KO | 25.3 | 33.66 | 7.13 | 14.00 | 3.15 | 57.95 | 1766.9 |
| GA ₃ 1 | 21.5 | 29.02 | 5.72 | 12.03 | 3.12 | 49.89 | 1573.4 |
| GA ₃ 2 | 28.5 | 37.15 | 7.22 | 14.31 | 3.51 | 62.19 | 1820.6 |
| GA ₃ 3 | 26.1 | 33.97 | 6.55 | 14.21 | 3.28 | 58.00 | 1685.7 |
| F-Zeit. | * | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| KGD 5% | 4.6 | 6.98 | 1.54 | 2.78 | 0.67 | 11.38 | 345.7 |

3.5. Einfluss von GA_3 auf die vegetative Entwicklung und auf die Ertragskomponenten bei der Schlussernte

3.5.1. Einfluss von GA_3 auf den Durchmesser des Stengels

Während der Vegetationsperiode führten wir keine Erhebung der Stengeldicke durch. Die bei der Schlussernte durchgeführten Messungen der Stengeldicke bei GA_3 -Verfahren 2 haben ähnliche Resultate ergeben wie diejenigen nach dem zweiten Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) der mittleren Konzentration (10^{-4} M) im Feldversuch 1978. In Figur 51 haben wir die Stengeldicke aufgezeichnet. Die mit GA_3 behandelten Pflanzen weisen dickere Internodien als diejenigen der Kontrolle auf. Die Unterschiede sind jedoch nicht so ausgeprägt wie im Jahr 1978 (Figur 24).

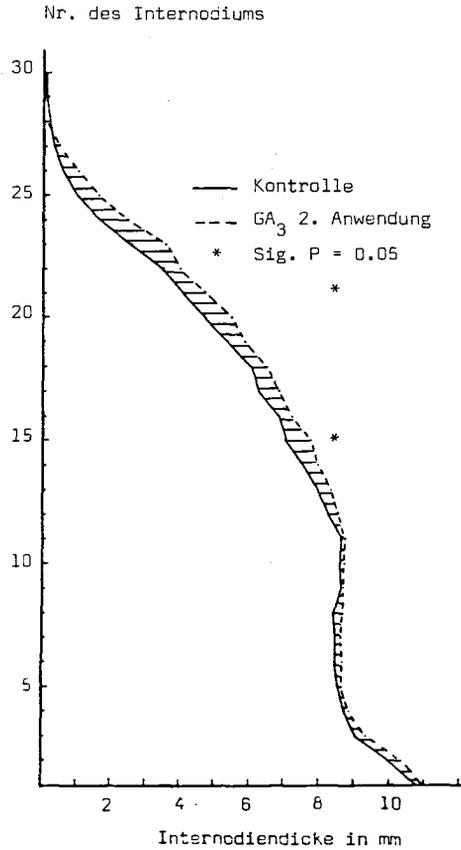
3.5.2. Einfluss von GA_3 auf das Trockengewicht der Stengel je Internodium

Bei der Schlussernte brachte die Untersuchung der Stengel trockenmasse je Internodium (Figur 52) die gleichen Ergebnisse wie im Jahre 1978 (Figur 27). Die Internodien ohne Hülansenatz der GA_3 behandelten Pflanzen haben ein grösseres Trockengewicht, während die fertilen Internodien in dieser Hinsicht keinen signifikanten Unterschied zeigen. Aus Figur 52 ist ebenfalls ersichtlich, dass die Trockenmasse nicht so gross war wie im Vorjahr.

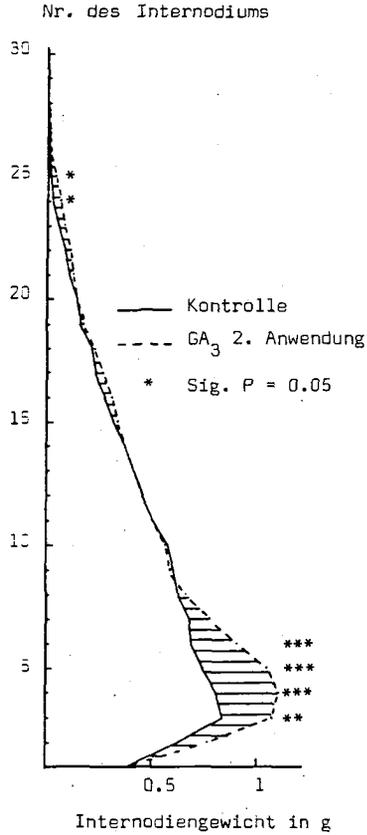
3.5.3. Einfluss von GA_3 auf die Internodienlänge und auf den Hülansenatz je Internodium

In Figur 53 wird veranschaulicht, dass sich die GA_3 -Applikation auf die Internodienlänge und den Hülansenatz je Internodium ähnlich wie in den Jahren 1977 und 1978 (Figuren 12 und 36) auswirkte. Der Hülansenatz an den verkürzten Internodien wurde erhöht.

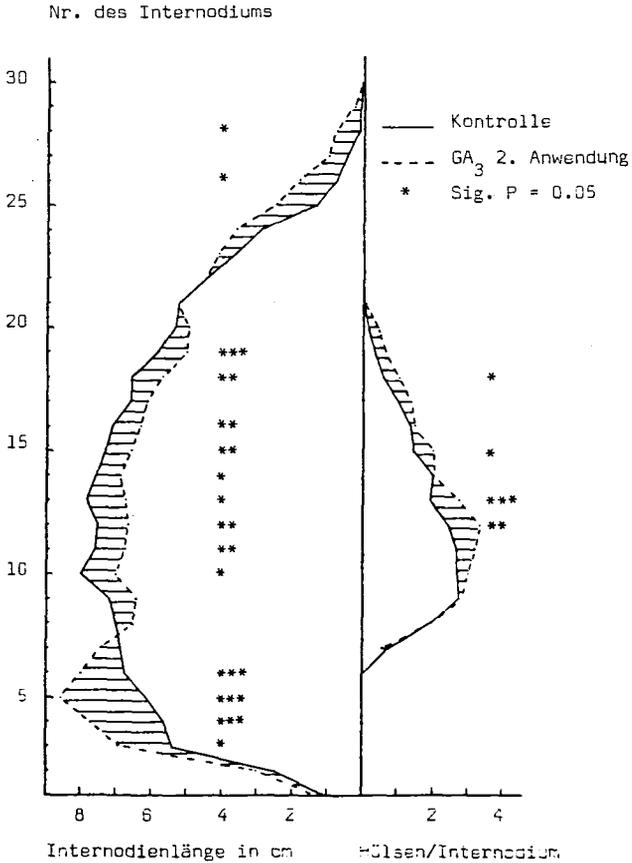
Figur 51 Einfluss von GA_3 auf die Durchmesser der Internodien des Haupttriebes bei der Schlussernte im Jahre 1979
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



Figur 52 Einfluss von GA_3 auf die Trockengewichte der Internodien des Haupttriebes bei der Schlusserte im Jahre 1979
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



Figur 53 Einfluss von GA_3 auf die Länge der Internodien und die Anzahl HÜlsen bei der Schlussernte im Jahre 1979 (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)



3.5.4. Einfluss von GA_3 auf das Trockengewicht der Körner je Internodium

Die Zahl und die Trockenmasse der Körner je Internodium sind gleich beeinflusst worden.

Wir haben lediglich in Figur 54 das Trockengewicht der Körner je Internodium aufgezeichnet. Die Internodien der GA_3 behandelten Pflanzen ergeben, ähnlich wie im Jahr 1978 (Figur 38), eine signifikant höhere Trockenmasse der Körner als die Kontrolle.

3.5.5. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der vegetativen Pflanzenteile und auf den Ernte-Index

In Tabelle 26 sind die Ergebnisse über den Einfluss der GA_3 -Applikation auf die Stengel-, Wurzel- und die gesamte Trockenmasse zusammengestellt. Obwohl der zweite Anwendungszeitpunkt bei allen gemessenen Parametern das grösste Trockengewicht bewirkt hat, konnten zwischen den Verfahren keine statistisch signifikanten Unterschiede berechnet werden. Der zweite Anwendungszeitpunkt erbrachte die grösste Gesamttrockenmasse (+15%). Der Ernte-Index ist bei allen Verfahren praktisch unverändert geblieben.

3.5.6. Einfluss von GA_3 auf die Ertragskomponenten

Die wichtigsten Ertragskomponenten sind in Tabelle 27 dargestellt. Das GA_3 -Verfahren 2 bewirkte einen signifikant höheren Hülsenansatz sowie eine signifikant höhere Körnerzahl. Das Einzelkorngewicht hingegen ist signifikant kleiner als bei der Kontrolle. Der Ertrag pro Pflanze wurde zwar um 16% gesteigert, ist aber nicht signifikant höher. Die übrigen Verfahren unterscheiden sich nicht eindeutig von der Kontrolle.

Figur 54 Einfluss von GA_3 auf die Trockengewichte der Körner je Internodium bei der Schlussernte im Jahre 1979
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen)

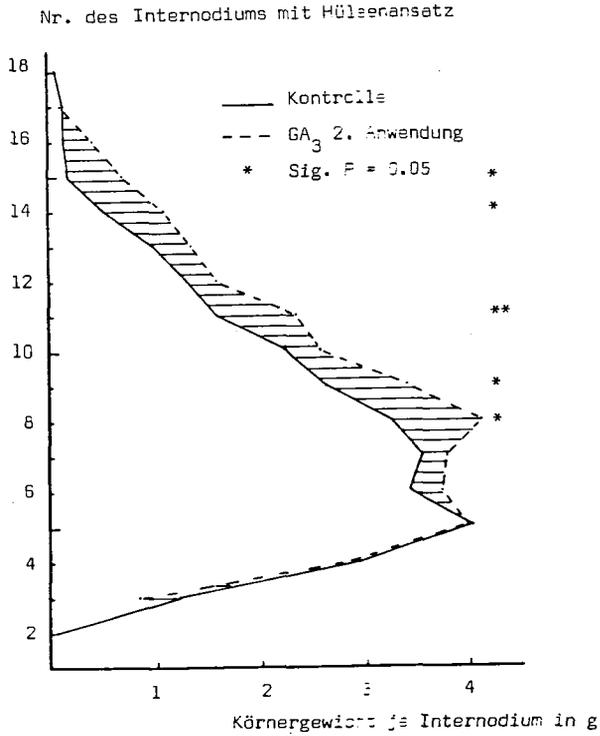


Tabelle 26 Einfluss von GA₃ auf das vegetative Wachstum und auf den Ernte-Index bei der Schlusserte (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)

| Verfahren | Stengel-TS/Pfl. (g) | | Wurzel-TS/Pfl. (g) | | Gesamt-TS/Pfl. (g) | | Ernte-Index | |
|-------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|-------------|-------|
| | \bar{x} | % | \bar{x} | % | \bar{x} | % | \bar{x} | V_k |
| Kontrolle | 9.92 | 100.0 | 2.70 | 100.0 | 50.32 | 100.0 | 0.56 | 0.05 |
| GA ₃ 1 | 11.28 | 113.7 | 2.85 | 105.6 | 54.32 | 108.0 | 0.56 | 0.05 |
| GA ₃ 2 | 11.53 | 116.2 | 2.95 | 109.3 | 57.85 | 115.0 | 0.57 | 0.07 |
| GA ₃ 3 | 10.56 | 106.4 | 2.44 | 89.3 | 51.25 | 101.9 | 0.57 | 0.04 |
| F-Zeitp. | n.s. | | n.s. | | n.s. | | n.s. | |
| KGD 5% | 1.60 | | 0.55 | | 7.92 | | 0.017 | |

Tabelle 27 Einfluss von GA₃ auf die Ertragskomponenten bei der Schlusserte
(Mittelwerte aus 24 Pflanzen) * sig. P = 0.05

| Verfahren | Hülsenzahl/Pfl. | | Körnerzahl/Pfl. | | Einzelkorngew. (mg) | | Kö. Ertrag/Pfl. (g) | |
|-------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | \bar{x} | % | \bar{x} | % | \bar{x} | % | \bar{x} | % |
| Kontrolle | 22.3 | 100.0 | 69.7 | 100.0 | 410 | 100.0 | 28.38 | 100.0 |
| GA ₃ 1 | 21.7 | 97.1 | 70.6 | 101.4 | 437* | 106.6 | 30.60 | 107.8 |
| GA ₃ 2 | 27.1* | 121.5 | 86.7* | 124.5 | 382* | 92.7 | 33.00 | 116.3 |
| GA ₃ 3 | 23.3 | 104.2 | 74.5 | 106.9 | 386 | 93.8 | 29.18 | 102.8 |
| F-Zeitp. | * | | * | | *** | | n.s. | |
| KGD 5% | 3.5 | | 11.5 | | 25 | | 4.65 | |

3.5.7. Einfluss von GA₃ auf einige Beziehungen zwischen vegetativem und reproduktivem Wachstum

Einige der berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen Parametern des vegetativen und des reproduktiven Wachstums sind in Tabelle 28 zusammengestellt. Es ist daraus ersichtlich, dass sich ähnliche Korrelationen wie im Jahre 1978 (Tabelle 15) ergaben. Eindeutig ist wiederum die starke positive Korrelation zwischen der gesamten Trockenmasse und dem Körnerertrag.

Tabelle 28 Einfluss von GA₃ auf einige Beziehungen zwischen vegetativer und reproduktiver Entwicklung bei der Schlussernte (Mittelwerte aus 24 Pflanzen)

* sig. P = 0.05

| Verf. | Kö.zahl- EKG | Hü.zahl- Ertrag | Stengel-TS- Ertrag | Wurz.TS- Ertrag | Gesamt-TS- Ertrag |
|-------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| KO | - 0.25 | 0.81 *** | 0.75 *** | 0.77 *** | 0.98 *** |
| GA ₃ 1 | - 0.42 * | 0.81 *** | 0.73 *** | 0.60 ** | 0.96 *** |
| GA ₃ 2 | - 0.08 | 0.80 *** | 0.78 *** | 0.83 *** | 0.98 *** |
| GA ₃ 3 | 0.10 | 0.89 *** | 0.95 *** | 0.80 *** | 0.99 *** |

4. ZUSAMMENFASSUNG (Feldversuch 1979)

In einem Feldversuch wurde der Einfluss von GA_3 auf das Wachstum und den Ertragsaufbau bei der Ackerbohne untersucht. Wir benützten dazu eine GA_3 -Konzentration (10^{-4} M) in drei Anwendungszeitpunkten (5.5-, 6.5- und 7.5-Blattstadium), wobei der zweite (6.5-Blattstadium) die besten Ergebnisse geliefert hat. Das Sprosslängenwachstum wurde kurz nach der GA_3 -Applikation hochsignifikant gefördert. Etwa einen Monat später waren keine signifikanten Unterschiede der Pflanzenhöhe festzustellen. GA_3 hat die Entwicklung der vegetativen Stadien (Entfaltung der Blätter) signifikant beschleunigt. Die durchschnittliche Rate des Längenwachstums wurde kurz nach der GA_3 -Behandlung stark erhöht. Der Steigerung folgte eine Verringerung der Wachstumsrate, später ergaben sich keine Unterschiede mehr.

