

WIS-mf-112

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS VON
SCHNELLEN NEUTRONEN UND GAMMASTRAHLEN AUF DAS KEIM-
BLATTWACHSTUM UND DIE MUTATIONSRATE BEI GERSTE
(HORDEUM VULGARE L.) UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VER-
SCHIEDENER MODIFIZIERENDER FAKTOREN

Dissertationsarbeit zur Erlangung des Doktorgrades
an der Hochschule für Bodenkultur

eingereicht von Dipl. Ing. Joachim Kramer

Wien, im Mai 1970

VORWORT

Die vorliegende Dissertation wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung an der Hochschule für Bodenkultur und der Internationalen Atomenergieorganisation, Abteilung für Pflanzenzüchtung und Genetik, im IAEA Laboratorium in Seibersdorf durchgeführt.

An dieser Stelle möchte ich allen, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben, meinen herzlichen Dank aussprechen. Herrn Prof. Dr. Steineck, dem Vorstand der Lehrkanzel für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und Herrn Prof. Dr. Wunderlich danke ich für die Annahme und kritische Begutachtung dieser Arbeit. Für die Überlassung des interessanten Themas und sein lebhaftes Interesse am Entstehen dieser Dissertation möchte ich Dr. Mikaelson vielen Dank sagen. Dr. Brunner bin ich für viele wertvolle Diskussionen während der Durchführung dieser Arbeit sehr verbunden.

Schließlich möchte ich noch der "Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie" für die Hilfe bei der Bestrahlung von Samen mit Neutronen sowie für die zeitweise Benützung des Glashauses meinen Dank aussprechen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1. Vergleiche zwischen Gammastrahlen und schnellen Neutronen	1
1.2. Die Dosimetrie von Gammastrahlen und schnellen Neutronen	3
1.3. Der Einfluß ionisierender Strahlen auf Samen höherer Pflanzen	5
1.3.1. Allgemeine Wirkungen	5
1.3.2. Genetische Wirkungen	6
1.4. Die Natur induzierter Mutanten	8
1.5. Faktoren, die die Wirkung ionisierender Strahlen auf Pflanzen beeinflussen	9
1.5.1. Chromosomengröße, Chromosomenzahl, Genotyp	11
1.5.2. Der Einfluß des Quellungszustandes der Gewebe	11
1.5.3. Die strahlenbiologische Wechselwirkung zwischen Feuchtigkeitsgehalt und Sauerstoff	12
1.5.4. Die modifizierende Wirkung von Chemikalien	15
1.5.5. Der Einfluß der Temperatur auf Strahlenbehandlungen	16
1.5.6. Lagerung bestrahlter Samen	16
1.6. Ziel und Zweck der eigenen Untersuchungen	17
II. MATERIAL UND METHODIK	
2.1. Experimentiermaterial	18
2.2. Strahlenquellen	18
2.3. Methodik	19
2.3.1. Einstellung und Messung des Feuchtigkeits- gehaltes der Samen	19
2.3.2. Vorquellen und Rücktrocknen der Samen	20
2.3.3. Hydrieren der Samen	20
2.4. Auswertung der Experimente	20
2.4.1. Der Keimlingstest	20
2.4.2. Die erste Mutationsgeneration (M_1)	21
2.4.3. Die zweite Mutationsgeneration (M_2)	21

	Seite
2.4.3.1. Der Chlorophyllmutationstest	21
2.4.3.2. Selektion auf Makromutationen	22
2.4.4. Die dritte (M_3) und vierte (M_4) Mutationsgeneration	24
III. ERGEBNISSE	
3.1. Der Einfluß des Wassergehaltes der Samen und des Sauerstoffes auf das Keimblattwachstum und die Chlorophyllmutationsrate nach Behandlung mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen	24
3.1.1. Der Einfluß auf das Keimblattwachstum	25
3.1.2. Der Einfluß auf die Chlorophyllmutations- rate und die Fertilität	27
3.2. Der Einfluß des Quellungszustandes von Gersten- samen auf Bestrahlungen mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen	34
3.2.1. Nasse Behandlungen	34
3.2.2. Rückgetrocknete Behandlungen	36
3.3. Die Wirkung von Cystein auf Samen nach Behand- lung mit schnellen Neutronen und Gammastrahlen	43
3.3.1. Nasse Behandlungen	43
3.3.2. Rückgetrocknete Behandlungen	50
3.4. Untersuchungen über das Chlorophyllmutations- spektrum nach Behandlung ruhender Gerstensam- men mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen	52
3.5. Feldexperimente	53
3.5.1. Vergleichende Untersuchungen über die Häufig- keit induzierter Chlorophyllmutationen und Makromutationen in der zweiten Mutations- generation (M_2)	53
3.5.2. Untersuchungen einiger Mutanten in der vierten Mutationsgeneration (M_4)	54
IV. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE	58
V. ANWENDUNG FÜR DIE PRAXIS	69
VI. ZUSAMMENFASSUNG	70
VII. LITERATURVERZEICHNIS	72
ANHANG - TABELLEN XI - XXXV	84

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

1.1 Vergleiche zwischen Gammastrahlen und schnellen Neutronen.

Gammastrahlen und schnelle Neutronen gehören zur Gruppe der ionisierenden Strahlen. Man zählt dazu alle Arten von Strahlen, die auf Grund ihrer hohen Energie die Fähigkeit besitzen, in dem Material, das sie durchdringen, Ionisationen zu erzeugen.

Gammastrahlen sind hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlen. Sie besitzen dieselbe Wirkungsweise wie Röntgenstrahlen und unterscheiden sich von ihnen durch ihre Herkunft. Während Röntgenstrahlen in Röntgenapparaten künstlich erzeugt werden, entstehen Gammastrahlen aus natürlichen radioaktiven Isotopen wie Cobalt 60 oder Caesium 137, deren instabile Atomkerne Energie in Form elektromagnetischer Wellen abgeben, um Stabilität zu erreichen.