Während der ganzen Vegetationsperiode erbrachte der zweite GA_3 -Anwendungszeitpunkt eine grössere Fruchtzahl je Internodium. Bei zwei Teilernten während der Kornfüllungsphase ergaben sich keine klaren Unterschiede zwischen den GA_3 -Verfahren und der Kontrolle bezüglich der Blattfläche, des spezifischen Blattgewichts, der Trockenmasse der Blätter, der Trockenmasse der Stengel, der Trockenmasse der Wurzel und der gesamten Trockenmasse pro Pflanze. Zum Teil signifikante Unterschiede beobachteten wir hingegen für die Blattfläche pro Internodium. Der zweite Anwendungszeitpunkt bewirkte an den unteren Internodien eine kleinere und an den oberen Internodien eine grössere Blattfläche. Bei der Schlussernte wies der zweite Anwendungszeitpunkt eine Tendenz zu dickeren Internodien auf. Das gleiche Verfahren erzeugte eine signifikant höhere Trockenmasse der unteren und oberen Internodien. Die mittleren Internodien zeigten gegenüber der Kontrolle keinen Gewichtsunterschied. Das Trockengewicht der Stengel und der Wurzeln und die gesamte Trockenmasse pro Pflanze wurden durch GA_3 nicht signifikant gesteigert. Die zweite GA_3 -Anwendung (6.5-Blattstadium, 10^{-4} M) führte zu einer signifikant grösseren Hülsen- und Körnerzahl pro Pflanze, während der Körnerertrag pro

Pflanze nicht signifikant erhöht wurde. Das Einzelkorngewicht wurde signifikant verkleinert. Die übrigen zwei GA₃-Verfahren zeigten keine klaren Wirkungen.

Der Ernte-Index blieb bei allen Verfahren unverändert.

Zwischen der gesamten Trockenmasse pro Pflanze und dem Körnerertrag pro Pflanze konnte eine hochsignifikante Korrelation berechnet werden.

IV. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Feldversuche 1977-79 in Eschikon

1. Einfluss der applizierten Wachstumsregulatoren

Im ersten Versuchsjahr (1977) untersuchten wir bei zehn Wachstumsregulatoren die Wirkung auf das Wachstum und den Ertragsaufbau der Ackerbohne. Nur Gibberellinsäure (GA_3) ergab eine klare Verbesserung der Ertragsstruktur. Die übrigen Regulatoren hatten keine Verbesserung, sondern meistens eine Verschlechterung der Ertragsstruktur zur Folge. Besonders die wachstumshemmenden Wirkstoffe (TIBA, Atrinal) beeinflussten die Ertragskomponenten negativ. Die in den Jahren 1978 und 1979 eingehender untersuchten Wirkungen von GA_3 auf das Wachstum der Ackerbohne haben ähnliche Ergebnisse wie jene des Versuchsjahres 1977 ergeben.

2. Einfluss des Anwendungszeitpunktes

Der relativ grosse Zeitabstand zwischen den einzelnen Anwendungszeitpunkten des ersten Versuchsjahres (1977) hat gezeigt, dass die Erfolgchancen bei einer frühen Anwendung der Wachstumsregulatoren grösser sind. Die besten Effekte erzielten wir bei allen Wachstumsregulatoren im ersten Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium), d.h. wenn die Stoffwechselfvorgänge und die Zellteilungen schneller ablaufen. Demzufolge schränkten wir unsere weiteren Untersuchungen mit GA_3 auf den Zeitraum um das 6-Blattstadium ein.

Im Versuchsjahr 1978 haben alle drei Anwendungszeitpunkte (4-, 6-, 10-Blattstadium) der mittleren GA_3 -Konzentration positive Ergebnisse auf die Ertragskomponenten erbracht. Im Versuch des Jahres 1979 hingegen hat von den drei gewählten Anwendungszeitpunkten (5.5-, 6.5-, 7.5-Blattstadium) nur die Applikation im 6.5-Blattstadium positive Wirkungen gezeigt. Es scheint deshalb eine Interaktion zwischen dem Anwendungszeitpunkt und dem Anwendungsjahr zu bestehen. Es ist schwierig dieses Verhalten zu erklären. Man weiss allgemein, dass Wachstumsregulatoren von Jahr zu Jahr un-

terschiedliche Wirkungen haben können, die möglicherweise auf verschiedene Umwelteinflüsse zurückzuführen sind. Diese zu erfassen, ist äusserst schwer; diesbezügliche Versuche blieben bis heute erfolglos.

3. Einfluss der Konzentration

Die GA_3 -Konzentration von 10^{-4} M hat in allen Versuchsjahren die besten Ergebnisse gezeigt. Warum jeweils die stärkeren und schwächeren GA_3 -Konzentrationen in den Jahren 1977 und 1978 zu negativen Ergebnissen geführt haben, kann mit unseren Untersuchungen nicht erklärt werden. Dass die verwendete Wirkstoffkonzentration wichtig ist und dass unterschiedliche Konzentrationen zu anderen Reaktionen führen können, ist allgemein bekannt.

4. Einfluss von GA_3 auf das vegetative Wachstum

4.1. Einfluss von GA_3 auf die vegetative Entwicklung

Die GA_3 -Applikationen haben eine schnellere Entwicklung der vegetativen Stadien verursacht. Dies ist auf den wachstumsfördernden Effekt von GA_3 zurückzuführen. Die schnellere Entfaltung der Blätter könnte sich durch eine frühere Bereitstellung von Assimilaten für die Früchte positiv ausgewirkt haben.

4.2. Einfluss von GA_3 auf die Veränderung der Pflanzenhöhe

In allen drei Versuchsjahren wurde nach der GA_3 -Applikation eine starke Förderung des Sprosslängenwachstums festgestellt. Diese klang kurz nach der Behandlung ab, und drei bis vier Wochen danach waren keine signifikanten Unterschiede in der Pflanzenhöhe mehr zu beobachten.

Knapp (1961) beschreibt diese baldige Abnahme der Wachstumsförderung als typisch für GA_3 : unbehandelte Pflanzen sind im End-

stadium der Entwicklung gleich gross wie solche, auf die GA_3 appliziert wurde. Die Zunahme des Längenwachstums ist auf eine vermehrte Zellteilung und Zellstreckung zurückzuführen.

4.3. Einfluss von GA_3 auf die Internodienlänge

Kurz nach der GA_3 -Applikation zeigen die meisten Internodien eine deutliche Längenzunahme. Diese wird durch den Einfluss von GA_3 auf die grössere Zellstreckung und Zellteilung in den Geweben der Internodien bewirkt. Die, verglichen mit der Kontrolle, an den späteren Erhebungsdaten festgestellten Verschiebungen zu längeren, kürzeren und wieder längeren Internodien könnte auf zweierlei Art erklärt werden.

Die eintretende Verlangsamung des Wachstums der mittleren Internodien ist möglicherweise als Kompensation zur vorhergehenden starken Streckung zu verstehen. Es ist jedoch zu bemerken, dass zur gleichen Zeit, wo sich das Wachstum der mittleren Internodien verlangsamt, die oberen Internodien einen Trend zum Längerwerden aufweisen.

Die Verschiebung der Internodienlängen entlang des Haupttriebes könnte andererseits durch die momentane Hormon-Konzentration bei der GA_3 -Applikation verursacht worden sein. Es ist anzunehmen, dass zu diesem Zeitpunkt die Zahl der Internodien bereits fixiert war.

4.4. Einfluss von GA_3 auf die Durchmesser der Internodien

Die Zunahme des Dickenwachstums kurz nach der GA_3 -Applikation ist mit einer vermehrten Aktivität des Kambiums in Zusammenhang zu bringen (Bradley und Crane, 1957; Wareing, 1958). Die späteren Unterschiede im Dickenwachstum der unteren und oberen Internodien während der restlichen Entwicklung können wir nicht erklären. Durch das von uns applizierte GA_3 greifen wir offenbar so in den Hormonhaushalt der Pflanze ein, dass es zu einer solchen Verschiebung kommt. Interaktionen zwischen Dickenwachstum und der Entwicklung der Früchte, der Blätter und der Wurzeln

könnten dabei auch eine wichtige Rolle spielen.

4.5 Einfluss von GA₃ auf das Trockengewicht der Stengel

Die signifikant höhere Trockenmasse der Stengel am 2. Juni 1978 (+38%) beim Verfahren 2.2 ist eindeutig auf die fünf Tage vorher erfolgte GA₃-Applikation zurückzuführen. Durch die erhöhte Zellteilung und Zellstreckung wird die Trockenmasse der Stengel vermehrt. Bei den nächsten zwei Erntedaten ist eine Abnahme der Trockenmasse der Stengel bei den GA₃ behandelten Pflanzen zu beobachten. Bei den späteren Erntedaten weisen die GA₃-Verfahren dann wieder ein erhöhtes Trockengewicht der Stengel auf. Wie es zu dieser Verschiebung während der Vegetationsperiode gekommen ist, kann nicht genau erklärt werden. Vielleicht sind eine mögliche Kompensation zum starken Wachstum nach der GA₃-Applikation oder eine Verschiebung hormonaler Art die Gründe dafür. Weiter könnte die Abnahme der Trockenmasse der Stengel durch eine erhöhte Translokation in die Früchte erklärt werden. Ferner wäre möglich, dass zu diesem Zeitpunkt die Trockenmasse der Stengel durch Veratmung Verluste erleidet, da die Assimilate nun vermehrt in den Früchten eingelagert werden. Allinson und Watson (1966) haben ein solches Verhalten beim Mais festgestellt. Die kürzeren Internodien entlang dem Haupttrieb wiesen jeweils auch ein geringeres Gewicht auf. Dies könnte darauf hinweisen, dass die leichteren Internodien weniger Assimilate für ihren Aufbau benötigen. Möglicherweise sind die dabei eingesparten Assimilate vermehrt zu den Früchten umgeleitet worden. Bei der Schlussernte haben jedoch die vorher leichteren Internodien ein grösseres Gewicht aufgewiesen. Dies könnte so interpretiert werden, dass am Ende der Körnerfüllung, als die Früchte keinen wesentlichen "sink" mehr darstellen, vermehrt Assimilate für den Aufbau der Stengel zur Verfügung standen.

4.6. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse der Wurzel

Ueberraschend haben wir festgestellt, dass nach der GA_3 -Applikation nicht nur die Trockenmasseproduktion der oberirdischen Pflanzenteile, sondern auch jene der Wurzel stark angestiegen war. In der Regel erwartet man nach GA_3 -Applikationen eine Zunahme im Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile und eine Abnahme des Wurzelwachstums (Elson, 1978). Die Angaben in der Literatur sind widersprüchlich. Sitnikovas (1969) beobachtete nach einer GA_3 -Applikation bei Ackerbohnen eine starke Steigerung des Wurzelwachstums. Lesina (1966) hingegen berichtet von einer Verminderung der Trockenmasse der Wurzel nach einer Behandlung von Ackerbohnen mit GA_3 . Je nach Versuchsjahr und Versorgung des Bodens mit Haupt- und Spurenelementen konnte Avertisyan (1968) einen Zuwachs oder einen Rückgang der Trockenmasseproduktion der Wurzel von Ackerbohnen nach einer GA_3 -Applikation feststellen. In unseren Versuchen förderte die GA_3 -Behandlung von Ackerbohnen das Wurzelwachstum. Ob es sich dabei um eine direkte GA_3 -Wirkung handelte oder ob diese indirekt, möglicherweise durch die Beeinflussung der Cytokininproduktion, zustande kam, lässt sich nicht sagen. Vom 9. August 1978 an bis zur Schlussernte war eine Abnahme der Trockenmasse der Wurzel zu beobachten. Es könnte sich dabei um eine Rücktranslokation von mobilisierbaren Reservestoffen von den Wurzeln zu den Körnern handeln. Auf diese Möglichkeit wies schon Gehriger (1978) hin. Andererseits sind zu diesem Zeitpunkt der Abbau und die Veratmung der Wurzelmasse vielleicht schon so weit fortgeschritten, dass dadurch die Trockenmasseproduktion herabgesetzt wird. Tamaki et al (1971) und Jaquiéry (1977) wiesen darauf hin, dass die Stengel und die Wurzeln der Ackerbohne als Speicherorgan für die Körner funktionieren können.

4.7. Einfluss von GA₃ auf die gesamte Trockenmasse

Die am 2. Juni 1978 und an späteren Daten signifikant höhere Gesamt-Trockenmasse pro Pflanze im ersten und zweiten Anwendungszeitpunkt bei mittlerer GA₃-Konzentration (10^{-4} M) ist auf die typische Wachstumsförderung durch GA₃ zurückzuführen. Die Frage, warum in den Jahren 1977 und 1979 die gesamte Trockenmasse nach der GA₃-Behandlung nicht so stark gestiegen ist, lässt sich nicht genau erklären. Möglicherweise erlaubten in diesen Jahren ungünstigere Umwelteinflüsse (Temperatur, Wasserversorgung usw.) nur eine geringere Förderung der Trockenmasseproduktion.

4.8. Einfluss von GA₃ auf die Blattfläche und die Trockenmasse der Blätter

Die Blattfläche pro Pflanze konnte durch GA₃-Behandlungen weder im Jahre 1978 noch 1979 deutlich vergrössert werden. Die Blattfläche pro Internodium zeigte hingegen klare Unterschiede. Während die unteren Internodien eine kleinere Blattfläche aufwiesen, hatten die oberen Internodien eine grössere Blattfläche pro Internodium. Dies könnte für eine bessere Versorgung der Früchte mit Assimilaten sehr wichtig sein. Wie Gehriger (1978) hebt auch Bertholdsson (1980) in seinen Untersuchungen bei Ackerbohnen hervor, dass für eine gute Einlagerung von Assimilaten in den Körnern die oberen Blätter von entscheidender Bedeutung sind. Die Blätter mit der grösseren Blattfläche haben auch ein entsprechend höheres Gewicht.

4.9. Einfluss von GA₃ auf das spezifische Blattgewicht

Der Einfluss von GA₃ auf das spezifische Blattgewicht war in den Jahren 1978 und 1979 unterschiedlich. Im Jahre 1978 beobachteten wir kurz nach der GA₃-Behandlung bei den GA₃-Verfahren eine Abnahme des spez. Blattgewichtes. Zu diesem Zeitpunkt bewirkte GA₃ eine Anregung der Stoffwechselfvorgänge, und

der Entwicklungsrhythmus der Pflanze wurde beschleunigt. Eine grössere Zellteilung und Zellstreckung trat ein. Aus dem kleineren spezifischen Blattgewicht kann man schliessen, dass es zu einem grösseren Abtransport von Assimilaten (z.B. Kohlenhydraten) zu den vegetativen und reproduktiven Pflanzenteilen gekommen war (Stengel, Wurzel, Früchte). Zu diesem Zeitpunkt sind die GA_3 behandelten Pflanzen höher, sie besitzen eine grössere Fruchtzahl je Internodium; ebenfalls stieg das Trocken-gewicht der Stengel und der Wurzel. Halevy et al. (1964) stellten bei GA_3 behandelten Gurken-Pflanzen ebenfalls eine Abnahme der Trockenmasse der Blätter fest. Sie schreiben dies einer gesteigerten Translokation zu. Auch Cole et al. (1972) haben die Abnahme des spezifischen Blattgewichtes von GA_3 behandelten Luzerne-Pflanzen auf eine daraus resultierende erhöhte Translokation zurückgeführt.

Das spätere Ansteigen des spezifischen Blattgewichtes deutet auf eine bessere Assimilation der GA_3 behandelten Pflanzen hin. Das grössere spezifische Blattgewicht an den oberen Internodien beim GA_3 -Verfahren 2.2 am 20. Juli 1978 trug vermutlich entscheidend zu einer besseren Versorgung der Früchte mit Assimilaten bei. Zu diesem Zeitpunkt war die Trockenmasse der Hülsen bei diesem Verfahren signifikant grösser (+38%). Aus den Arbeiten von Jaquiéry und Keller (1978) wissen wir, dass der Transportweg von Assimilaten von den oberen zu den tiefer liegenden Internodien keine Barriere bildet. Die meisten Internodien, welche ein höheres spezifisches Blattgewicht hatten, waren kürzer als die entsprechenden von unbehandelten Pflanzen. Somit war der Transportweg der Assimilate kürzer als bei den Kontrollpflanzen. Das Internodiengewicht dieser kürzeren Internodien war kleiner, so dass möglicherweise vermehrt Assimilate für die Früchte dieser Internodien zur Verfügung standen. Im Jahre 1979 wurden zwischen den Verfahren keine eindeutigen Unterschiede bezüglich des spezifischen Blattgewichtes beobachtet. Die Versorgung der Früchte mit Assimilaten war in diesem Jahr schlechter als im Vorjahr und auch schlechter als bei der Kontrolle. Dies zeigte sich am kleineren Einzelkorngewicht der GA_3 behan-

delten Pflanzen. Welche Faktoren dies verursachten, (hormonale, klimatische usw.) ist äusserst schwierig wahrscheinlich nur analytisch zu erfassen.