Durch die Einwirkung von Gammastrahlen auf Materie werden aus dieser durch verschiedene Reaktionsmechanismen sehr energiereiche Elektronen freigesetzt. Diese "schnellen" Elektronen, die eine negative Ladung, eine sehr kleine Masse und eine hohe Geschwindigkeit haben, führen auf ihrem Weg zu weiteren Reaktionen mit Materie. Zwischen den schnellen Elektronen und Elektronen von Atomen tritt durch ihre negativen Ladungen einerseits eine starke abstoßende Kraft auf, andererseits kommt es aber auch zu Kollisionen zwischen den beiden Elektronen. Ist der Zusammenstoß beziehungsweise die abstoßende Kraft stark genug, so wird das Elektron des Atoms entweder in eine energiereichere Schale bewegt (= das Atom wird angeregt) oder es wird aus dem Atom herausgestoßen (= das Atom wird ionisiert). Das energiereiche Elektron verliert durch weitere Anregungen und Ionisationen immer mehr an Energie, bis es schließlich von einem Atom eingefangen wird. Es entsteht also zuerst ein Kation (ein Atom verliert ein Elektron) und dann ein Anion (ein Atom erhält ein Elektron). Es kommt daher immer zur Bildung von Ionenpaaren.

Durch die geringe Masse werden Elektronen in ihrem Weg leicht abgelenkt und ändern deshalb oft ihre Richtung.

Neutronen sind ungeladene Teilchen des Atomkernes mit der Masse eins. Die gebräuchteste Neutronenquelle liefert der Uranzerfall in Kernreaktoren. In den Reaktoren herrscht allerdings immer ein Gemisch von Neutronen verschiedenster Energien. Durch geeignete Filter kann man die energiearmen thermischen von den energiereichen schnellen Neutronen trennen.

Da schnelle Neutronen ungeladen sind, erzeugen sie Ionisationen nicht auf direkte Weise, sondern durch elastische Kollisionen mit Atomkernen. Ein Teil der Kollisionsenergie wird auf den Trägerkern übertragen; reicht diese kinetische Energie aus, so wird der Trägerkern aus seiner Lage bewegt. Der größte Teil der Energie der schnellen Neutronen wird auf Kerne mit niederem Atomgewicht übertragen. In der Hauptsache reagieren sie mit Wasserstoffkernen (Protonen), weil diese fast die gleiche Masse besitzen. Als Ergebnis resultiert ein sich bewegendes Proton, das durch seine positive Ladung eine starke anziehende Kraft auf die negativ geladenen Elektronen von Atomen ausübt. Ist diese Kraft ausreichend, werden die Elektronen entweder in energiereichere Schalen gezogen (das Atom wird angeregt) oder sie werden aus dem Atom herausgezogen (das Atom wird ionisiert). Da Protonen schwer sind, werden sie in ihrem Weg kaum abgelenkt und werden in gerader Bahn solange anregen und ionisieren, bis ihre Energie aufgebraucht ist. Dann fangen sie sich jeweils ein Elektron und werden zu einem Wasserstoffatom. Schnelle Neutronen verlieren durch weitere elastische Kollisionen immer mehr an Energie, bis sie schließlich von Atomkernen eingefangen werden.

Die prinzipielle Wirkung von Gammastrahlen und schnellen Neutronen ist gleich, nämlich Anregungen und Ionisationen hervorzurufen. Ihr wesentlichster Effekt besteht in der Bildung von Ionenpaaren. Ein Molekül A verliert ein Elektron, es wird zu einem Kation ($A \longrightarrow A^+ + e$). Das Elektron kann nicht frei existieren, ein Molekül B fängt es ein und wird zu einem Anion ($B + e \longrightarrow B^-$). Fängt ein durch ionisierende Strahlen gebildetes Kation sein verlorenes Elektron wieder ein, so resultiert daraus ein neutrales, energiereiches, unstabiles Molekül. Dieses zerfällt sofort in sehr

reaktionsfreudige freie Radikale. Sie sind energiereiche, elektrisch neutrale Moleküle, die in der äußersten Schale immer ein ungepaartes Elektron besitzen. Sie sind äußerst reaktionsfreudig und reagieren sofort miteinander oder mit anderen geeigneten Molekülen.

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Gammastrahlen und schnellen Neutronen ist ihre unterschiedliche Ionisationsdichte. Man versteht darunter die Anzahl erzeugter Ionenpaare je Einheit des zurückgelegten Weges des ionisierenden Teilchens. Die Ionisationshäufigkeit ist eine Funktion der Geschwindigkeit des ionisierenden Partikels, je höher die Geschwindigkeit ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit für eine Ionisation. Die Geschwindigkeit des Teilchens ist eine Funktion seiner Masse. Gammastrahlen sind masselos; die durch sie freigesetzten Elektronen haben nur eine sehr kleine Masse, beide besitzen eine große Geschwindigkeit. Ihre Ionisationsdichte ist daher sehr klein und beträgt um ca. 8-10 Ionenpaare pro μ . Schnelle Neutronen verfügen dagegen über eine größere Masse und eine geringere Geschwindigkeit. Deshalb ist ihre Ionisationsdichte höher, sie beträgt zwischen 500 und 1500 Ionenpaare pro μ .

1.2 Die Dosimetrie von Gammastrahlen und schnellen Neutronen.

Die Dosimetrie ist ein wesentlicher Faktor von Strahlenexperimenten, hängt doch die Reproduzierbarkeit einer Behandlung von einer genau definierten Dosis ab.

Im Jahre 1962 wurde auf internationaler Ebene das "rad" (radiation absorbed dose) als Dosismaß für alle Arten ionisierender Strahlen anerkannt; es repräsentiert die Einheit der absorbierten Dosis dieser Strahlen. Ein rad entspricht einer absorbierten Energie von 100 erg pro Gramm absorbierender Substanz. Die Festsetzung des rad als Dosiseinheit war vor allem deshalb notwendig geworden, weil es für schnelle Neutronen und andere Teilchenstrahlen keine klare und einheitliche Dosismessung gegeben hatte, wodurch ein Vergleich von Experimenten teilweise verwirrend und unmöglich war.

Für Gamma- und Röntgenstrahlung war schon längere Zeit das "röntgen" in Verwendung. Es wurde als die Einheit der emittierten Gamma- und Röntgenstrahlung festgesetzt und basiert auf der Ionisationshäufigkeit dieser Strahlen in Luft. Ein röntgen erzeugt unter Normalbedingungen 2.1×10^9 Ionenpaare pro cm^3 Luft. Zwischen röntgen und rad bestehen Zusammenhänge; ein röntgen entspricht in Luft ca. 0.83 rad, in Wasser jedoch ca. 0.98 rad.