Unklar und umstritten ist, ob von einer Erhöhung des spezifischen Blattgewichtes auf eine höhere Assimilation geschlossen werden darf. Boussingault (1868) postulierte, die Einlagerung von Assimilaten in den Blättern deute auf eine Abnahme der Netto-Photosyntheserate hin. Es stellt sich dabei die Frage nach der chemischen Zusammensetzung der Assimilate, die eine solche Gewichtserhöhung bewirkten. Wir führten in unseren Untersuchungen keine chemischen Analysen der Blätter durch.

In der Literatur ist man sich nicht einig, ob die Zunahme des spezifischen Blattgewichtes mit einer höheren oder tieferen Assimilation gekoppelt sei. Neales und Incoll (1968) und Wardlaw (1968) haben diesbezüglich eine gute Zusammenstellung der verschiedenen Hypothesen erarbeitet. Bhagsari et al. (1977) haben die apparente Photosynthese bei Sojabohnen-Pflanzen gemessen. Von jeweils drei vorgenommenen Messungen fanden sie nur bei einer eine positive Korrelation zwischen der apparenten Photosynthese und dem spezifischen Blattgewicht. Cole et al. (1972) stellten eine Vermehrung der Trockenmasse der Stengel bei der Luzerne fest, die mit GA_3 behandelt wurde. Die Photosyntheserate, die Atmung und das spezifische Blattgewicht wurden dabei signifikant vermindert. Charles-Edwards (1978) beobachtete, dass der Anstieg des spezifischen Blattgewichtes mit einer Zunahme der Blattdicke verbunden war. Das spezifische Blattgewicht war mit der Netto-Photosyntheserate positiv korreliert. Zum gleichen Schluss kamen Dornhoff und Shibles (1970) bei Sojapflanzen. Die Zunahme des spezifischen Blattgewichtes und der daraus resultierenden höheren Photosyntheserate wird von Kaplan et al. (1977) mit einer Herabsetzung des CO_2 -Diffusionswiderstandes im Mesophyll erklärt.

Umwelteinflüsse, der Hormonhaushalt der Pflanze sowie "sink-source" Beziehungen tragen entscheidend dazu bei, dieses komplexe System zu verändern.

Bei geköpften Ackerbohnenpflanzen stellte Gehriger (1979a) dun-

klere und dickere Blätter fest. Das spezifische Blattgewicht war grösser. Daraus leitete er eine gesteigerte Assimilation dieser Blätter ab. Ebenfalls bei Ackerbohnenpflanzen beobachtete Bertholdsson (1980) Blattveränderungen. Die Blätter waren dicker und das spezifische Blattgewicht höher. Die Netto-Photosyntheserate, der Chlorophyllgehalt und jener an Mono- und Dissacchariden waren gestiegen. Auch die Aktivität der Ribulose-1.5-diphosphat carboxylase wurde gesteigert. Der CO_2 -Diffusionswiderstand im Mesophyll war gesunken, womit die Hypothese von Kaplan et al. (1977) bestätigt wird.

4.10. Einfluss von GA_3 auf die Blattflächendauer (LAD)

Die im Feldversuch 1978 berechnete LAD ergab keine klaren Unterschiede zwischen den GA_3 behandelten Pflanzen und der Kontrolle. Unsere Ergebnisse stehen im Gegensatz zu denen von Gehriger und Keller (1979 b), welche eine signifikante positive Korrelation zwischen der LAD und dem Körnerertrag pro Pflanze ermitteln konnten. Ishag (1973 b) hingegen fand ebenfalls keine Korrelation zwischen dem Körnerertrag und der LAD. Dies weist darauf hin, dass es für die Erhöhung des Körnerertrages nicht unbedingt die Ausbildung einer maximalen LAD braucht.

4.11. Einfluss von GA_3 auf die durchschnittliche Nettoassimilationsrate ($\overline{\text{NAR}}$)

Die Nettoassimilationsrate einer Pflanzenpopulation kann als der Index der Netto-Photosyntheserate angesehen werden, denn sie berücksichtigt die Trockenmassezunahme in Beziehung zu der Blattfläche und die Verluste der Pflanze durch Veratmung (Muramoto et al., 1975).

Die von uns berechnete $\overline{\text{NAR}}$ im Jahre 1978 stimmt gut mit den von Ishag (1973 b) und Repka et al. (1974) bei Ackerbohnen berechneten Werten überein. Der signifikante Anstieg der $\overline{\text{NAR}}$ kurz nach der GA_3 -Applikation steht in einem gewissen Widerspruch zur signifikanten Verringerung des spezifischen Blattgewichtes im gleichen Zeitpunkt. Wenn diese nämlich eine Abnahme der Photosyntheserate bedeuten sollte und gleichzeitig die $\overline{\text{NAR}}$ heraufge-

setzt wird, so stellt sich die Frage, wie es zur beobachteten Steigerung der Trockenmasseproduktion durch GA_3 gekommen ist. Wie bereits erwähnt, ist die Erhöhung der Trockenmasseproduktion kurz nach der GA_3 -Behandlung wahrscheinlich auf die typische GA_3 -Wirkung einer vermehrten Zellteilung und Zellstreckung zurückzuführen. Ob zu diesem Zeitpunkt (2. Juni) GA_3 ebenfalls eine Steigerung der Photosyntheserate verursachte, lässt sich aus unseren Untersuchungen nicht ersehen. Nur die experimentelle Messung der Photosynthese könnte weitere aufschlussreiche Hinweise liefern. Die grössere \overline{NAR} in der späteren Phase der Vegetationsperiode würde hingegen auf die Hypothese einer gesteigerten Photosyntheserate hindeuten. Alvim (1960) berichtet ebenfalls von einer Zunahme der Nettoassimilationsrate bei der Behandlung von Gartenbohnen-Pflanzen (*Phaseolus vulgaris* L.) mit Gibberellinsäure. Untersuchungen bei verschiedenen Ackerbohnen-Sorten von El-Zahab et al. (1980) haben gezeigt, dass in Zukunft mehr auf die Selektion von effizienteren Genotypen bezüglich einer hohen Nettoassimilationsrate als von solchen mit maximaler Blattfläche geachtet werden sollte. Eine hohe photosynthetische Aktivität während der Zeit der Hülsenbildung ist dabei von grosser Bedeutung. El-Zahab et al. (1980) beobachteten auch, dass die Produktion der gesamten Trockenmasse nicht sehr stark von der Blattfläche abhängig war. Sie weisen darauf hin, dass zu gewissen Zeitpunkten die gebildete Blattfläche überoptimal war.

5. Einfluss von GA_3 auf die reproduktive Entwicklung

5.1. Einfluss von GA_3 auf die Entwicklung der Früchte und auf den Fruchtfall

Die grössere Fruchtbildung pro Pflanze und je Internodium bei den GA_3 behandelten Pflanzen in allen drei Versuchsjahren ist auf einen direkten oder indirekten GA_3 -Effekt während der Zeit des Fruchtansatzes zurückzuführen.

Eine erhöhte Translokation von Assimilaten zu den Früchten im

Zeitpunkt der kritischen Periode des Fruchtansatzes ermöglichte die Entwicklung von mehr Früchten bis zur Reife.

Bei der Fruchtanlage spielen die Pflanzenhormone eine wichtige Rolle (Laibach, 1933; Addicott, 1970). Wir werden eine mögliche direkte oder indirekte Wirkung von GA_3 auf den festgestellten kleineren Fruchtfall in der Gesamtdiskussion eingehender besprechen.

5.2 Einfluss von GA_3 auf die Versorgung der jungen Früchte mit ¹⁴C-markierten Assimilaten

Anhand der durchgeführten ¹⁴C-Markierungen während der Phase der Wachstumsverlangsamung der Früchte (Jaquiéry, 1977) konnten wir zeigen, dass GA_3 eine bessere Ernährung der jungen Früchte bewirkt hatte. Dies zeigte sich vor allem durch die Erhöhung des Fruchtgewichtes von GA_3 behandelten Pflanzen während und nach dieser kritischen Periode der Fruchtbildung. Eine klare Zunahme der Aktivität der Früchte der mit GA_3 behandelten Pflanzen konnte nicht ermittelt werden. Es lässt sich somit nicht sagen, insbesondere unter Hinweis auf die zweite Markierung, ob GA_3 eine grössere "sink"-Wirkung dieser Früchte herbeigeführt hat. Die berechnete spezifische Aktivität konnte jedoch auf einen erhöhten "sink" hinweisen. Dies könnte aber nicht in allen Phasen der Fruchtentwicklung beobachtet werden. Besonders zum Zeitpunkt der Wachstumsverlangsamung (Zone 2 nach Jaquiéry) waren die GA_3 -Früchte tendenzmässig wohl schwerer als diejenigen der Kontrolle, wiesen aber in der wiedergefundenen Aktivität keine deutlichen Unterschiede auf. Es muss deshalb angenommen werden, dass durch den Wachstumsförderungseffekt von GA_3 vermehrt Assimilate für die Früchte zur Verfügung standen, dass dabei aber keine erhöhte "sink"-Wirkung eintrat.

6. Einfluss von GA_3 auf die Trockenmasse und auf die Ertragskomponenten bei der Reife

Im ersten Anwendungszeitpunkt im Jahr 1977, in allen drei Anwendungszeitpunkten im Jahre 1978 und im zweiten Anwendungs-

zeitpunkt im Jahr 1979 bewirkte die GA_3 -Konzentration von 10^{-4} M eine wenngleich nicht immer signifikante Erhöhung der Trockenmasse. Im Jahre 1978 kam dies am deutlichsten zum Ausdruck. Warum in den Jahren 1977 und 1979 keine signifikant höhere Steigerung der Trockenmasse erfolgte, kann nicht erklärt werden. Hormonale Faktoren und ungünstigere Umwelteinflüsse (Temperatur, Wasserhaushalt, Photoperiode, Bodentyp, usw.) könnten dabei eine wichtige Rolle gespielt haben. Dass in allen Versuchsjahren bei allen Verfahren der Ernte-Index praktisch unverändert blieb, zeigt, wie wichtig es ist, die Erzeugung der Trockenmasse zu fördern.

Die grössere Hülsenzahl pro Pflanze bei den GA_3 behandelten Pflanzen wirkte sich in einer Vermehrung der Körnerzahl pro Pflanze aus, dagegen ist das Einzelkorngewicht nicht erhöht worden.

In den Jahren 1977 und 1979 hat sich die allgemein bekannte negative Korrelation zwischen der Körnerzahl und dem Einzelkorngewicht bestätigt. In diesen Jahren war das Einzelkorngewicht der GA_3 behandelten Pflanzen kleiner als dasjenige der Kontrolle, und der Körnerertrag konnte nicht signifikant gesteigert werden. Im Jahre 1978 war das Einzelkorngewicht der GA_3 behandelten Pflanzen grösser als dasjenige der Kontrolle, und der Körnerertrag konnte signifikant erhöht werden.

Die Figuren 12, 36 und 53 veranschaulichen, dass sich in allen drei Versuchsjahren die grössere Hülsenzahl je Internodium bei den GA_3 behandelten Pflanzen hauptsächlich an den verkürzten Internodien befindet. Dies bedeutet möglicherweise eine doppelte positive Wirkung von GA_3 . Erstens boten die kürzeren Internodien einen kleineren Transportweg für die gebildeten Assimilate. Stoy (1966) weist darauf hin, dass mit der Länge des Transportweges der Assimilatverlust durch Veratmung steigt. Zweitens waren während der Wachstumsperiode die verkürzten Internodien im Gewicht leichter, daraus könnte eine Einsparung von Assimilaten für deren Aufbau resultieren, so dass mehr Assimilate zu den Früchten weitergeleitet wurden.

V. GESAMTDISKUSSION

DISKUSSION DER MOEGLICHEN WIRKUNGSWEISE VON GA₃

GA₃ beeinflusst die Entwicklung der Ackerbohne in doppelter Hinsicht:

1. GA₃ bewirkt zum Zeitpunkt der Fruchtbildung eine Erhöhung der Hülsen- und Körnerzahl.
 2. Eine höhere Assimilation während der Kornfüllungsphase vermag die zusätzlichen Körner genügend auszufüllen.
1. GA₃ bewirkt eine grössere Hülsen- und Körnerzahl

GA₃ kann die Hülsen- und Körnerzahl bei der Ackerbohne direkt oder indirekt erhöhen. Als unmittelbarer GA₃-Effekt wäre die typische Förderung der Zellteilung und Zellstreckung von GA₃ denkbar. Durch das angeregte Wachstum erfolgt eine grössere Translokation von Assimilaten von den Blättern zu den vegetativen und reproduktiven Pflanzenteilen. Dies wird aus dem kleineren spezifischen Blattgewicht und aus der grösseren Trockenmasse der Stengel und der Wurzel kurz nach der GA₃-Behandlung ersichtlich. Mit ¹⁴C-Markierungen während der kritischen Phase der Fruchtbildung, d.h. ca. 10 Tage nach dem Blühbeginn, beobachteten wir bei den GA₃-Verfahren eine bessere Ernährung der Früchte. Zu diesem Zeitpunkt wird die Hülsen- und die Körnerzahl pro Pflanze fixiert. Es ist deshalb wichtig, sofort nach dem Beginn der Blütenbildung einen starken Fluss von Assimilaten zu haben, um so eine genügend grosse Hülsen- und Körnerzahl pro Pflanze zu ermöglichen. Hew et al. (1967) konnten bei Sojapflanzen nachweisen, dass GA und IAA den Abtransport aus den Blättern sowie die Geschwindigkeit der Translokation steigerten. Die Verteilung von ¹⁴C-markierten Assimilaten wurde ebenfalls beeinflusst. Die Hülsenanzahl pro Pflanze hat den grössten Einfluss auf die Ertragsbildung der Ackerbohne

(Ishag, 1973 a)

Zum Zeitpunkt der Fruchtbildung der Ackerbohne (Jaquiéry, 1977) und anderer Körnerleguminosen wie der Sojabohne (Crosby et al., 1978), der Erbse (Flinn und Pate, 1968) und der Gartenbohne (Carr und Skene, 1961) tritt in der Entwicklung eine kritische Phase (lag-Phase) ein, in der es für die Früchte zu einem Mangel an Assimilaten kommt; die unterernährten jungen Früchte fallen dann ab. In dieser Periode der Fruchtentwicklung fällt den Pflanzenhormonen eine wichtige Bedeutung zu (Addicott, 1970; Bruinsma, 1973), wobei die Auxine, Gibberelline und Cytokinine besonders zu erwähnen sind.