Für die Bestimmung der Dosis stehen heute schon verschiedene Methoden zur Verfügung. Aus der Vielzahl des Dosimeter sollen hier nur jene erwähnt werden, die für diese Arbeit wesentlich waren.

Die Messung der absorbierten Gammastrahlendosis erfolgte mit Hilfe des Fricke Dosimeters. Es ist ein chemisches Dosimeter bestehend aus 10^{-3}m FeSO_4 , $8 \times 10^{-1}\text{n}$ H_2SO_4 und 10^{-3}m NaCl , gelöst in doppelt destilliertem Wasser. Durch die Einwirkung der Gammastrahlen kommt es zu einer Oxydation von Fe^{++} zu Fe^{+++} . Die Menge an Fe^{+++} -Ionen kann durch Messung der Extinktion von ultravioletten Strahlen in einem Spektrophotometer bei einer Wellenlänge von 3040 Ångström quantitativ erfaßt und die Dosis d aus berechnet werden.

Die Dosimetrie der schnellen Neutronen bereitet größere Schwierigkeiten. In einem Atomreaktor herrscht nämlich immer ein Gemisch an Gammastrahlen und Neutronen verschiedener Energien. Durch die Konstruktion einer Standardbestrahlungseinrichtung für biologisches Material - SNIF (standard neutron irradiation facility) genannt - ist man im Reaktorzentrum Seibersdorf in der Lage, die Bestrahlung mit schnellen Neutronen und die Verunreinigung mit Gammastrahlen weitgehend zu kontrollieren.^{+/} Die Dosisbestimmung erfolgt auf zwei Arten:

a) Die Messung des Neutronenflusses vor der Bestrahlung wird mit Ionisationskammern durchgeführt. Eine Ionisationskammer ist eine geschlossene, gasgefüllte Kammer mit zwei parallelen Elektroden, bei der durch eine Batterie ein Potential erzeugt wird. Durch Bestrahlung wird nun das Gas ionisiert, die Ionen wandern zu den jeweiligen Elektroden und der entstehende Stromfluß kann meßtechnisch erfaßt werden.

Im Reaktor verwendet man zwei verschiedene Ionisationskammern.

^{+/} (Details sind in Technical Reports Series no. 76, IAEA, Wien, 1967, enthalten.)

Die eine, deren Wand aus einem Gemisch von Graphit, Polyäthylen und Polystyren besteht, ist mit Azetylen gefüllt und mißt die Summe aus schnellen Neutronen und Gammastrahlen. Die Wand der zweiten Kammer besteht aus Magnesium, sie wird mit Argon gefüllt und man mißt mit ihr nur die Gammastrahlung. Aus der Differenz der beiden erhält man den Neutronenfluß und mittels Umrechnungsfaktoren die absorbierte Dosis. Der erhaltene Wert dient dann zur Berechnung der Dosis im Bestrahlungsmedium, indem gewisse Korrekturen für die atomare Zusammensetzung unternommen werden.

b) Die Bestimmung der effektiv absorbierten Dosis erfolgt mit Hilfe der Schwefelpille. Sie stellt einen sogenannten Schwellendetektor dar, was bedeutet, daß nur Neutronen, die über einer bestimmten Energieschwelle liegen, erfaßt werden. Durch Neutronenbeschuß der Schwefelatome erfolgt eine Kernumwandlung, wobei das Schwefelatom (16 Protonen, 16 Neutronen, Atomgewicht 32) ein zusätzliches Neutron erhält und ein Proton (15 Protonen, 17 Neutronen, Atomgewicht 32) verliert. Durch diese Reaktion $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ entsteht aus dem Schwefelatom das radioaktive Phosphor-32-Isotop. Die Phosphor-32-Aktivität steht in direktem Zusammenhang mit dem Neutronenfluß und kann mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der absorbierten Dosis herangezogen werden.

1.3 Der Einfluß ionisierender Strahlen auf Samen höherer Pflanzen.

1.3.1 Allgemeine Wirkungen.

Als erstes sichtbares Zeichen der Wirkung ionisierender Strahlen auf Samen ist eine Wachstumsreduktion der Keimblätter und der Wurzeln zu beobachten. Die Wachstumsreduktion beruht hauptsächlich auf einer Verzögerung der Mitose. Mit steigenden Dosen verringert sich das Wachstum stärker. Bei sehr hohen Dosen kommt es zwar noch zu einer Keimung, die jedoch ausschließlich aus einem Längenwachstum der Zellen

besteht. Da die Mitose jedoch vollständig gehemmt ist, unterbleibt das Wachstum und die Pflanze stirbt ab.

Durch Bestrahlung von Samen wird auch ein Einfluß auf die spätere Entwicklung der Pflanzen ausgeübt. Eine starke Verzögerung der einzelnen Entwicklungsstufen kann vor allem bei den Getreidearten beobachtet werden. Bestockung, Schossen, Ährenschieben, Blüte und Reife werden verzögert.

1.3.2 Genetische Wirkungen.

Die wichtigste Eigenschaft ionisierender Strahlen in genetischer Hinsicht ist die Erzeugung von Mutationen. Diese Mutationen treten zwar auch spontan auf, ihre Häufigkeit ist allerdings sehr gering und liegt in der Größenordnung von 10^{-6} . Der Nachweis, daß durch ionisierende Strahlen die Mutationsrate beträchtlich erhöht werden kann, wurde von Muller (1927) mit *Drosophila*, von Gager und Blakeslee (1927) mit *Datura*, von Stadler (1928) mit Mais und Gerste und von Goodspeed (1929) mit Tabak erbracht.

Folgende Mutationstypen können durch Behandlung mit ionisierenden Strahlen erzielt werden:

a) Genommutationen.

Man versteht darunter eine Veränderung der Chromosomenzahl entweder um Einzelschrosomen (Aneuploidie) oder in Form ganzer Chromosomensätze (Polyploidie). Genommutationen sind oft mit Nebenerscheinungen wie verringerter Vitalität und erhöhter Sterilität verbunden. Sie werden durch Bestrahlung relativ selten induziert.

b) Chromosomenmutationen.