Bei unseren Versuchen könnte GA_3 in dieser kritischen Periode der Fruchtentwicklung einen direkten oder indirekten positiven Einfluss ausgeübt und somit die Hülsen- und Körnerzahl heraufgesetzt haben. Allerdings ist die molekulare Wirkungsweise von GA_3 heute noch unbekannt. Ein erhöhter "sink"-Effekt der Früchte von GA_3 -behandelten Pflanzen wäre denkbar. Die vorgenommenen ^{14}C -Markierungen zeigen jedoch keine eindeutige "sink"-Wirkung der Früchte von mit GA_3 -behandelten Pflanzen. Bangerth (1980) berichtet, dass GA_3 -Applikationen bei Äpfeln einen grösseren Fruchtansatz und Ertrag verursacht haben. Er weist dabei darauf hin, dass GA_3 möglicherweise die Mobilisierungsaktivität zugunsten der Früchte verbessert. Während der Periode der Fruchtentwicklung ändern sich die Hormonkonzentrationen. Oft sind in der kritischen Phase der Fruchtentwicklung (lag-Phase) hohe Konzentrationen an ABA und Äthylen und niedrige Gehalte an Auxinen, Gibberellinen und Cytokinen festzustellen (Ito et al., 1969; Sladky, 1972; beide zitiert in Bangerth, 1980). Äthylen und ABA fördern im allgemeinen die Bildung der Trennschicht zwischen Fruchstiel und Stengel und damit den Fruchtfall zu diesem Zeitpunkt, während die Auxine und die Cytokine die Bildung der Trennschicht verhindern und den Fruchtfall verkleinern (Bangerth und Sjut, 1978). Denkbar wäre eine indirekte Wirkung von GA_3 durch eine erhöhte Auxin- oder Cytokininproduktion. Ein daraus resultierender erhöhter Auxin- oder Cytokinin-Fluss zu den reproduktiven Organen hätte dann den Fruchtansatz verbessert. Auxine sollen entscheidend dazu beitragen, die Bildung der Trennschicht zwischen Fruchstiel und

Stengel zu verhindern und sich antagonistisch auf die Produktion von ABA und Äthylen auszuwirken (Bangerth, 1979). Auch den Cytokinin wird ein positiver Einfluss auf den Fruchtansatz während dieser kritischen Phase der Entwicklung zugeschrieben. Crosby et al. (1978) konnten bei der Blattapplikation von Benzylaminopurin bei der Sojabohne während der kritischen Periode der Fruchtbildung die Konkurrenzkraft für Assimilate zugunsten der reproduktiven Organe verändern. Dabei erzielten sie einen besseren Hülsenansatz. Mit Benzyladenin (ebenfalls ein synthetisches Cytokinin) haben Adepape et al. (1976) bei der Kuherbse (*Vigna unguiculata* L.), Burrows und Carr (1970) bei der Erbse und Nesling et al. (1979) bei der Gartenbohne eine stärkere Mobilisierung von ^{14}C -markierten Assimilaten bei den Früchten festgestellt.

Nach Seth und Wareing (1967) spielt die Hormon-induzierte Mobilisierung von Nährstoffen in sich entwickelnden Früchten eine wichtige Rolle. Vor allem die wachstumsfördernden Hormone (Auxine, Gibberelline und Cytokinine) scheinen den Fruchtfall zu hemmen. Aber es ist bis heute noch unklar, wie wichtig jedes einzelne Hormon bei der Mobilisierung ist, ob es eine synergistische Wirkung ausübt und wie diese kontrolliert werden kann. Eine hohe Konzentration all dieser das Wachstum fördernden Hormone bei der Kuherbse zum Zeitpunkt der Fruchtbildung hatte einen geringen Fruchtfall zur Folge (Adesomoju, 1979).

Eeuwens und Schwabe (1975) berechneten bei der Gartenerbse eine starke Korrelation zwischen der Wachstumsrate der Körner und dem Gehalt von Gibberellin und Auxin. Mit dem Anstieg von ABA hingegen war die Zone der Wachstumsverlangsamung der Körner korreliert. Radley (1976) stellte bei Weizen fest, dass die stärkste Volumenvergrößerung der Körner mit einer bedeutenden Zunahme von Gibberellin verbunden war.

Wie unsere GA_3 -Applikationen bei der Ackerbohne auf die Veränderung dieser Hormone gewirkt hat, kann nicht beurteilt werden. Der Nachweis dieser Hormone zum Zeitpunkt der Fruchtbildung könnte aufschlussreiche Ergebnisse liefern.

Führte GA₃ zu einer besseren Befruchtung?

Eine weitere Möglichkeit wäre, dass GA₃ durch eine verbesserte Befruchtung die Hülsen- und Körnerzahl erhöht hat (Wareing, 1978). Tanner (1978) konnte jedoch nach der Applikation von GA₃ zum Zeitpunkt der Befruchtung von Ackerbohnen-Pflanzen keinen besseren Hülsenansatz beobachten. Auch nach den Untersuchungen von Jaquiéry (1977) ist der grosse Fruchtfall bei der Ackerbohne nicht auf eine mangelhafte Befruchtung zurückzuführen.

Mit GA₃ konnten wir - entweder indirekt durch die Förderung der Auxin- oder Cytokininproduktion, oder direkt - den Hülsenansatz der Ackerbohne verbessern. Nun stellt sich aber die Frage, wie die zusätzlichen Hülsen und Körner genügend mit Assimilaten versorgt werden können. Nach Adams (1967) hängt der Körnerertrag der Gartenbohne von drei Ertragskomponenten ab: der Hülsenzahl pro Pflanze, der Körnerzahl pro Hülse und dem Einzelkorngewicht. Die Effizienz bei der Einlagerung von Assimilaten während der kritischen Entwicklungsstadien der Pflanze bestimmt dann weitgehend den Ertrag. Wachstumsregulatoren sind an den Einlagerungsprozessen entscheidend beteiligt (Addicott, 1970; Bruinsma, 1973).

2. Können die mit GA₃ behandelten Pflanzen die zusätzlichen Körner genügend mit Assimilaten versorgen?

Folgende Faktoren können dabei eine Rolle spielen:

höhere Assimilation während der Kornfüllungsphase

Eine positive Wirkung von GA₃ während der Periode des Fruchtansatzes nützt nichts, wenn die zusätzlich gebildeten Hülsen und Körner nicht genügend mit Assimilaten versorgt werden können. Für die Bildung eines optimalen Ertrages ist eine hohe und lange Assimilation während der Kornfüllungsphase von grösster Bedeutung (Gehriger, 1978; Scarascia et al., 1979).

Die von uns durchgeführten GA_3 -Applikationen bei der Ackerbohne bewirkten nur im Jahre 1978 einen signifikant höheren Körnerertrag. Wir könnten dies auf eine höhere Assimilation während der Kornfüllungsphase zurückführen. Die höhere Assimilation spiegelt sich wider im spezifischen Blattgewicht, welches mehrmals während der Periode der Körnerfüllung im Jahre 1978 signifikant grösser ist. Die gesteigerte Assimilation in dieser Periode kommt zum Zeitpunkt der Reife im höheren Einzelkorngewicht bei den GA_3 behandelten Pflanzen zum Ausdruck. Im Jahre 1979 konnten wir während der Kornfüllungsphase keinen Unterschied im spezifischen Blattgewicht erkennen. Da in diesem Jahr die Assimilation unverändert blieb, wurden die durch GA_3 -Behandlung vermehrten Hülsen und Körner ungenügend mit Nährstoffen versorgt. Das signifikant kleinere Einzelkorngewicht bei der Reife bestätigt dies.

Es ist uns nicht möglich, genau zu erklären, warum das spezifische Blattgewicht in diesem Jahr nicht anstieg. Pflanzenhormone und Umwelteinflüsse könnten dabei eine Rolle gespielt haben.

ausgebildete Blattfläche

In unseren Untersuchungen zeigte GA_3 keine deutlichen Wirkungen bezüglich der Ausbildung der Blattfläche pro Pflanze. Shibles und Weber (1966) fanden, dass die Trockenmasseproduktion bei der Sojabohne nicht sehr stark von einem maximalen Blattflächenindex (LAI) abhängig ist. Viel wichtiger ist das prozentual eingefangene Licht. Es wurde ein unterschiedlicher Verbrauch des absorbierten Lichtes festgestellt. Der Ertrag war mit der jeweiligen Effizienz der Einlagerung von Assimilaten in die Körner korreliert und während der Kornfüllungsphase vom Verhältnis zwischen der gesamten und der photosynthetisch aktiven Blattfläche abhängig (Egli et al., 1976). Charles-Edwards (1978) fand eine positive Wechselbeziehung zwischen der Netto-Photosyntheserate und dem spezifischen Blattgewicht bei Raigras. Pflanzen mit einer grösseren Photosyntheserate hatten dabei dickere Blätter und zeigten die Tendenz, die Blattfläche weniger auszudehnen. Kaplan et al. (1977) erklären die höhere Photo-

syntheserate spezifisch schwerer Blätter aus deren geringerem CO_2 -Diffusionswiderstand im Mesophyll. Daraus resultiert eine bessere Aktivität des Assimilationsapparates, und die Photosyntheserate steigt. Die Photorespiration wird nicht beeinflusst. Scarascia et al. (1979) untersuchten zwei Sojabohnensorten bezüglich ihres Produktionspotentials. Die Sorte mit dem grösseren Ertrag wies den kleineren Blattflächenindex aber das photosynthetisch aktivere Gewebe auf. Das spezifische Blattgewicht war an verschiedenen Daten während der Kornfüllungsphase signifikant grösser. Dabei konnte eine höhere Produktion von Assimilaten beobachtet werden. Das Einzelkorngewicht wurde erhöht. Wie bereits früher erwähnt, machten Gehrieger (1978) und Bertholdsson (1980) bei der Ackerbohne ähnliche Feststellungen. Man ist sich heute nicht im klaren, wie solche Veränderungen bei der Entwicklung der Blätter entstehen. Sicher spielen dabei Pflanzenhormone eine Rolle. Hauptsächlich die Cytokinine scheinen dabei wichtig zu sein. Sie sollen einen Einfluss auf die Verzögerung der Seneszenz der Blätter haben (Skene, 1975). Fletcher (1969) konnte mit Blattapplikationen von Benzyladenin (synthetisches Cytokinin) bei der Gartenbohne den Alterungsprozess der Blätter verzögern, den Chlorophyll- und RNA-Gehalt heraufsetzen sowie die Aktivität der Ribulose-1.5-diphosphat-Carboxylase anheben. Kinetin-Behandlungen bei der Ackerbohne erhöhten vermutlich die Photosyntheserate (Hegazy et al., 1972). Bei geköpften Pintobohnen stellte Pozsar (1978; zitiert in Bertholdsson, 1980) eine Steigerung der Photosyntheserate sowie eine achtfache Anhebung der Cytokinin-Aktivität in den Blättern fest.

Cytokinine werden vor allem in den Wurzeln produziert und dann in die Stengel und Blätter transportiert (Kende, 1971). Ein erhöhtes Wurzelwachstum könnte sich in Form einer Zunahme der Cytokininproduktion auswirken und somit einen grösseren Cytokinin-Fluss zu den Blättern verursachen. Dies war vielleicht in unseren Versuchen von Bedeutung, denn GA_3 führte zu einer Steigerung des Wurzelwachstums.

direkt oder indirekt beeinflusste Assimilatetransport

Eine weitere mit Vorsicht aufzunehmende mögliche Erklärung für die Wirkung von GA_3 wäre die direkte oder indirekte Beeinflussung des Assimilatetransportes. Die Einlagerung von Assimilaten in die Körner hängt von der Photosyntheserate der "source"-Blätter sowie von der Translokation der Photosyntheseprodukte in die Körner ab. Phytohormone scheinen dabei eine wichtige Rolle zu spielen (Haeder, 1977). Ein unmittelbarer Einfluss auf den Transportprozess liess sich allerdings bis heute nicht klar nachweisen (Seth und Wareing, 1967; Bowen und Wareing, 1971). Vermutlich sind jedoch Auxine in dieser Hinsicht wichtig (Patrik und Wareing, 1973, 76).

GA_3 -Behandlungen der Gartenbohne hatten keine Aenderung der Transportprozesse zur Folge (Mulligan und Patrik, 1979). Wagner (1974) stellte nach GA_3 -Applikationen bei der Gerste eine Verlagerung von Assimilaten zu den Körnern fest.

Es könnte auch ein "Feed-back"-System ausgelöst worden sein: die höhere Assimilation während der Kornfüllungsphase im Jahre 1978 wäre das Resultat eines grösseren Bedarfes an Photosyntheseprodukten, bedingt durch die nach GA_3 -Applikationen gesteigerte Hülsen- und Körnerzahl. GA_3 hat in allen drei Jahren die Hülsen- und Körnerzahl signifikant erhöht, so dass die Nachfrage nach Assimilaten in allen Jahren wahrscheinlich grösser war. Möglicherweise lösten andere hormonale und ungünstigere Umwelteinflüsse (Temperatur, Wasserhaushalt usw.) in den Jahren 1977 und 1979 unterschiedliche Wirkungen aus. Aus unseren Untersuchungen geht allerdings keine deutliche Veränderung des Konkurrenzverhältnisses zwischen vegetativen und reproduktiven Pflanzenteilen durch die GA_3 -Behandlung der Ackerbohne zugunsten der reproduktiven Pflanzenteile hervor.

die veränderte Bestandesstruktur

Durch die GA₃-Applikation haben wir die Internodienlänge entlang dem Haupttrieb entscheidend beeinflusst. Eine Veränderung der Bestandesstruktur und ein besserer Lichteinfall zu den verschiedenen Blattetagen wären denkbar. Whingham et al. (1974) stellten fest, dass Maistypen mit horizontalem Blattwinkel etwa 9% mehr Licht auffangen konnten. Dies führte zu einer grösseren Trockenmasse und zu einem gesteigerten Ertrag. GA₃ hat sich jedoch in allen drei Versuchsjahren ähnlich auf die Internodienlänge ausgewirkt, aber nur im Jahre 1978 liess sich eine höhere Assimilation nachweisen.

die Umwelteinflüsse

In den drei Jahren sind vermutlich die jeweiligen Umwelteinflüsse während den kritischen Entwicklungsstadien der Pflanze für die unterschiedliche Entwicklung verantwortlich. Eine optimale Wasserversorgung ist zum Beispiel für das vegetative und reproduktive Wachstum der Ackerbohne von grösster Bedeutung (Kambal, 1969; El-Nadi, 1969, 70). Im Jahre 1978 hatten wir die beste vegetative und reproduktive Entwicklung. Die Stengel waren dicker und schwerer, die Blattfläche war grösser, die Wurzeln waren schwerer, und mehr Früchte wurden ausgebildet.

Weitere Faktoren, wie die Aktivität der Knöllchenbakterien und die Stickstoffversorgung der Pflanze, könnten ebenfalls einen Einfluss ausgeübt haben.

Es handelt sich um ein äusserst komplexes System, das zumindest gegenwärtig noch sehr schwer zu verstehen ist. Eine weitere Abklärung der physiologischen Grundlagen der Produktion und das Erfassen der Interaktionen, welche Wachstumsregulatoren dabei auslösen, werden für das weitere Vorgehen von erster Priorität sein.

VI. PRUEFUNG VERSCHIEDENER WACHSTUMSREGULATOREN AN 11 ORTEN IN DER SCHWEIZ IM FELDMAESSIGEN ANBAU

1. EINLEITUNG

Die in den Jahren 1977 und 1978 in Eschikon beobachteten positiven Wirkungen der GA_3 -Behandlungen hinsichtlich der Verbesserung des Hülsenansatzes bei der Ackerbohne veranlassten uns, im Jahre 1979 erste praktische Versuche mit der Anwendung von GA_3 vorzunehmen. Wir legten dieses Experiment an 11 klimatisch voneinander verschiedenen Orten an und wollten dabei hauptsächlich den Einfluss der Wachstumsregulatoren auf den Flächenertrag untersuchen.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Versuchsorte

Die Versuche wurden innerhalb von bestehenden, d.h. praxisüblichen Ackerbohnenfeldern, in den folgenden 11 Versuchsorten durchgeführt.

| <u>Versuchsort</u> | <u>Kanton</u> | <u>Höhe über Meer (m)</u> |
|--------------------|---------------|---------------------------|
| Nyon | VD | 425 |
| Payerne | VD | 441 |
| Malans | GR | 544 |
| Amlikon | TG | 460 |
| Wohlenschwil | AG | 397 |
| Eschikon | ZH | 555 |
| Herrliberg | ZH | 525 |
| Klingenberg | TG | 557 |
| Courgenay | JU | 497 |
| Goumoens-la-Ville | VD | 606 |
| Langenthal | BE | 475 |

2.2. Versuchsanlage

Die Versuchsverfahren wurden in zufälliger Anordnung in Blöcke (randomized-blocks) zusammengefasst und vierfach wiederholt. Wir arbeiteten mit einer Ackerbohnsorte (Herz-Freya), drei Wachstumsregulatoren, einem Anwendungszeitpunkt und einer Konzentration.

Die ausgewählten Wachstumsregulatoren

1. Gibberellinsäure GA_3
2. Gibberellinsäuregemisch von GA_4 und GA_7 ($GA_{4/7}$)
3. Triacontanol

Zur Auswahl von $GA_{4/7}$ und Triacontanol:

In einer am Institut für Pflanzenbau der ETH durchgeführten Diplomarbeit (Tanner, 1978) konnte durch eine Behandlung mit $GA_{4/7}$ (10^{-6} M) im 6-Blattstadium bei der Ackerbohne eine signifikante Verbesserung des Körnerertrages pro Pflanze (+31%) erzielt werden. Tanner untersuchte ebenfalls den Einfluss von Triacontanol. Die Applikation von Triacontanol im 6-Blattstadium bei einer Konzentration von 0.1 mg/l bewirkte ebenfalls eine Verbesserung des Körnerertrages (+26%), die jedoch nicht signifikant war. Triacontanol ist ein Wachstumsförderungshormon, das bei Luzerne (*Medicago sativa* L.) eine Zunahme des Längenwachstums und die Förderung der Trockenmasse verursacht hat (Ries et al., 1977).

Anwendungszeitpunkt: 6-Blattstadium* für alle Regulatoren

* Als Ein-Blattstadium bezeichneten wir denjenigen Zeitpunkt, zu welchem das erste Blattpaar voll entfaltet war. Die Niederblätter wurden nicht mitgezählt.

In der nachfolgenden Zusammenstellung geben wir die Anwendungsdaten an den 11 Versuchsorten an:

| <u>Versuchsort</u> | <u>Appl. Datum</u> | <u>Veg. Entw. Stadium</u> * |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Nyon | 15. Mai | ca. 6-Blatt |
| Payerne | 22. Mai | ca. 6-Blatt |
| Malans | 23. Mai | ca. 6-Blatt |
| Wohlenschwil | 30. Mai | ca. 6-Blatt |
| Eschikon | 31. Mai | ca. 6.5-Blatt |
| Herrliberg | 31. Mai | ca. 6.8-Blatt |
| Klingenberg | 5. Juni | ca. 7.5-Blatt |
| Courgenay | 6. Juni | ca. 7-Blatt |
| Goumoens-la-Ville | 7. Juni | ca. 6.5-Blatt |
| Langenthal | 7. Juni | ca. 7-Blatt |

* Durchschnittswerte der Versuchsorte.

Konzentrationen:

$GA_3: 10^{-4} \text{ M}$

$GA_{4/7}: 10^{-6} \text{ M}$

Triacontanol: 0.1 mg/l

Pro Parzelle verabreichten wir 1 Liter der Spritzlösung (run-off Verfahren). Jedem Wachstumsregulator wurde das Netzmittel Tween-20 in einer 0.2-prozentigen Konzentration beigemischt.

Parzellenanordnung:

Die Parzellengrösse betrug $1.32 \times 2.27 \text{ m} = 3 \text{ m}^2$, davon geerntet 3 m^2 . Reihenabstand 44 cm.

Die Pflege- und Anbaumassnahmen (Unkrautbekämpfung, Düngung u.s.w.) wurden betriebsüblich durchgeführt.

Durchgeführte Erhebungen:

Während der Vegetationsperiode beschränkten wir uns auf eine einmalige Feldbesichtigung der behandelten Parzellen an den verschiedenen Versuchsorten. Wir wollten uns dabei über den Zustand der

Pflanzenbestände bezüglich der Bestandesdichte, der allgemeinen Entwicklung, der Verunkrautung und des Schädlingsbefalls vergewissern.

Das Schwergewicht in diesem Versuch wurde auf die Bestimmung des Ertrags pro Flächeneinheit bei der Reife gelegt.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1. Beobachtungen während der Vegetationsperiode

Während der Vegetationsperiode beobachteten wir an den 11 Versuchsorten unterschiedliche Verhältnisse bezüglich des Zustandes der Pflanzenpopulationen. In Courgenay war schon zum Zeitpunkt der Applikation der Wachstumsregulatoren ein schlechter Pflanzenbestand anzutreffen. An den Versuchsorten Malans und Amlikon stellten wir eine starke Verunkrautung fest. Bei der Applikation der Wachstumsregulatoren in Langenthal und Klingenberg waren schon blühende Pflanzen vorhanden. Der Entwicklungszustand der Pflanzen war sehr unterschiedlich. In Goumoens-la-Ville war ein starker Befall mit Blattläusen (*Aphis fabae*) zu beobachten. In Nyon führte eine extreme Trockenperiode zu einer Notreife.

3.2. Einfluss der Wachstumsregulatoren auf den Körnerertrag pro Flächeneinheit

In Tabelle 29 sind die Flächenerträge pro m^2 der drei Wachstumsregulatoren und des Kontrollverfahrens aufgeführt. Der starke Befall mit Blattläusen in Goumoens-la-Ville und die Trockenperiode in Nyon veranlassten uns, diese beiden Versuchsorte bei der Auswertung nicht zu berücksichtigen.

Wie der Zusammenstellung zu entnehmen ist, sind an den meisten Versuchsorten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verfahren ersichtlich. Der signifikant grössere Körnerertrag für $GA_{4/7}$ und Triacantanol in Herrliberg und für GA_3 und $GA_{4/7}$ in Klingenberg können nicht als repräsentativ betrachtet werden.

Tabelle 29 Einfluss verschiedener Wachstumsregulatoren auf den Körnerertrag (g TS/m²)

* sig. P = 0.05

| Ort | \bar{X} Kontrolle | \bar{X} GA ₃ | \bar{X} GA _{4/7} | \bar{X} Triacontanol | F-test | KGD 5% |
|---------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|--------|--------|
| Payerne | 453.17 | 409.10 | 437.94 | 427.19 | n.s. | 107.33 |
| Malans | 273.38 | 185.62 | 277.39 | 276.17 | n.s. | 87.04 |
| Amlikon | 430.69 | 304.50 | 360.61 | 393.70 | n.s. | 151.15 |
| Wohlenschwil | 517.20 | 446.01 | 495.81 | 412.42 | n.s. | 117.66 |
| Eschikon | 450.95 | 531.58 | 419.77 | 449.39 | n.s. | 121.14 |
| Herliberg | 302.15 | 315.79 | 386.76 | 373.60 | * | 57.73 |
| Klingenberg | 361.15 | 493.14 | 512.83 | 461.01 | * | 108.25 |
| Courgenay | 361.65 | 364.24 | 331.92 | 463.51 | n.s. | 129.88 |
| Langenthal | 473.04 | 416.34 | 461.63 | 384.51 | n.s. | 111.30 |
| \bar{X} Verfahren | 402.64 | 385.15 | 409.41 | 404.61 | - | - |
| | | | Zwischen den Orten | | *** | 50.32 |
| | | | Zwischen den Verfahren | | n.s. | 30.34 |
| | | | Int. Ort x Verfahren | | n.s. | - |

Die grossen KGD-Werte weisen auf die grosse Streuung zwischen den Verfahren hin. Die Varianzanalyse zwischen den Versuchsorten zeigte stark signifikante Unterschiede. Differenzen zwischen den Verfahren konnten hingegen gesamthaft nicht ermittelt werden.

3.3. Diskussion der Ergebnisse

Im Gegensatz zu den Versuchen in Eschikon stellten wir an diesen 9 Orten der Schweiz keine klare verbessernde Wirkung von GA_3 auf den Körnerertrag fest. Es ist schwierig, die Gründe dieses ungleichen Verhaltens zu nennen. Erhebungen während der Vegetationsperiode bezüglich der Wirkung der Regulatoren führten wir nicht durch. Im Versuchsort Eschikon bewirkte GA_3 , ähnlich wie in den Vorjahren, eine Erhöhung des Flächenertrages von 18%. Wir führen nachfolgend einige mögliche Erklärungen für das ungleiche Verhalten der Wachstumsregulatoren an den 9 Orten an:

- Die Bestandesdichte war an vielen Versuchsorten unregelmässig. Dies trug entscheidend zu einer grossen Streuung der Erträge zwischen den Verfahren bei.
- Der Entwicklungszustand der Pflanzen bei der Behandlung mit Regulatoren war unterschiedlich. Dies machte eine optimale Wirkung der Wachstumsregulatoren unmöglich.
- Die ungleich entwickelten Pflanzen vergrösserten die Streuung in grossem Masse.
- Die starke Verunkrautung und der starke Befall mit Blattläusen verhinderten ebenfalls eine gute Wirkung der Regulatoren.
- Die unterschiedlichen Umwelteinflüsse in Eschikon (Temperatur, Niederschläge usw.) könnten zu einer anderen Wirkung der Regulatoren geführt haben.
- Die Parzellengrösse von 3 m^2 (davon 1 m^2 für die Bestimmung von Flächenerträgen) hat sich für Feldbestände im Hinblick auf die unterschiedlichen Bestände als zu klein erwiesen.

Das Zusammenwirken aller dieser ungünstigen Faktoren bewirkte das ungleiche Verhalten und verwischte möglicherweise die Wirkung der Wachstumsregulatoren. Eine sehr gleichmässige Entwicklung der Pflanzen (z.B. 6-Blattstadium) zur Zeit der Applikation scheint eine wesentliche Voraussetzung zur Erzielung einer Wirkung mit den verwendeten Wachstumsregulatoren zu sein.

4. ZUSAMMENFASSUNG

In einem an 9 Orten der Schweiz angelegten Freilandversuch untersuchten wir den Einfluss von drei Wachstumsregulatoren (GA_3 , $GA_{4/7}$ und Triacontanol) auf den Körnerertrag bei der Ackerbohne. Wir wollten dabei prüfen, ob sich die in Kleinparzellen-Versuchen in Eschikon festgestellte positive Beeinflussung des Körnerertrages durch diese Wachstumsregulatoren an anderen Versuchsorten reproduzieren liesse. Wir beschränkten uns dabei auf die Bestimmung des Flächenertrages bei der Reife. An keinem Versuchsort konnte eine klare verbessernde Wirkung der geprüften Regulatoren beobachtet werden.

Der unterschiedliche Entwicklungszustand der Pflanzen bei der Applikation der Wachstumsregulatoren, unregelmässige Bestandesdichte und unterschiedliche Umwelteinflüsse verursachten ein ungleiches Verhalten und eine grosse Streuung.

Eine sehr gleichmässige Entwicklung im Bestand scheint eine wichtige Voraussetzung zur Erzielung einer Wirkung mit den verwendeten Wachstumsregulatoren zu sein.

VII. SCHLUSSDISKUSSION

Die Blattapplikationen von GA_3 in Kleinparzellenversuchen bei der Ackerbohne erhöhten in drei Versuchsjahren den Hülsenansatz pro Pflanze in signifikantem Ausmass. Der Körnerertrag wurde dabei ebenfalls gesteigert, signifikant jedoch nur im Jahre 1978. Eine höhere Assimilation bei den mit GA_3 behandelten Pflanzen ermöglichte wahrscheinlich während der wichtigen Phase der Körnerfüllung die Ausbildung zusätzlicher Hülsen und Körner. Das höhere spezifische Blattgewicht während der Kornfüllungsphase und das grössere Einzelkorngewicht bei der Reife lassen auf eine höhere Assimilation bei den GA_3 behandelten Pflanzen schliessen. GA_3 , im richtigen Zeitpunkt und in richtiger Dosierung angewendet, vermag bei der Ackerbohne die Bedingungen für eine bessere Ertragsbildung (grössere Hülsenanzahl pro Pflanze) zu schaffen. Wenn nun aber die zusätzlich angelegten Hülsen und Körner während der Phase der Körnerfüllung ungünstigen Bedingungen ausgesetzt sind und deshalb die Assimilation nicht genügend hoch ist, wirkt sich dies entscheidend auf das Einzelkorngewicht und auf den Ertrag aus. Umweltbedingungen wie Wasserhaushalt, Temperaturen und Hormonhaushalt der Pflanze spielen dabei eine wichtige Rolle. Leider ist es bis heute nicht gelungen, den Einfluss dieser Umweltbedingungen sowie die Wirkungsweise der Pflanzenhormone zu erfassen; mögliche Interaktionen zwischen diesen sind ungeklärt.

Ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeit ist die starke Korrelation zwischen der gesamten Trockenmasse und dem Körnerertrag. In der folgenden Tabelle ist die Bedeutung der gesamten Trockenmasse und des Einzelkorngewichtes für die Ertragsbildung der Ackerbohne dargestellt. Die GA_3 -Behandlung steigerte in allen drei Versuchsjahren den Hülsenansatz signifikant. Die prozentuale Erhöhung der Körnererträge verlief praktisch parallel zur Erhöhung der gesamten Trockenmasse. Bei der grössten gesamten Trockenmasseproduktion (1978) wurde ebenfalls der höchste Körnerertrag erzielt. Gleichzeitig stellten wir fest, dass das Einzelkorngewicht ebenfalls höher war als das der Kontrolle. Wie bereits erwähnt, führen wir dies auf eine effizientere Assimilation während der Korn-

füllungsphase zurück (grösseres spezifisches Blattgewicht). Dies ermöglichte eine Steigerung der Gesamttrockenmasse und des Ertrags.

Tabelle 30 Einfluss von GA_3^+ auf die gesamte Trockenmasse und auf die Ertragskomponenten in den drei Versuchsjahren 1977-79

Kontrolle = 100%

* sig. $P = 0.05$

| | Hülsen/Pfl. | Gesamt-TM/Pfl. | EKG | Körnerertrag/Pfl. |
|------|-------------|----------------|-----------|-------------------|
| 1977 | 125% * | 121% n.s. | 96% n.s. | 118% n.s. |
| 1978 | 125% ** | 138% ** | 105% n.s. | 140% ** |
| 1979 | 122% * | 115% n.s. | 93% * | 116% n.s. |

+ GA_3 -Applikation immer im 6-Blattstadium (10^{-4} M)

Bei ungünstigeren Umweltbedingungen während dieser Periode blieb das Einzelkorngewicht kleiner. Die zusätzlich ausgebildeten Hülsen und Körner konnten nicht genügend ausgefüllt werden. Die Assimilation wurde nicht dementsprechend erhöht. Die gesamte Trockenmasse und der Körnerertrag wurden nicht entscheidend vermehrt.

Soll also der Körnerertrag angehoben werden, so müssen wir die Erzeugung von Trockenmasse fördern. In unseren Untersuchungen gelang dies mit GA_3 . Eine gute Anbautechnik und die Züchtung bleiben weiterhin wichtige Möglichkeiten zur Verbesserung dieser Kulturpflanze.

Die Untersuchungen an 9 Orten in der Schweiz zeigten keine positiven Ergebnisse bezüglich der Applikation von GA_3 beim Körnerertrag der Ackerbohne. Die Ergebnisse aus den Exaktversuchen konnten somit unter verschiedenen gearteten Feldbedingungen nicht bestätigt werden. Eine gleichmässige Entwicklung der Pflanzen zur Zeit der Applikation (6-Blattstadium) scheint eine wesentli-

che Voraussetzung zur Erzielung einer positiven Wirkung des verwendeten Wachstumsregulators GA_3 zu sein.