Ionisierende Strahlen erzeugen Chromosomenbrüche in größerer Zahl. Diese chromosomalen Veränderungen können bei zytologischen Untersuchungen während der Zellteilung in der Metaphase und der Anaphase nachgewiesen werden. Eine Behandlung mit ionisierenden Strahlen führt entweder zu Chromosomen- oder Chromatidaberrationen. Bei den erstgenannten entsteht im ungeteilten Chromosom ein Bruch, im zweiten Fall kommt es nach der Teilung des Chromosoms entweder in einer oder in beiden Chromosomenspalthälften zu Brüchen. Wenn ionisierende

Strahlen einen Bruch an derselben Stelle der Chromosomspaltheilften verursachen, können Chromatidaberrationen mikroskopisch wie Chromosomenaberrationen aussehen. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Vorganges ist bei den dicht ionisierenden schnellen Neutronen größer als bei den locker ionisierenden Gammastrahlen. Die Weiterentwicklung beider Aberrationstypen geht gleich vor sich. Ein Großteil der zerbrochenen Chromosomen verheilt wieder. Erfolgt keine Restitution, so kann das zentromerlose Chromosomenbruchstück in der Anaphase nicht zu den Polen wandern und geht verloren. Man spricht von terminaler Deletion, wenn ein Chromosomenendstück in Verlust gerät, wozu bereits ein einziger Bruch genügt. Für die interkalare Deletion, bei der im Chromosom ein Zwischenstück abhanden kommt, werden zwei Brüche benötigt. Inversionen entstehen ebenfalls durch zwei Brüche, wobei sich das Bruchstück um 180° dreht und wieder verheilt. Bei Duplikationen tritt eine Verdopplung eines Chromosomenabschnittes auf; dazu bedarf es mehrerer Brüche. Zu Translokationen kommt es, wenn ein Stückaustausch zwischen Chromosomen stattfindet. Bei einfachen Translokationen erfolgt der Austausch an nur einem Chromosom, bei reziproken Translokationen an beiden.

Die meisten Zellen, die eine Chromosomenmutation in sich tragen, sterben ab oder haben eine verringerte Vitalität und werden deshalb während der Weiterentwicklung aus dem Zellverband eliminiert. Man spricht von diplontischer oder haplontischer Selektion, je nachdem, ob das Ausschalten der Zellen in der Diplophase oder in der Haplophase erfolgt.

Chromosomenmutationen haben für die Mutationszüchtung bereits eine Bedeutung erlangt. So konnte Sears (1956) mit Hilfe von Translokationen eine Rostresistenz von *Aegilops umbellulata* auf *Triticum aestivum* übertragen. Außerdem wurden in Svalöf bereits einige hundert Translokationslinien isoliert, die wertvolle Hilfe bei Kreuzungen und genetischen Untersuchungen leisten (A. Hagberg 1966, A. und G. Hagberg 1968).

c) Genmutationen.

Die Definition der Genmutation ist schwierig. Nach Stadler (1942) liegt eine Genmutation dann vor, wenn eine typische Mendelspaltung auftritt

und keine chromosomalen Veränderungen sichtbar sind. Die Grenze zu den Chromosomenmutationen ist schwierig zu ziehen, weil geeignete Techniken fehlen, um Strukturveränderungen im submikroskopischen Bereich erfassen zu können. Heute ist man vielfach der Meinung (Nilan 1966), daß ein Teil der sogenannten Genmutationen durch kleinste Defizienzen hervorgerufen wird. Bei den wahren Genmutationen handelt es sich wahrscheinlich um Veränderungen in der Desoxyribonukleinsäure (DNS). Die größte Wahrscheinlichkeit besteht in der Veränderung der Basensequenzen der DNS, bedingt durch Basenverluste und -gewinne oder durch falsche Basenpaarung.

d) Außernukleare Mutationen.

Man zählt dazu Plasmon- und Plastidommutationen; das sind erbliche Veränderungen im Plasma oder in den Plastiden. Über die Induktion solcher Mutationen durch ionisierende Strahlen ist bisher wenig bekannt.

1.4 Die Natur induzierter Mutanten.

Ein Charakteristikum induzierter Mutationen ist ihre rezessive Natur. Phänotypisch treten sie daher nur in homozygotem Zustand in Erscheinung. Bei Bestrahlung von Samen spalten die homozygot rezessiven Mutanten deshalb erst in der zweiten, bei Bestrahlung von Pollen sogar erst in der dritten Mutationsgeneration heraus. Unter Hunderten von Mutationen bei Gerste (Smith 1951, Nybom 1954, Nilan 1964) treten reine Dominante sehr selten auf. Unter den intensiv studierten Erectoides-Mutanten (Hagberg 1959, Gustafsson 1963) gibt es wahrscheinlich einige Fälle von reinen dominanten Mutationen. Eine weitere Eigentümlichkeit induzierter Mutationen ist ihr höher Grad an Pleiotropismus. In den meisten Fällen sind mit dem mutierten Charakter einige andere Eigenschaften assoziiert (Gaul 1963).

Sehr interessante Untersuchungen über die Induktion spezifischer Mutationen und Vergleiche über die Wirksamkeit verschiedener Mutagene, um diese spezifischen Mutationen zu erzeugen, liegen von

Hagberg et al. (1958), Persson und Hagberg (1968) und Wettstein et al. (1968) vor.

Wettstein et al. (1968) fanden bei Untersuchungen von 384 Eckeriferum-Mutanten bei Gerste 44 verschiedene Loci. Einige dieser Loci scheinen besser zu mutieren als andere. So gehören 52 Allele dem Locus c, 49 dem Locus q, 41 dem Locus u, 23 dem Locus i und 20 dem Locus j an. Die Mutanten, die durch die locker ionisierenden Gamma- und Röntgenstrahlen induziert wurden, scheinen gleichmäßig auf die Loci verteilt zu sein. Bei den durch dicht ionisierende Strahlen erzeugten Mutanten hat es den Anschein, als ob einige Loci bevorzugt mutieren.

Zu ähnlichen Schlüssen kamen Hagberg et al. (1958) und Persson und Hagberg (1968) nach Analysen von Erectoides-Mutanten. Nach Persson und Hagberg (1968) wurden in Svalöf bisher 700 Mutanten mit dichter Ähre isoliert, für 182 von ihnen wurde bisher ein Test auf Allelie gemacht. Derzeit sind 26 verschiedene Loci bekannt. Auch hier scheinen einige Loci bevorzugt zu mutieren, so werden beispielsweise 32 Allele zum Locus a, 34 zum Locus c und 26 zum Locus d gezählt, während bei anderen Loci bis jetzt nur ein Allel gefunden wurde. Bei den Erectoides-Mutanten tritt ebenso ein Unterschied in der Mutierbereitschaft der Loci gegenüber verschiedenen Mutagenen in Erscheinung. So konnten von 32 Mutanten des Locus a 14 durch Röntgen- oder Gammastrahlen, jedoch nur eine durch Neutronen erzielt werden. Beim Locus c wurden dagegen 11 Mutanten durch Röntgen- oder Gammastrahlen und 16 durch Neutronen und Protonen induziert.