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

1. Der Fruchtfall der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) wird unter anderem von Wachstumsregulatoren beeinflusst. Das Ziel dieser Arbeit war, durch die Einwirkung auf den Hormonhaushalt der Ackerbohne den Fruchtfall zu vermindern und dadurch den Ertrag zu steigern.
2. Der experimentelle Teil umfasste Feldversuche während einer Dauer von drei Jahren.
 - Im ersten Versuchsjahr (1977) untersuchten wir zehn Wachstumsregulatoren mit unterschiedlicher Konzentration und in verschiedenen Entwicklungsstadien auf eine Verbesserung der Ertragsstruktur der Ackerbohne.
 - Im zweiten und dritten Versuchsjahr (1978-79) prüften wir in umfangreicheren Feldversuchen den Einfluss von GA_3 mit unterschiedlicher Konzentration und in verschiedenen Entwicklungsstadien auf das Wachstum und den Ertragsaufbau der Ackerbohne. Den Hauptgegenstand dieser Untersuchungen bildete die Wirkung von GA_3 auf die vegetative und auf die reproduktive Entwicklung, insbesondere auf die Ertragskomponenten. Die ^{14}C -Versorgung junger Früchte von GA_3 -behandelten und unbehandelten Pflanzen wurde im Jahre 1978 analysiert. Dabei berücksichtigten wir das Alter und die Position der Früchte im Blütenstand.
 - Im Jahre 1979 nahmen wir eine Prüfung verschiedener Wachstumsregulatoren an 11 Orten in der Schweiz vor. Wir wollten dabei erste praktische Erfahrungen mit Wachstumsregulatoren bei der Ackerbohne sammeln.

3. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Feldversuch 1977

Der erste Anwendungszeitpunkt (6-Blattstadium) zeigte bei allen Wachstumsregulatoren die deutlichsten Wirkungen. Es bestanden starke Interaktionen zwischen den Konzentrationen und den Anwendungszeitpunkten der Wachstumsregulatoren. Von den zehn geprüften Wachstumsregulatoren zeigte nur GA_3 klare positive Wirkungen auf die Ertragsbildung. Mit der Applikation von GA_3 im 6-Blattstadium bei einer Konzentration von 10^{-4} M konnte der Hülsenansatz signifikant erhöht werden. Auch der Körnerertrag wurde heraufgesetzt, jedoch nicht signifikant; ebenso stieg die gesamte Trockenmasseproduktion (ca. 20%). Der Ernte-Index blieb unverändert. Den wachstumsfördernden Regulatoren wird im Vergleich zu den wachstumshemmenden Substanzen die bessere Eignung zu einer Ertragssteigerung zugesprochen.

Feldversuche 1978-79

In diesen ausgedehnten Versuchen bestätigte sich das 6-Blattstadium als der beste Anwendungszeitpunkt. Die GA_3 -Konzentration 10^{-4} M zeigte wieder die besten Ergebnisse. GA_3 förderte nur kurz nach der Applikation das Längenwachstum. Die Verschiebung der Internodienlänge durch GA_3 entlang dem Haupttrieb war in den drei Versuchsjahren ähnlich. Die unteren Internodien waren länger, die mittleren kürzer und die obersten wiederum länger als diejenigen der Kontrolle. Die Trockenmasse der Stengel, der Wurzeln sowie die der gesamten Pflanze wurde durch GA_3 vermehrt. Die Blattfläche pro Pflanze veränderte sich nicht deutlich. Die Blattfläche pro Internodium wurde hingegen durch GA_3 an den oberen, wiederum gestreckten Internodien vergrößert und an den unteren, etwas gestauchten Internodien verkleinert. Im Jahre 1978 beobachteten wir bei den GA_3 -Verfahren ein höheres spezifisches Blattgewicht während der Kornfüllungsphase. Zum Zeitpunkt der

Reife war bei den GA_3 behandelten Pflanzen eine Verbesserung der Ertragskomponenten festzustellen. GA_3 verminderte den Fruchtfall. Aufgrund der Markierung mit ^{14}C konnten wir nachweisen, dass die Früchte der mit GA_3 behandelten Pflanzen in der kritischen Phase der Fruchtentwicklung besser mit Assimilaten ernährt wurden.

Die Hülsenzahl, die Körnerzahl und der Körnerertrag pro Pflanze waren erhöht; der Hülsenansatz wurde in allen Versuchsjahren signifikant gesteigert, während der Körnerertrag nur im Jahr 1978 signifikant anstieg. Im Jahr 1978 war das Einzelkorngewicht bei den GA_3 behandelten Pflanzen grösser als bei der Kontrolle. Das höhere Einzelkorngewicht ist möglicherweise auf eine höhere Assimilation während der Kornfüllungsphase zurückzuführen. In dieser Entwicklungsperiode war das spezifische Blattgewicht der GA_3 behandelten Pflanzen höher als jenes der Kontrolle. Hormonale Zustände in der Pflanze sowie die vorhandenen Umweltbedingungen (Klima, Bodentyp usw.) scheinen dabei eine wichtige Rolle gespielt zu haben. In allen Verfahren blieb der Ernte-Index unverändert, ebenso konnte eine starke Korrelation zwischen der gesamten Trockenmasse und dem Körnerertrag berechnet werden. Dies zeigt, dass eine Steigerung des Körnerertrages durch Wachstumsregulatoren mit einer Erhöhung der Trockenmasseproduktion verbunden werden muss.

Um abzuschätzen, mit welcher Sicherheit die in Exaktversuchen 1977-79 festgestellte positive GA_3 -Wirkung auch in praxisüblichen Feldbestände erwartet werden kann, wurde 1979 an 11 Orten der Schweiz, GA_3 im 6-Blattstadium auf kleinen Teilflächen angewendet. Ein einheitlich positiver Einfluss auf den Ertrag konnte unter diesen Voraussetzungen nicht mehr nachgewiesen werden; als Hauptursache hierzu muss u.a. wohl die unterschiedliche Entwicklung der Einzelpflanzen im Behandlungszeitpunkt angesehen werden.

RESUME

1. La chute des fruits de la féverole (*Vicia faba* L.) est influencée entre autres par les régulateurs de croissance. Ce travail avait pour but de diminuer la chute des fruits et par conséquent d'augmenter le rendement en agissant sur le régime hormonal de la féverole.

2. Les expériences prolongées sur trois années comprirent des essais en champ:

- Au cours de la première année d'essai (1977) nous avons testé dix régulateurs de croissance à différentes concentrations et à différents stades phénologiques en vue d'une amélioration de la structure de rendement de la féverole.
 - Pendant la deuxième et troisième année d'essais (1978-79), nous avons étudié par des essais en champ l'influence de l'acide gibberellique (GA_3) à différentes concentrations et à différents stades phénologiques sur la croissance et la structure du rendement de la féverole. Nous nous sommes concentrés dans des recherches à l'action de la GA_3 sur le développement végétatif et reproductif, et plus précisément sur les composantes du rendement. En 1978, nous avons analysé l'approvisionnement en ^{14}C des plantes traitées à la GA_3 par rapport à celles sans traitement. Nous avons tenu compte de l'âge et de la position des fruits dans l'inflorescence.
 - En 1979, nous avons testé différents régulateurs à 11 lieux en Suisse pour gagner quelques expériences pratiques chez la féverole.
3. Nous pouvons résumer les résultats les plus importants de la manière suivante:

Essai en champ de l'année 1977

Le premier stade d'application (stade 6 feuilles) eut les meilleures réactions pour tous les régulateurs de croissance. On relève de fortes interactions entre les concentrations et les stades d'application des régulateurs de croissance. Parmi les dix régulateurs testés, seul l'acide gibberellique influença

positivement la formation du rendement. Le traitement des plantes au stade 6 feuilles avec GA_3 d'une concentration de 10^{-4} M eut un effet significativement positif sur le nombre de gousses. Le rendement des grains s'éleva également, quoique pas assuré statistiquement; il en est de même pour la production de matière sèche totale (environ +20%). Quant à l'indice de rendement, il resta constant. Les meilleures chances de voir le rendement s'élever se confinent à l'application de régulateurs stimulant plutôt que freinant la croissance.

Essais en champ des années 1978-79

Dans ces amples essais, le meilleur stade d'application se confirma être celui des 6 feuilles. La concentration de GA_3 10^{-4} M redonna les meilleurs résultats. GA_3 stimula la croissance en longueur seulement juste après le traitement. La dislocation de la longueur des internoeuds provoquée par GA_3 se répéta de manière très identique les 3 années consécutives. Les internoeuds du bas des plantes étaient plus longs, ceux du centre plus courts et ceux du haut de nouveau plus longs que ceux des plantes de référence. GA_3 augmenta la matière sèche des tiges, des racines ainsi que celle de la plante entière. Aucune différence marquante ne fut relevée au niveau de la surface foliaire. Toutefois la surface foliaire par internoeud fut accrue par GA_3 pour les internoeuds du haut qui s'étaient de nouveau allongés, et diminuée pour ceux du bas, quelque peu raccourcis. En 1978 nous avons observé parmi les procédés de GA_3 un poids spécifique des feuilles supérieur pendant la phase de remplissage des grains. Au stade de maturité on a constaté une amélioration des composantes du rendement en faveur des procédés avec GA_3 . GA_3 diminue la chute florale. Sur la base des résultats avec le marquage au ^{14}C , nous avons pu démontrer que l'approvisionnement en assimilats pendant la phase critique de développement des fruits était meilleur chez les plantes traitées au GA_3 . On constata une augmentation du nombre des gousses, du nombre des grains et du rendement des grains par plante. A chaque année d'essais, la mise à gousses fut meilleure de manière signifi-

cative, alors que le rendement des grains ne le fuit qu'en 1978. Le poids d'un grain fut supérieur dans les procédés avec GA₃ en 1978, ce qui s'explique par une assimilation supérieure pendant la phase de remplissage.

Le régime hormonal momentané dans la plante ainsi que les conditions d'environnement présentes (climat, type de sol etc.) semblent avoir joué un grand rôle. L'indice de rendement resta constant pour tous les procédés. Une forte corrélation subsiste entre le rendement des graines et la matière sèche totale. Ceci montre qu'une augmentation du rendement des grains à l'aide de régulateurs de croissance doit être liée à une augmentation de la production de la matière sèche.

Etant donné que nos expériences positives avec GA₃ ont été obtenues au cours des années 1977-79 dans des essais exacts, nous avons testé ce produit au stade 6 feuilles à 11 lieux en Suisse sur des parcelles semées par des agriculteurs. Aucune influence positive nette ne s'est répétée sur le rendement sous les conditions données. Une des raisons principales doit être mise sur le compte du développement très inhomogène de chaque plante au moment du traitement.

SUMMARY

1. Shedding of fruits in the field bean (*Vicia faba* L.) is influenced by growth regulators as well as other factors. The objective of this study was to lessen abscission of fruits and thereby increase the yield by influencing the hormonal balance of the field bean.

2. The experimental part included field trials over a three year period.

- During the first year (1977) we tested a range of concentrations of ten growth regulators and applied them at different developmental stages. The aim was to improve the yield components and thus ultimately the yield.

- During the second and third years (1978-79) we conducted more detailed experiments to test the influence of various concentrations of GA₃, applied at different stages of development, on growth and yield components.

The main aim of these experiments was to determine the effect of GA₃ on the vegetative and reproductive development as well as on the yield components. The supply of ¹⁴C to the young fruits, some of which had been treated with GA₃, was analysed in 1978. We also took into account the age and position of the fruit in the inflorescence.

- In 1979 we tested various growth regulators at eleven locations in Switzerland. The objective was to gain first practical experiences with the use of growth regulators in field beans.

3. The most important results can be summarised as follows:

Field trial 1977

The first time of application (at the sixth leaf stage) proved to be the most effective for all growth regulators. There was a strong interaction between concentration and time of application of the growth regulators. Of the ten growth regulators

tested, only GA₃ had a clearly positive effect on yield development. Pod number was significantly increased by an application of GA₃ at the sixth leaf stage and a concentration of 10⁻⁴ M. Grain yield also rose, though not significantly, and total dry matter production increased by about 20%. The harvest index remained unchanged. Growth regulators which enhance growth are considered more suitable for increasing yield than those which inhibit growth.

Field trial 1978-79

These experiments confirmed that the sixth leaf stage is the best time for application. A concentration of 10⁻⁴ M of GA₃ proved again to produce the best results. Increase in length was enhanced by GA₃ only shortly after application. The change of position and length of distinct internodes on the main stem was similar in all three years. The lower internodes were longer, the middle ones shorter and the upper internodes again longer than those of the control. Dry weight of leaves and roots as well as total dry weight were increased by GA₃. There was no significant change in leaf area per plant. On the other hand, leaf area of the upper internodes increased whereas that of the lower internodes decreased. In 1978 we observed a higher specific leaf weight during the grain filling period for the GA₃-treatment. At maturity yield components also improved. GA₃ lessened fruit drop. Due to labelling with ¹⁴C, we were able to show that the fruits of plants treated with GA₃ received a better supply of assimilate during the critical phase of fruit development than the untreated plants. Pod number as well as grain yield per plant rose, pod number increased significantly in all three years whereas grain yield increased significantly only in 1978. The single grain weight of GA₃ treated plants was higher than for the control. This can be accounted for by better assimilation during the grain filling period. At this stage the specific leaf weight was higher than that of the control.

The hormonal balance in the plant as well as environmental con-

ditions (climate, soil type etc) appear to have played a very important role. For all trials the harvest index remained unchanged and a strong correlation was found between total dry matter and grain yield. This suggests that an increase in grain yield due to growth regulators must be related to an increase in dry matter production.

In 1979 field plots, as is usual in practical farming, were sown at 11 locations in Switzerland. GA₃ was applied at the sixth leaf stage in order to estimate whether the same positive effects could be expected as had already been determined in exact field trials. Under these conditions it was no longer possible to determine a uniform positive effect on the yield. The accepted reason for this was the varying development of the single plants during the period of treatment.

IX. LITERATURVERZEICHNIS

- Adams M.W., 1967. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Sci.* 7, 505-510.
- Adesomoju A.A., Okogun J.I., Ekong D.E. and Adepipe N.O., 1979. Hormonal aspects of the fruit abscission problem in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Biochem. Physiol. Pflanzen* 174, 51-57.
- Adepipe N.O., Hunt L.A. and Fletcher R.A., 1971. Effects of benzyladenine on photosynthesis, growth and senescence of the bean plant. *Physiol. Plant.* 25, 151-153.
- Addicott F.T., 1970. Plant hormones in the control of abscission. *Biol. Rev.* 45, 485-524.
- Allinson J.C.S. and Watson D.J., 1966. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. *Ann. Bot.* 30, 365-382.
- Alvim P.D.T., 1960. Net assimilation rate and growth behaviour of beans as affected by gibberellic acid. *Plant. Physiol.* 35, 285-288.
- Audus L.J., 1972. Plant growth substances. Vol 1: Chemistry and physiology. Leonard Hill, London.
- Aufhammer W. und Solanski S., 1972. Ein Beitrag zur Kontrolle des Assimilatetransportes unter dem Einfluss von Wirkstoffen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 135, 143-155.
- Aufhammer W. und Solanski S., 1976. Beeinflussung der Assimilat-speicherungsprozesse in der Sommergerstenähre durch Kinetinbehandlungen. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 4, 503-515.
- Avetisyan A.A., 1968. Effects of gibberellin on the growth, development, yield and certain aspects of metabolism of summer vetch, field bean, pea and soya under various conditions of nutrition. *Fiziol. Rast.* 15, 41-50.
- Bangerth F. and Sjut V., 1978. Induced parthenocarpy - a tool for investigating hormone regulated physiological processes in fruits. *Acta Hort.* 80, 169-171.
- Bangerth F., 1979. Persönliche Mitteilung.

- Bangerth F., 1980. Anwendungsmöglichkeiten von Phytohormonen und Wachstumsregulatoren im Obstbau. In: Anwendungsmöglichkeiten von Phytohormonen und Wachstumsregulatoren in der Pflanzenproduktion (Bangerth F. ed.). Hohenheimer Arbeiten 105, 149-174. Ulmer, Stuttgart.
- Bauer M.E., Sherbeck T.G. and Ohlrogge A.J., 1969. Effects of rate, time and method of application of TIBA on soybean production. Agron. Jour. 61, 604-606.
- Bertholdsson N.O., 1980. The influence of growth habit on carbon assimilation and distribution, leaf characteristics and yield in field beans (*Vicia faba* L.). Diss. Univ. Lund.
- Bhagsari A.S., Ashley D.A., Brown R.H and Boerma H.R., 1977. Leaf photosynthetic characteristics of determinate soybean cultivars. Crop Sci. 17, 929-932.
- Bidwell R.G.S. and Turner W.B., 1966. Effect of growth regulators on CO₂-assimilation in leaves and its correlation with the bud break response in photosynthesis. Plant Physiol. 41, 267-270.
- Bishop P. and Whittingham C.P., 1961. Gibberellic acid and chlorophyll content of leaves of meteor peas. Nature 192, 576-77.
- Blem A.R., Baser R.E. and Stutte C.A., 1977. Effect of ((3-Phenyl-1,2,4-Thiadiazol-5-YL)Thio)Acetic acid (NC-9634) on the development and yield of determinate soybeans. Proc. 4. Ann. Meet. PGRWG, Hot Springs, p. 351.
- Bonnemain J.L., 1971. Transport et distribution des traceurs après application de AIA-2-¹⁴C sur les feuilles de *Vicia faba*. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 273, 1699-1702.
- Boote K.J., 1977. Root:Shoot Relationships. In: Symposium: The plant root. Soil and Crop Sci. Soc. of Florida, Proceedings 36, 15-23.
- Bourbouloux A., Bonnemain J.L. et Vasseur J., 1973. Caractéristiques du transport dans la tige de l'auxine-¹⁴C en provenance de jeunes feuilles de *Vicia faba* L.. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 276, 501-504.

- Bourbouloux A. et Bonnemain J.L., 1974. Transport, distribution et métabolisme de l'auxine dans la racine de *Vicia faba* L. après application de (^{14}C) AIA ou de (^3H) AIA sur le bourgeon. *Planta* 119, 169-182.
- Boussingault J.B., 1868. *Agronomie, chimie agricole et physiologie*. 2^e Ed. Mallet Bachelier, Paris, 1860-1874, 5, 236-312.
- Bowen M.R. and Wareing P.F., 1971. Further investigations into hormone-directed transport in stems. *Planta* 99, 120-132.
- Bradley M.V. and Crane J.C., 1957. Gibberellin-stimulated cambial activity in stems of apricot spur shoots. *Science*, 126, 972-973.
- Briant R.E., 1974. An analysis of the effects of gibberellic acid on tomato leaf growth. *J. Exp. Bot.* 25, 764-766.
- Brouwer W. und v. Kittlitz E., 1976. Abschnitt Ackerbohnen. In: *Handbuch des Speziellen Pflanzenbaues*, von Brouwer W.. Band II. Paul Parey, Berlin.
- Bruinsma J., 1973. The control of shoot growth and flowering by plant growth-regulating substances. *Inf. Soc. Hort. Sci. Techn. com.* 31, 81-87.
- Burrows W.J. and Carr D.J., 1970. Cytokinin content of pea seeds during their growth and development. *Phys. Plant.* 23, 1064-1070.
- Campbell R.E. and Greig J.K., 1974. Selected growth regulators increase yield of snap beans. *HortSci.* 9, 71-72.
- Carr D.J. and Skene K.G.M., 1961. Diauxic growth curves of seeds, with special reference to french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Aust. Jour. Biol. Sci.* 14, 1-12.
- Carmi A. and Koller D., 1977. Endogenous regulation of photosynthetic rate in primary leaves of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ann. Bot.* 41, 59-67.
- Chapman G.P., Guest H.L. and Peat W.E., 1978. Top-removal in single stem plants of *Vicia faba* L.. *Z.Pflanzenphys.* 89, 119-127.
- Charles-Edwards D.A., 1978. An analysis of the photosynthesis and productivity of vegetative crops in the United Kingdom. *Ann. Bot.* 42, 717-731.

- Chatterjee A., Mandal R.K. and Sircar S.M., 1976. Effects of growth substances on productivity, photosynthesis and translocation of rice varieties. *Ind. J. Plant Physiol.* 19, 131-138.
- Clapp J.G., 1973. Response of bragg soybean to TIBA (2,3,5-Tri-jodbenzoic acid). *Agron. Jour.* 65, 41-43.
- Cole D.F., Dobrenz A.K. and Massengale M.A., 1972. Effect of gibberellic acid on Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Sci.* 12, 674-676.
- Coombe B.G. and Hale C.R., 1972. Hormone content of ripening grape berries and the effects of growth substance treatments. *Plant Physiol.* 51, 629-634.
- Cooper W.C., Rasmussen G.K., Rogers B.J., Reece P.C. and Henry W.H., 1968. Control of abscission in agricultural crops and its physiological basis. *Plant Physiol.* 43, 1560-1576.
- Coulombe L.J. et Paquin R., 1959. Effets de l'acide gibberellique sur le métabolisme des plantes. *Can.J.Bot.* 37, 897-901.
- Crosby K.E., Aung C.H. and Buss G.R., 1978. Natural and synthetic cytokinins on soybean development and yield. *Proc. 5. Ann. Meet. PGRWG, Blacksburg*, 86-93.
- Davis L.A. and Addicott F.T., 1972. Abscisic acid: correlations with abscission and with development in the cotton fruit. *Plant Physiol.* 49, 644-648.
- Donald C.M. and Hamblin J., 1976. The biological yield and harvest-index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy* 28, 361-405.
- Dornhoff G.M. and Shibles R.M., 1970. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.* 10, 42-45.
- Euwens C.J. and Schwabe W.W., 1975. Seed and pod wall development in *Pisum sativum* L. in relation to extracted and applied hormones. *J. Exp. Bot.* 26, 1-14.
- Egli D.B. and Leggett J.E., 1976. Rate of dry matter accumulation in soybean seeds with varying source-sink ratios. *Agr. Jour.* 68, 371-374.

- El-Antably H.M., 1970. Studies on the effect of "abscisin" and some growth retardants on growth, endogenous gibberellins and inhibitors content in *Vicia faba*. Res. Bull. 696 "B", Ain Shams Univ., Fac of Agr., Cairo.
- El-Antably H.M., 1976. Studies on the physiology of shedding of buds, flowers and fruits of *Vicia faba*. Z.Pflanzenphys. 80, 21-35.
- El-Beheidi M.A. and Gomaa E.A.A., 1975. The effect of 2,4-D and Dicamba on the growth and yield of garden broad bean (*Vicia faba* L. var. major). Beiträge trop. Landw. und Vet.med. 13, 185-193.
- El-Beltagy A.S. and Halte M.A., 1974. Effect of water stress upon endogenous ethylene levels in *Vicia faba*. New Phytol., 73, 47-60.
- El-Beltagy A.S. and Hall M.A., 1975. Studies on endogenous levels of ethylene and auxin in *Vicia faba* during growth and development. New Phytol. 75, 215-224.
- El-Beltagy A.S., Hewett E.W. and Hall M.A., 1976. Effect of ethphon (2-chlorethyl phosphonic acid) on endogenous levels of auxin, inhibitors and cytokinins in relation to senescence and abscission in *Vicia faba* L..J. Hort. Sci. 51, 451-465.
- El-Beltagy A.S., El-Beltagy M.S., Wally Y.A. and Hall M.A., 1979. Modification of vegetative development and flowering and fruiting behaviour in *Vicia faba* L. by treatment with growth regulators. Diss. Univ. Cairo.
- El-Fouly M.M., Lel G.A.E. and El-Hindi M.H., 1975. Effect of cycocel on growth, flowering and yield of *Vicia faba* L.. Agrochimica 19, 376-379.
- El-Nadi A.H., 1969. Water relations of beans. I. Effects of water stress on growth and flowering. Expl. Agric. 5, 195-207.
- El-Nadi A.H., 1970. Water relations of beans. II. Effects of differential irrigation on yield and seed size of broad beans. Expl. Agric. 6 107-111.

- Elson G.W., 1978. Persönliche Mitteilung.
- El-Zahab A.A.A., Ashor A.M. and Al-Hadeedy K.H., 1980. Comparative analysis of growth, development and yield of five field bean cultivars (*Vicia faba* L.). Z. Acker- und Pfl.bau 149, 1-13.
- Field R.J. and Jackson D.J., 1974. A hormone balance theory of apical dominance. Bull. Royal Soc. New Zealand, 12, 655-57.
- Fletcher R.A., 1969. Retardation of leaf senescence by benzyladenine in intact bean plants. Planta 89, 1-8.
- Flinn A.M. and Pate J.S., 1968. Biochemical and physiological changes during maturation of fruit of the field pea (*Pisum arvense* L.). Ann. Bot. 32, 479-495.
- Gehriger W., 1978. Influence de la température et de l'écimage sur le développement de la féverole (*Vicia faba* L.) et étude de la nutrition des fleurs en assimilats marqués au ¹⁴C. Thèse no. 6133 à l'EPF-Z.
- Gehriger W. und Keller E.R., 1979a. Einfluss des Köpfens der Triebe auf die Versorgung der Blüten bei der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) mit ¹⁴C. Schw. Landw. Forsch. 18, 59-80.
- Gehriger W. und Keller E.R., 1979b. Influence de l'écimage sur le développement de la féverole (*Vicia faba* L.). Rev. Suisse Agric. 11, 215-219.
- Geranmayeh R., 1964. Einfluss der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure auf Wachstum, Knöllchenbildung und Stickstoffgehalt von *Vicia faba*. Planta 62, 66-87.
- Goldbach H. and Michael G., 1976. Abscisic acid content of barley grains during ripening as affected by temperature and variety. Crop Sci. 16, 797-799.
- Greer H.A.L. and Anderson I.C., 1965. Response of soybeans to TIBA under field conditions. Crop Sci. 5, 229-232.
- Griffiths D.W., 1978. Nutritive value of field beans. Annual report Welsh Plant Breeding Station, Aberystwyth, 227-241.
- Haber A.H. and Tolbert N.E., 1957. Photosynthesis in gibberellin-treated leaves. Plant Physiol. 32, 152-153.

- Haeder H.E., 1977. Physiology of carbohydrate production in grain. In: Carbohydrate and protein synthesis (Mifflin B.J. and Zoschke M. eds.). Seminar in the EEC Programme of coordination of research on plant proteins. Justus-Liebig Univ. Giessen, Germany.
- Halevy A.H., 1964. Effects of gibberellin and growth-retarding chemicals on respiration and catalase activity in various organs of cucumber seedlings. *J. Exp. Bot.* 15, 546-555.
- Hassib M., Zaher A. and Aloïoun M.A., 1971. Effect of indole butyric acid and maleic hydrazide upon the yield constituents of *Vicia faba* L. *Z. Acker- und Pfl.bau* 134, 239-50.
- Hegazy A.T., Youssef A.T. and Khalil S., 1972. Biochemical growth patterns of bean plants as affected by kinetin. *Bulletin of the Fac. of Science, Cairo Univ.* 45, 119-126.
- Henson I.E. and Wheeler C.T., 1976. Hormones in plants bearing nitrogen-fixing root nodules: the distribution of cytokinins in *Vicia faba* L.. *New Phytol.* 76, 433-439.
- Herzog H., 1978. Wachstumsverhalten und Kältetoleranz bei Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) unter verschiedenen Testbedingungen. II. Assimilationsleistung und ihre Veränderung nach Gefriertests. *Z. Acker- und Pfl.bau* 147, 111-120.
- Herzog H., 1979. Wachstumsverhalten und Kältetoleranz bei Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) unter verschiedenen Testbedingungen. III. Verhaltenssteuerung durch Wachstumsregulatoren. *Z. Acker- und Pfl.bau* 148, 72-82.
- Hess D., 1979. *Pflanzenphysiologie*. Ulmer, Stuttgart.
- Hew C.S., Nelson C.D. and Krotkov G., 1967. Hormonal control of translocation of photosynthetically assimilated ^{14}C in young soybean plants. *Amer. Jour. Bot.* 54, 252-256.
- Hofer H. und Jäggi W., 1978. Zur Frage der Stickstoffdüngung von Ackerbohnen. *Mitt. Schw. Landw.* 26, 93-99.
- Hurter J., 1977. Persönliche Mitteilung.
- Ishag H.M., 1973a. Physiology of seed yield in field beans (*Vicia faba* L.). I. Yield and yield components. *J. agric. Sci., Camb.*, 80, 181-189.

- Ishag H.M., 1973b. Physiology of seed yield in field beans (*Vicia faba* L.). II. Dry-matter production. J. agric. Sci., Camb., 80, 191-199.
- Israelstam G.F. and Davis E., 1979. An analysis of the effects of gibberellic acid on the leaflet structure of dwarf cultivars of pea (*Pisum sativum*). Can. J. Bot. 57, 1089-92.
- Jain H.K., Singh S.P., Bahl P.N., Ram H. and Raju D.B., 1979. "Breeding for improved plant architecture and high protein yield". International Symposium on seed protein improvement in cereals and grain legumes, Neuberberg.
- Jaquiéry R., 1977. Etude de la chute des fruits chez la féverole (*Vicia faba* L.), Relations avec la disponibilité en assimilats marqués au ¹⁴C. Thèse no. 5893 à l'EPF-Z.
- Jaquiéry R. und Keller E.R., 1978. Beeinflussung des Fruchtansatzes bei der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) durch die Verteilung der Assimilate. Teil I.. Angew. Bot. 52, 261-276.
- Jaquiéry R. und Keller E.R., 1980. Beeinflussung des Fruchtansatzes bei der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) durch die Verteilung der Assimilate. Teil II. Angew. Bot. 54, 29-39.
- Johnson R.R. and Anderson I.C., 1974. Interaction of 2,3,5-Triiodobenzoic acid and 2,4-Dichlorphenoxy acetic acid on growth of soybeans. Crop Sci. 14, 381-384.
- Johnson D.R. and Major D.J., 1979. Harvest-Index of soybeans as affected by planting date and maturity rating. Agron. Jour. 71, 538-541.
- Jung J. und Schott P.E., 1975. Möglichkeiten der Anwendung von Wachstumsregulatoren in der Pflanzenproduktion. Z. Pfl.krankh. und Pfl.schutz 7, 333-343.
- Kambal A.E., 1969. Flower drop and fruit set in field bean, *Vicia faba* L.. J. agric. Sci. 72, 131-138.
- Kaplan S.L. and Koller H.R., 1977. Leaf area and CO₂-exchange rate as determinants of the rate of vegetative growth in soybean plants. Crop Sci. 17, 35-38.
- Kefeli V.I., 1978. Natural plant growth inhibitors and phytohormones. Junk, The Hague.