1.5 Faktoren, die die Wirkung ionisierender Strahlen auf Pflanzen beeinflussen.

Schon seit Beginn unseres Jahrhunderts beschäftigt sich die Wissenschaft mit dem Einfluß ionisierender Strahlen - vor allem von Röntgen- und Gammastrahlen - auf Pflanzen. Erst in neuerer Zeit wurden die Effekte anderer ionisierender Strahlen, wie Neutronen und Alphateilchen, auf biologisches Material untersucht. Bis zum ein-

deutigen Nachweis der Mutationsauslösung durch diese Strahlen (Muller 1927, Gager und Blakeslee 1927, Stadler 1928, Goodspeed 1929) wurden hauptsächlich morphologische und physiologische Wirkungen erforscht. Ein Teil dieser frühen Arbeiten befaßte sich bereits mit Faktoren, die die Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber ionisierenden Strahlen beeinflussen. Bis heute haben diese Untersuchungen bereits einen großen Umfang erreicht. Es gibt mehrere Gründe für das steigende Interesse an diesen modifizierenden Faktoren:

Diese Studien könnten dazu beitragen, die Wirkungsmechanismen ionisierender Strahlen im lebenden Gewebe besser zu verstehen. Sie könnten helfen, unerwünschte Nebeneffekte auszuschalten und damit die Reproduzierbarkeit der Experimente zu verbessern. Für die Landwirtschaft schließlich sind sie von besonderer Bedeutung, denn sie liefern dem Pflanzenzüchter Hinweise über die geeignetsten Methoden, um optimale Mutationsfrequenzen zu erreichen.

Es gibt eine Reihe von Pflanzen, die für strahlenbiologische Untersuchungen bevorzugt werden. Dazu gehören vor allem die verschiedenen Getreidearten, die Zwiebel, die Tomate, die Pferdebohne, die Bohne, die Erbse, das Löwenmäulchen, Tradescantia und Trillium. In der Hauptsache sind es die Samen, die besonders geeignete Strahlenobjekte darstellen. Sie besitzen nicht nur eine gute Konstanz hinsichtlich ihrer Morphologie, Histologie und chemischen Zusammensetzung, sondern sind auch gegenüber Umwelts- und anderen modifizierenden Faktoren leicht kontrollierbar; sie verfügen daher über gute Voraussetzungen für die Reproduzierbarkeit von Behandlungen. Außerdem sind Samen sehr robust. Sie vertragen Temperaturschwankungen von -200°C bis $+100^{\circ}\text{C}$, tolerieren Druckveränderungen vom Vakuum bis zu hohem Überdruck, können auf genau definierten Wassergehalt eingestellt, gequollen, wieder rückgetrocknet und gelagert werden, ohne ihre Vitalität zu verlieren.

Bis heute sind bereits eine größere Anzahl biologischer, physikalischer und chemischer Faktoren bekannt, die die Wirkung ionisierender Strahlen beeinflussen können.

1.5.1 Chromosomengröße, Chromosomenzahl, Genotyp.

Zwischen und auch innerhalb verschiedener Pflanzenfamilien herrschen große Unterschiede in ihrer Strahlenempfindlichkeit. Nach Sparrow et al. (1961) und Sparrow und Woodwell (1962) ist für die Sensitivität das Zellkernvolumen und auch die Chromosomenzahl verantwortlich. Größeres Kernvolumen bedeutet erhöhte, steigende Chromosomenzahl und Polyploidie verringerte Empfindlichkeit. Zu ähnlichen Schlüssen kamen bereits Stadler (1929), Fröier et al. (1941) und Konzak und Singleton (1952). In einer Reihe von Veröffentlichungen zeigte Stadler (1930, 1931) bei Studien mit diploidem, tetraploidem und hexaploidem Weizen und Hafer, daß die Chlorophyllmutationsrate mit steigender Chromosomenzahl abnahm. Diese Ergebnisse wurden von Fröier et al. (1941) und Smith (1950) bestätigt. Mikaelson und Brunner (1968) untersuchten sieben Gerstensorten auf ihre Strahlenempfindlichkeit und fanden an Hand von Keimlings- und Wurzelwachstumsstudien beträchtliche Unterschiede innerhalb dieses Genotyps.

1.5.2 Der Einfluß des Quellungszustandes der Gewebe.

Die Bedeutung des Quellungszustandes der Gewebe als strahlenbeeinflussender Faktor wurde schon früh erkannt. Bereits 1922 konnte Petry an Vergleichsstudien zwischen röntgenbestrahlten ruhenden und gequollenen Weizensamen nachweisen, daß durch die Quellung die Strahlenwirkung verstärkt wurde. Tascher (1929) fand, daß ruhende Samen eine 15-20 mal stärkere Dosis als gequollene überleben. Diese Ergebnisse wurden an verschiedenen Kriterien von Wertz (1940), Gelin (1941) und Gustafsson (1937, 1947) bestätigt. Untersuchungen von MacKey (1951) zeigten, daß durch Bestrahlung gequollener Gerstensamen hohe Chromosomenschäden, erhöhte Letalität und Sterilität auftraten. Neutronen erwiesen sich zur Induktion von Chlorophyllmutanten effektiver als Röntgenstrahlen. Ehrenberg et al. (1953) erhielten nach Röntgenbestrahlung gequollener Gerstensamen mit derselben Dosis eine sechsmal höhere Chlorophyllmutationsfrequenz als mit ruhenden Samen. Nach denselben Autoren erreicht man maximale Mutationsfrequenzen jedoch nur durch Bestrahlung ruhender Samen mit hohen Dosen, die für gequollene Samen bereits absolut letal sind.