- Keller E.R., 1974. Die Ackerbohne (*Vicia faba* L.) - eine vergessene Kulturpflanze mit Zukunftsaussichten? Schw. Landw. Forschung 13, 287-300.
- Keller E.R. und Bellucci S., 1980. Anwendung von Phytohormonen und Wachstumsregulatoren bei Körnerleguminosen. In: Anwendungsmöglichkeiten von Phytohormonen und Wachstumsregulatoren in der Pflanzenproduktion (Bangerth F. ed.). Hohenheimer Arbeiten 105, 94-111. Ulmer, Stuttgart.
- Kende H., 1971. The cytokinins. Int. Rev. Cytol. 31, 301.
- Key J.L. and Vanderhoef L.N., 1973. Plant hormones and developmental regulation: Role of transcription and translocation. In: Developmental regulation (Coward S.J. ed.). Academic Press, New-York.
- King R.W., Wardlaw I.F. and Evans L.T., 1967. Effect of assimilate utilization on photosynthetic rate in wheat. Planta 77, 261-276.
- Knapp R., 1961. Wirkungen von Behandlungen mit Gibberellinen auf die Entwicklung von Pflanzen. Angew. Bot. 35, 221-258.
- Kriedemann P.E. and Loveys B.R., 1975. Hormonal influences on stomatal physiology and photosynthesis. In: Environmental and biological control of photosynthesis (Marcelle R. ed.). Junk, The Hague.
- Krishnamoorthy H.N. (ed.), 1975. Gibberellins and plant growth. Wiley Eastern Lim., New Dehli.
- Kull U., 1972. Wirkungen von Wuchsstoffen auf Speicherung und Stoffwechsel in vegetativen Pflanzenteilen. Botanische Studien 19. Gustav Fischer, Jena.
- Laibach F., 1933. Wuchsstoffversuche mit lebenden Orchideenpollinien. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 51, 386-392.
- Lawrence D.K., 1978. Hormone combinations as practical growth regulators. The effect of interactions between growth regulators on plant growth and yield. Monograph 2, 11-18. Brit. Plant G.R.G..
- Leopold A.C. and Kriedemann P.E., 1975. Plant growth and development. Mc Graw Hill, New York.

- Lesina A.V., 1966. Einfluss der Gibberellinsäure auf die morphologischen und anatomisch-physiologischen Keimzahlen der Ackerbohnen. Dokl. ANBSSR 10, 604-606.
- Lever B.G., 1978. Economic factors affecting the future development of plant growth regulators in agriculture. In: Opportunities for chemical plant growth regulation. Monograph 21, 17-24. Brit. Crop Prot. Council, Reading.
- Linder A., 1969. Planen und Auswerten von Versuchen. Birkhäuser, Basel.
- Linser H., 1966. Das hormonale System der Pflanzen. Angew. Chem. 78, 895-904.
- Loveys B.R. and Kriedemann P.E., 1974. Internal control of stomatal physiology and photosynthesis. I. Stomatal regulation and associated changes in endogenous levels of abscisic and phaseic acids. Aust. J. Plant Physiol. 1, 407-415.
- Luckwill L.C., 1976. Growth regulation in top fruit. Outlook on Agriculture (Growth regulation issue) 9, 46-51.
- Maas H. and Klambt D., 1977. Cytokinin effect on protein synthesis in vivo in higher plants. Planta 133, 117-120.
- Marcelle R. and Oben G., 1973. Effects of some growth regulators on the CO₂ exchange of leaves. Acta Hort. 34, 55-58.
- Mc Ewen J., 1970. Fertilizer nitrogen and growth regulators for field beans (*Vicia faba* L.). J. agric. Sci. 74, 67-72.
- Mc Ewen J., 1973. The effects of growth regulators, seed rate and row spacings on field beans (*Vicia faba* L.). J. agric. Sci. 80, 37-42.
- Milborrow B.V., 1974. The chemistry and physiology of abscisic acid. Ann. Rev. Plant Physiol. 25, 259-307.
- Moore T.C., 1979. Biochemistry and physiology of plant hormones. Springer, Berlin.
- Morris D.A., Kadir G.O. and Barry A.J., 1973. Auxin transport in intact pea seedlings (*Pisum sativum* L.). The inhibition of transport by TIBA. Planta 110, 173-182.
- Morgan D.G., 1977. Plant growth substances and flower development. Pestic. Sci. 8, 230-235.

- Mulligan D.R. and Patrik J.W., 1979. Gibberellic-acid-promoted transport of assimilates in stems of *Phaseolus vulgaris* L.. *Planta* 145, 233-238.
- Muramoto H., Hesketh J. and El-Sharkawy M., 1965. Relationships among rate of leaf area development, photosynthetic rate and rate of dry matter production among American cultivated cottons and other species. *Crop Sci.* 5, 163-66.
- Neales T.F. and Incoll L.D., 1968. The control of leaf photosynthesis rate by the level of assimilate concentration in the leaf: a review of the hypothesis. *Bot. Rev.* 34, 107-125.
- Nesling F.A. and Morris D.A., 1979. Cytokinin levels and embryo abortion in interspecific *Phaseolus* crosses. *Z. Pflanzenphys.* 91, 345-358.
- Neumann K.H., 1975. Phytohormone und Entwicklung der höheren Pflanze. *Z. Pfl.krankh. und Pfl.schutz* 7, 309-332.
- Nowakowski W., 1978. Action de l'acide gibbérellique (GA_3) sur la photosynthèse, la respiration et la transpiration des limbes de seigle (*Secale cereale* L.). *Biologia Plantarum (Praha)* 20, 142-145.
- Ohki K. and Mc Bride L.B., 1972. Interaction of temperature and moisture on soybean development. *Agron. Jour.* 64, 493-97.
- Panigrahi B.M. and Audus L.J., 1976. Apical dominance in *Vicia faba*. *Ann. Bot.* 30, 457-473.
- Patrik J.W. and Wareing P.F., 1970. Experiments on the mechanism of hormone-directed transport. In: *Plant growth substances* (Carr D.J. ed.). Springer, Berlin.
- Patrik J.W. and Wareing P.F., 1973. Auxin-promoted transport of metabolites in stems of *Phaseolus vulgaris* L.. *J. Exp. Bot.* 24, 1158-1171.
- Patrik J.W. and Wareing P.F., 1976. Auxin-promoted transport of metabolites in stems of *Phaseolus vulgaris* L.. *J. Exp. Bot.* 27, 969-982.
- Phillips I.D.J., 1969. Apical dominance. In: *The physiology of plant growth and development*, p. 163-202 (Wilkins M.B. ed.). Mc Graw-Hill, London.

- Phillips I.D.J., 1971. The biochemistry and physiology of plant growth hormones. Mc Graw-Hill, New York.
- Phillips I.D.J., 1978. Persönliche Mitteilung.
- Pilet P.E. (ed.), 1977. Plant growth regulation. Springer, Berlin.
- Pincus G. and Thimann K.V., 1948. The hormones. Academic Press, New York.
- Poskuta J., Parys E., Ostrowska E. and Wolkowa E., 1975. Photosynthesis, photorespiration, respiration and growth of pea seedlings treated with gibberellic acid (GA_3). In: Environmental and biological control of photosynthesis (Marcelle R. ed.). Junk, The Hague.
- Radley M., 1976. The development of wheat grain in relation to endogenous growth substances. J. Exp. Bot. 27, 1009-1021.
- Repka J., Kostrey A. and Rapi J., 1974. Analysis of the production process of cultivated plants under the conditions of southern Slovakia. 4. Effect of plant density on production properties and yield of horse beans. Pol'nohospodarstvo 20, 436-443.
- Ries S.K., Went V., Sweeley C.C. and Leavitt R.A., 1977. Triacetonol: a new naturally occurring plant growth regulator. Science 195, 1339-1341.
- Ruge U., 1978. Anwendungsmöglichkeiten von Wachstumsregulatoren in der Landwirtschaft und im Gartenbau. Angew. Bot. 52, 63-69.
- Said H., Hegazy A.T., Khalil M.S. and Khalil S., 1966. Effect of some growth regulators on yield and the chemical composition of *Vicia faba* (Part II.). Flora, Abt. A 157, 246-263.
- Scarascia M.E. e Losavio N., 1979. Analisi dell'accrescimento e della produzione in due varietà di soia a differente potenzialità produttiva. Riv. di Agronomia 13, 67-77.
- Schneider E.A. and Wightman F., 1974. Metabolism of Auxin in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 25, 487-513.
- Seth A. and Wareing P.F., 1964. Interaction between auxins, gibberellins and kinins in hormone-directed transport. Life Sci. 3, 65-77.

- Seth A.K. and Wareing P.F., 1967. Hormone-directed transport of metabolites and its possible role in plant senescence. *J. Exp. Bot.* 18, 65-77.
- Shibaoka H. (ed.), 1978. Controlling factors in plant development. Special Issue of the *Bot. Magazine*, no. 1, Tokyo.
- Shibles R.M. and Weber C.R., 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Sci.* 6, 55-59.
- Singh I.D. and Stoskopf N.C., 1971. Harvest-Index in cereals. *Agron. Jour.* 63, 224-226.
- Sitnikova O.A., 1967. Einfluss von Wachstumsregulatoren auf die Entwicklung des Wurzelsystems und die Bildung von Knöllchen an den Wurzeln von Ackerbohnen. *Ucen Zapiski. Mosk. obl. pedagogic in-t im N.K. Krupskoj* 169, 75-91.
- Sjödin J., 1971. Induced morphological variations in *Vicia faba* L.. *Hereditas* 67, 155-180.
- Skene K.G.M., 1975. Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth. In: *Development and functions of roots* (Torney and Clarkson eds.) p. 365-396. Academic Press, London.
- Smolinski M., 1976. Influence of morphactin IT 3456 on the growth and anatomic structure of *Vicia faba* L. (*Faba vulgaris* Mnch.), variety "Hangdown". *Acta Agrobotanica* 29, 5-14.
- Solanski S., 1973. Untersuchungen zur Physiologie der Ertragsbildung bei Sommergerste unter dem Einfluss von CCC mit Hilfe von $^{14}\text{CO}_2$. Diss. Univ. Bonn.
- Stoddart J.L., 1968. The association of gibberellin-like activity with the chloroplast fraction of leaf homogenates. *Planta* 81, 106-112.
- Stoy V., 1966. Funktion von Blatt, Halm und Aehre bei der Ertragsbildung von Getreide. *Ber. Arbeitstagg. Gumpenstein*, 29-49.
- Stutte C.A., 1977. Plant growth regulators. *Advances in Chemistry Series* 159. Washington D.C..

- Subhadrabandhu S., Dennis F.G. Jr. and Adams M.W., 1978. Abscission of flowers and fruits in *Phaseolus vulgaris* L..II. The relationship between pod abscission and endogenous abscisic, phaseic and dihydrophaseic acids in pedicels and pods. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103, 565-567.
- Szalai I., 1968. Gibberellinsäure und Chlorophyllgehalt des Blattes von *Phaseolus vulgaris* L.. *Planta* 83, 161.
- Tamaki K. and Naka J., 1971. Physiological studies on the growing process of broad bean plants. *Tech. Bull. Fac. Agr. Kagawa Univ.* 22, 73-82.
- Tanner A.H., 1978. Untersuchungen über den Einfluss von Gibberellinsäurebehandlungen auf die reproduktive Phase bei der Ackerbohne (*Vicia faba* L.). Diplomarbeit am Inst. für Pflanzenbau der ETH-Z, unveröffentlicht.
- Thimann K.V. and Skoog F., 1934. On the inhibition of bud development and other function of growth substances in *Vicia faba*. *Proc. Roy. Soc. B.* 114, 317-329.
- Treharne K.J. and Stoddart J.L., 1968. Effects of gibberellin on photosynthesis in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Nature* 220, 457-458.
- Treharne K.J., Stoddart J.L., Pagne J., Paranjothy J. and Wareing P.F., 1970. Effects of gibberellin and cytokinins on the activity of photosynthetic enzymes and plastid ribosomal RNA synthesis in *Phaseolus vulgaris* L.. *Nature* 228, 129-31.
- Treharne K.J., 1978. Photosynthesis and its hormonal control. Opportunities for chemical plant growth regulation. *Monograph* 21, 153-158. *Brit. Crop Prot. Council, Reading.*
- Turner W.B. and Bidwell R.G.S., 1965. Rates of photosynthesis in attached and detached bean leaves, and the effect of spraying with indoleacetic acid solution. *Plant Physiol.* 40, 446-451.
- Unger J., 1972. Anwendungsprobleme von Wachstumsregulatoren bei einigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (Feldkulturen) unter Berücksichtigung der Pflanzenproduktion in den Tropen und Subtropen (Literaturauswertung). *Beitr. trop. Landw. und Vet.med.* 10, 293-305.

- Unger J., 1976. Einsatzmöglichkeiten für Wachstumsregulatoren zur pflanzlichen Prozesssteuerung bei ausgewählten Körnerhülsenfrüchten (*Phaseolus spec.*, *Pisum spec.*). Beitr. trop. Landw. und Vet.med. 14, 61-69.
- Wagner H., 1974. Wuchsstoffgesteuerte Assimilateverlagerung bei Gerste. Angew. Botanik 48, 331-338.
- Wardlaw I.F., 1968. The control and pattern of movement of carbohydrates in plants. Bot. Rev. 34, 79-105.
- Wareing P.F., 1958. Interaction between indoleacetic acid and gibberellic acid in cambial activity. Nature 181, 1744-45.
- Wareing P.F., Khalifa M.M. and Treharne K.J., 1968. Rate-limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities. Nature 220, 453-457.
- Wareing P.F. and Patrik J., 1975. Source-sink relations and the partition of assimilates in the plant. In: Photosynthesis and productivity in different environments (Cooper J.P. ed.) 3, 481-499. Cambridge Univ. Press.
- Wareing P.F., 1978. Persönliche Mitteilung.
- Wareing P.F. and Phillips I.D.J., 1978. The control of growth and differentiation in plants. Pergamon Press, Oxford.
- Weaver R.J., 1972. Plant growth substances in agriculture. W.H. Freeman, San Francisco.
- Went F.W., 1928. Wuchsstoff und Wachstum. Rec. Trav. Bot. Néerl. 25, 1-116.
- Whigham D.K. and Woolley D.G., 1974. Effect of leaf orientation, leaf area, and plant densities on corn production. Agron. Jour. 66, 482-486.
- Wilkins M.B., 1969 (ed.), 1969. Physiology of plant growth and development. Mc Graw-Hill, London.
- Wittwer S.H., 1971. Growth regulants in agriculture. Outlook on Agriculture 6, 205-217.
- Youssef E., Hegazy A.T. and Khalil S., 1972. Comparative studies on the effects of B-indole acetic acid on growth and maturity of *Vicia faba*. Bull. Fac. Sci. Cairo Univ. 45, 109-118.

- Zelitch I., 1975. Improving the efficiency of photosynthesis. *Science* 188, 622-633.
- Zeroni M., Jerie P.H. and Hall M.A., 1977. Studies on the movement and distribution of ethylene in *Vicia faba* L.. *Planta* 134, 119-125.

NACHTRAG

- Abeles F.B., 1973. Ethylene in plant biology. Academic Press, New York.
- Burkhard J., 1980. Persönliche Mitteilung.
- Buzzel R.I. and Buttery B.R., 1977. Soybean harvest index in hill plots. *Crop Sci.* 17, 968-970.
- Raschke K., 1976. Effects of stress on photosynthesis possibly mediated by abscisic and phaseic acids. In: The 9th international conference on plant growth substances (Pilet P.E. ed.) p. 318 (collected abstracts).
- Skoog F. and Armstrong D.J., 1970. Cytokinins. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 21, 359-384.

LEBENS LAUF

29. Oktober 1950 Geboren in Lugano (TI) als Sohn des Arys Bellucci und der Elsy, geborene Eggermann
- 1956-1961 Primarschule in Lugano
- 1961-1964 Sekundarschule in Lugano
- 1964-1966 Handelsschule in Lugano
- 1966-1967 landwirtschaftliches Lehrjahr bei Herrn O. Hofer, Ballmoos/Zuzwil (BE)
- 1967-1969 Besuch der Jahresschule an der Kant. Landwirtschaftlichen Schule Rütli in Zollikofen (BE)
- 1969-1971 Vorbereitung zur Zulassungsprüfung an die ETH Zürich, am Institut Minerva in Zürich
- 1971-1974 Studium an der landwirtschaftlichen Abteilung der ETH, Zürich
- 1974-1975 Unterbruch des Studiums mit Praxisaufenthalt in Kanada und Brasilien
- 1975-1976 Weiterstudium an der landw. Abteilung der ETH, Zürich
- 1976 Diplom Ing. Agr. ETH
- seit 1976 Doktorand am Institut für Pflanzenbau der ETH, Zürich