Durch Quellung bei gehemmter Stoffwechselaktivität (0-2°C) erhielt Caldecott (1954) nach Röntgenbestrahlung eine geringere Strahlenschädigung als bei 22°C; eine Bestrahlung mit thermischen Neutronen ergab keinen Unterschied zwischen ruhenden und bei 0°C gequollenen Samen (Kozak 1954). Gequollene Samen erleiden nach Kamra et al. (1960a) Auslaugverluste an verschiedenen Aminosäuren, an Zucker und an anorganischen Elementen. Rücktrocknung dieser gequollenen Samen mit anschließender Röntgenbestrahlung führte zu verstärkten Strahlenschäden und erhöhter Chlorophyllmutationsrate, verglichen mit bestrahlten ruhenden Samen. Quellen allein verursacht keine Chromosomenschäden, scheint jedoch ein zunehmendes Verkleben der Chromosomen herbeizuführen (Kamra et al. 1960b). Sofortiges Einquellen ruhender Gerstensamen nach Röntgenbestrahlung ergibt eine höhere Mutationsrate und größere Sterilität bei einer Quelltemperatur von 5°C, verglichen mit 20°C (Ehrenberg und Lundquist 1957).

1.5.3 Die strahlenbiologische Wechselwirkung zwischen Feuchtigkeitsgehalt und Sauerstoff.

Samen, die auf verschiedene genau definierte Feuchtigkeitsgehalte eingestellt werden, zeigen ein verändertes Verhalten gegenüber Röntgen- bzw. Gammabestrahlung. Caldecott (1954, 1955a,b) und Ehrenberg (1955a) konnten nachweisen, daß nicht nur erhöhter, sondern auch künstlich verringerter Wassergehalt zu gesteigerter Strahlenempfindlichkeit führt. Je nach Feuchtigkeitsgehalt können drei verschiedene strahlensensitive Phasen unterschieden werden (Caldecott 1955a,b, Moës 1961, Biebl und Mostafa 1965):

a) Bei einem Feuchtigkeitsgehalt der Samen über 15% beginnt eine zunehmende Stoffwechselaktivität, wodurch die Sensitivität verstärkt wird.

b) Eine relativ stabile Phase scheint zwischen 12% und 15% Feuchtigkeit zu liegen; in diesem Bereich erweisen sich locker ionisierende Strahlen gegenüber Umweltsbedingungen nur von geringem Einfluß.

c) Mit zunehmender Trockenheit der Samen unter 12% steigt ihre Empfindlichkeit gegen locker ionisierende Strahlen zuerst langsam, später sehr rasch an und erreicht ein Maximum bei einem Wassergehalt unter 4%.

Über den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes bei Neutronen liegen noch wenig Veröffentlichungen vor. Weder thermische noch schnelle Neutronen haben bisher eine Beeinflussung ihrer Wirkung erkennen lassen (Caldecott 1955a, Moës 1961).

Untersuchungen über die dritte Phase bei einem Feuchtigkeitsgehalt von weniger als 12% haben interessante Zusammenhänge zwischen dem strahlen-biologischen Verhalten von Wasser und Sauerstoff aufgezeigt (Nilan 1956, Nilan et al. 1961, Caldecott 1958, Konzak 1957). Mit abnehmendem Wassergehalt nimmt die strahlenbedingte Schädigung der Samen durch den Einfluß von Sauerstoff zu (Conger et al. 1966, 1969). Die Entdeckung dieser, in der Literatur als "Sauerstoffeffekt" bezeichneten Erscheinung wird allgemein Mottram (1935) zugeschrieben, obwohl bereits Petry (1923) ähnliche Ergebnisse veröffentlichte. Mottram (1935) fand heraus, daß das Wachstum röntgenbestrahlter Wurzeln von *Vicia faba* unter anaeroben Verhältnissen besser war als unter aeroben. Spätere Untersuchungen an ruhenden Samen von Gerste und Einkornweizen (Smith 1946) und an Wurzeln von *Vicia faba* (Thoday und Read 1947) bestätigten diese Ergebnisse. Eine Bestrahlung keimender Samen unter Vakuum verringerte die Keimlingsschädigung und die Chromosomenaberrationsfrequenz (Hayden und Smith 1949), in steigenden Sauerstoffkonzentrationen zeigten ruhende und keimende Samen eine erhöhte Schädigung (Nybom et al. 1952, Ehrenberg et al. 1953, Nilan 1954). Sauerstoff allein, unter hohem Druck bei Gerste angewendet, hat sich als Mutagen erwiesen (Ehrenberg et al. 1957, Kronstad et al. 1959). Auf Grund jüngerer Untersuchungen ist man der Meinung, daß der Sauerstoff der Hauptfaktor, das Wasser jedoch ein wichtiger Sekundärfaktor ist, der den Reaktionsgrad des Sauerstoffes reguliert (Nilan et al. 1961, 1962, Konzak et al. 1961, Conger et al. 1966, 1969). Die Verwendung moderner Techniken wie der Elektronen-Spin-Resonanz (ESR), hat das Verständnis des Sauerstoffeffektes sehr gefördert. Es konnte damit nachgewiesen werden, daß in Samen durch Bestrahlung mit ioni-

sierenden Strahlen magnetische Zentren (freie Radikale) gebildet werden. Diese strahleninduzierten freien Radikale erzeugen durch die Einwirkung molekularen Sauerstoffes schädigende radiochemische Produkte wie organische Peroxyde, wodurch in den Samen irreparable Schäden auftreten (Zimmer et al. 1957, A. und L. Ehrenberg 1958, A.D. Conger 1966, B.V. Conger et al. 1966, 1969). Die Reaktionsgeschwindigkeit der sauerstoffsensitiven Radikale ist abhängig vom Hydratationsgrad der Makromoleküle (Åhnström und Mikaelson 1968), von der Hydriertemperatur und der Sauerstoffkonzentration (Åhnström und Mikaelson 1968, Conger et al. 1969). Erhöhter Hydratationsgrad steigert die Wahrscheinlichkeit von Radikal-Radikal Rekombinationen anstelle von Radikal-Sauerstoffreaktionen. Die Ergebnisse von Elektronen-Spin-Resonanzuntersuchungen deuten auf das Vorhandensein von mindestens zwei Radikalkomponenten hin, einer kurz- und einer langlebigen (Conger et al. 1969). Dieselben Autoren zeigen, daß die Entwicklung des sauerstoffabhängigen Schadens schneller vor sich geht als der Abbau der sauerstoffsensitiven Stellen.

Außer in sehr trockenen Samen konnte auch in trockenen Bakteriensporen der wasserabhängige Sauerstoffeffekt nachgewiesen werden (Powers und Tallentire 1968). Wie bei den Samen wirkt auch bei den Sporen der Sauerstoff in zweifacher Weise. Ist Sauerstoff während der Bestrahlung vorhanden, so tritt ein unmittelbarer Sauerstoffeffekt auf. Durch Sauerstoffzufuhr nach der Bestrahlung tritt eine Reaktion mit den langlebigen freien Radikalen ein. Dieser Mechanismus dürfte teilweise für die Lagereffekte verantwortlich sein.

Untersuchungen über den Einfluß des Sauerstoffs bei dicht ionisierenden Strahlen, wie Alphastrahlen (Thoday und Read 1949) und Neutronen (Giles et al. 1952), ließen Unterschiede zu den locker ionisierenden Strahlen erkennen. Sauerstoff erwies sich bei Neutronenbehandlung von Tradescantia-Mikrosporen von geringerem Einfluß als bei Röntgenbestrahlung (Giles et al. 1952). Ehrenberg et al. (1953) konnten keine Wirkung des Sauerstoffs auf das Keimlingswachstum neutronenbestrahlter Gerstensamen finden. Auch Kamra (im Druck) konnte mit Keimlingsexperimenten keinen Sauerstoffeinfluß nach Neutronenbestrahlung nachweisen, während Conger und Constantin (1969) in ähnlichen

Experimenten konträre Ergebnisse erzielten. Auf Grund von Chlorophyll-mutationsanalysen läßt sich auch kein Sauerstoffeinfluß nach Neutronenbestrahlung beweisen (Mikaelsen und Kramer, im Druck).

1.5.4 Die modifizierende Wirkung von Chemikalien.

In den 50-iger Jahren wurde die interessante Entdeckung gemacht, daß gewisse chemische Substanzen die Fähigkeiten besitzen, durch ihre Anwesenheit vor und während der Bestrahlung auf das bestrahlte Medium einen gewissen Einfluß auszuüben. Barron et al. (1949) konnten nachweisen, daß reduziertes Glutathion die Eigenschaft hat, bestrahlte Enzyme teilweise zu reaktivieren. Eine Zunahme der Überlebensrate von Mäusen (Chapman et al. 1950), von *Escherichia coli* (Burnett et al. 1951) und von Propionbakterien (Forssberg 1950) nach Röntgenbestrahlung lieferte den Beweis, daß auch im lebenden Gewebe ein gewisser Strahlenschutz erzielt werden kann. Mikaelsen (1952) gelang es nachzuweisen, daß auch in Pflanzen chemische Substanzen schützend wirken können. Er zeigte, daß in Wurzeln von *Tradescantia* die Chromosomenaberrationsfrequenz bis zu 50% gesenkt werden kann, wenn den Wurzeln vor Gammastrahlung Glutathion zugesetzt wird. Forssberg und Nybom (1953) konnten durch Zugabe von Cystein vor Röntgenbestrahlung ein besseres Wurzelwachstum und verringerte Chromosomenschädigung bei *Allium cepa* erzielen; bei Alphabestrahlung war kein Cysteineffekt zu bemerken. Mikaelsen (1954, 1955a,b) fand bei weiteren Untersuchungen mit *Tradescantia* verminderte Chromosomenschäden, wenn Cystein, Thiourea, Natriumthiosulfat oder Natriumcyanid vor der Bestrahlung zugefügt wurden. Ähnliche Ergebnisse brachten Zugaben von Natriumhydrosulfit, 2,3-dimercaptopropanol, Natriumhydrosulfat, Cystein oder Cystin zu Wurzeln von *Allium cepa* (Riley 1955, 1957) und *Vicia faba* (Wolff 1954) vor Röntgenbestrahlung. Cystein steigert die Überlebensrate von *Escherichia coli*, senkt aber gleichzeitig die Rückmutationshäufigkeit (Künkel et al. 1961); sein Wirkungsgrad hängt von der Temperatur, vom pH, von der Konzentration und von der Zeit ab (Kohn und Gunter 1959). Dalen und Oftebro (1963) konnten durch Zugabe von Cystein und AET (5,2-Aminoäthylisothiuronium-Bromidhydrobromid) zu *Allium cepa* Wurzelspitzen vor Röntgenbestrahlung

die Chromosomenschäden um 53% beziehungsweise 35% senken. Cystamin erwies sich als unwirksam. Mikaelson und Pedersen (1968) untersuchten die Schutzwirkung von Cystein, Cysteamin und Cystamin in bestimmten Mitosestadien von Wurzelzellen der Zwiebel. Sie fanden, daß Cystein in allen Mitosephasen die strahleninduzierten Chromosomenbrüche verringerte, während Cysteamin und Cystamin nur während der frühen Interphase effektiv waren. Über den Einfluß von Cysteamin auf die Mutationsrate bei Gerste und Reis (Moës 1960, Horvat 1961, beide zitiert in Bacq 1965) liegen Berichte vor, die nach Bacq (1965) nicht als überzeugend gewertet werden können.

1.5.5 Der Einfluß der Temperatur auf Strahlenbehandlungen.

Temperturbehandlungen vor, während oder nach Röntgen- und Gammabestrahlungen können die Strahlenwirkung beeinflussen. Niedere Temperaturen (-80°C bis -190°C) reduzieren einen größeren Teil des Strahlenschadens (Nilan 1954, Nybom et al. 1953). Subletale Hitzebehandlungen zeigen auch einen Einfluß auf die Wirkung von Röntgenstrahlen. Eine Wärmebehandlung vor der Bestrahlung brachte eine Schutzwirkung (Smith und Caldecott 1948), wobei besseres Keimlingswachstum und verringerte Chromosomenschäden erzielt werden konnten.

Eine Hitzebehandlung vor der Bestrahlung trockener Gerstensamen (4% Feuchtigkeit) senkte den Lagerschaden (Bergbusch und Caldecott 1963). Einfrieren von Samen nach Bestrahlung bei -80°C verhindert den Schadensverlauf, nach Erwärmung der Samen auf 23°C geht die Schädigung jedoch normal weiter (Kozak et al. 1957).

1.5.6 Lagerung bestrahlter Samen.

Durch Lagerung röntgen- oder gammabestrahlter Samen können Strahleneinflüsse wesentlich modifiziert werden. Eine Lagerung in Luft bei Zimmertemperatur von einer bis zu neun Wochen erhöhte die Keimlingsschädigung und die Chromosomenaberrationsfrequenz bei Gerste (Gustafsson 1938, Adams et al. 1955), bei *Allium cepa* (Sax 1941) und bei Agropyron-Weizenhybriden (Osborne 1954). Durch Lagerung in Sauerstoff konnte die schädigende Wirkung gesteigert, durch Stickstoff

gesenkt werden (Adams et al. 1955). Wurden röntgenbestrahlte Samen ein oder mehrere Jahre gelagert, so konnte eine Zunahme in der Mutationsrate erzielt werden (Gustafsson 1947). Durch Lagerung von mindestens einer Woche änderte sich die Verteilungskurve der Höhen von Gerstenkeimlingen, sie wird zunehmend asymmetrisch (Caldecott 1961). Wolff und Sicard (1961) fanden keinen Lagerungseinfluß bei Samen mit 16% Feuchtigkeit. Trockene Samen (4% Wasser) zeigten einen bedeutend stärkeren Lagereffekt als feuchte (13.5%) (Curtis et al. 1958). Bestrahlung mit schnellen Neutronen wurde durch Lagerung nicht beeinflusst. Bei Bestrahlung und Lagerung im Vakuum mit anschließender Stickstoffhydrierung ist kein Lagereinfluß feststellbar, hydriert man in Sauerstoff, so ist mit zunehmender Lagerdauer ein abnehmender Sauerstoffeffekt zu erkennen (Conger et al. 1966).

1.6 Ziel und Zweck der eigenen Untersuchungen.

Aus der Literaturübersicht ist zu erkennen, daß in der Strahlenbiologie bereits mehrere Faktoren bekannt sind, die auf den Strahleneinfluß in irgendeiner Weise modifizierend wirken können. In den meisten Fällen wurde der Einfluß dieser Faktoren an einfachen strahlenbiologischen Kriterien, wie Keimlingswachstum und Chromosomenschäden, getestet. Untersuchungen über ihre Bedeutung für die Mutationsauslösung wurden oft wegen des großen Arbeits- und Zeitaufwandes vernachlässigt. Das Ziel meiner Untersuchungen war deshalb, den Einfluß sowohl von schnellen Neutronen als auch von Gammastrahlen auf die Mutationsrate bei Gerste zu studieren. Darüber hinaus sollte bei diesen beiden Strahlen verschiedener Ionisationsdichte die Wirkung von drei Faktoren mit Hilfe des Keimlingstestes und der Chlorophyllmutationsanalyse ermittelt werden:

- a) Der Einfluß des Wassergehaltes sollte erforscht werden, da Samen oft unter sehr unterschiedlichen Bedingungen gelagert werden und ihr Feuchtigkeitsgehalt deshalb großen Schwankungen unterliegen kann.

b) Auch das Problem der Quellung von Samen schien von Interesse, da bei ihnen durch Regenfälle vor der Ernte oftmals auf natürliche Weise ihr Quellungszustand und damit auch ihr Verhalten gegenüber Bestrahlung verändert werden kann.

c) Schließlich sollte der Einfluß der Aminosäure Cystein auf die durch Gammastrahlen und schnelle Neutronen induzierte Mutationsrate getestet werden. Cystein war deshalb von so großem Interesse, weil sein Schutzeffekt auf röntgen- und gammastrahlen-induzierte Chromosomenbrüche schon lange bewiesen war. Es sollte daher untersucht werden, ob Zusammenhänge zwischen der Verminderung der Chromosomenbruchfrequenz und der diplontischen Selektion einerseits, sowie der Chlorophyllmutationsrate und der Fertilität andererseits bestehen.

Bei einigen interessant scheinenden Experimenten galt es, im Feldversuch Selektionen auf Mutationen von pflanzenzüchterischem Interesse durchzuführen. Einige bereits 1967 selektierte Mutanten sollten durch Beobachtungen und im Mikroversuch auf ihre genetischen Veränderungen im Vergleich zur Ausgangssorte getestet werden.

II. MATERIAL UND METHODIK

2.1 Experimentiermaterial.

Alle Untersuchungen wurden mit Gerste (*Hordeum vulgare* L.) durchgeführt. Es wurde die Sorte Union, eine zweizeilige Nutansgerste, verwendet.

2.2 Strahlenquellen.

Die Bestrahlung der Samen für die Chlorophyllmutationsexperimente erfolgte im März 1969. In einer Reihe von Vorversuchen von 1968 bis 1969 wurden die Bestrahlungsdosen für die Feldexperimente mit Hilfe des Keimlingstests ermittelt.

Die Gammabestrahlung von trockenen Samen wurde mit der Cobalt-60-Gammaquelle der Internationalen Atomenergieorganisation bei einer Dosisrate von ca. 9000 rad pro Minute durchgeführt. Gequollene Samen wurden mit der Cobalt-60-Gammaquelle der Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie (SGAE) bei einer Dosisrate von ca. 580 rad pro Minute bestrahlt.

Die Behandlung mit schnellen Neutronen fand im Reaktor der SGAE statt. Es wurde die speziell für Bestrahlungen biologischen Materials konstruierte Einrichtung, SNIF (standard neutron irradiation facility) genannt, verwendet. (Eine genaue technische Beschreibung ist im Technical Reports, Series no. 76, IAEA, Wien 1967, enthalten.) Die Bestrahlung erfolgte in der Position E 6, 62.5 cm vom Reaktorcore entfernt, bei einer Reaktorleistung von 5 Megawatt und einer Dosisrate von ca. 90-100 rad pro Minute. In dieser Position betrug die Kontamination mit Gammastrahlen ca. 450 rad durch den Transport des Bestrahlungsbehälters im Reaktor und ca. 23 rad pro Minute während der Bestrahlung. Die Kontamination mit thermischen Neutronen war so gering, daß sie vernachlässigt werden konnte.

2.3 Methodik.

2.3.1 Einstellung und Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Samen.

Zur Einstellung und Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Samen wurden sie in Exsikkatoren über verschiedenen Chemikalien mit genau bekanntem Wasserdampfdruck gelagert.

Medium	erzielter Wassergehalt	Lagerdauer
Konzentrierte H_2SO_4	4.5 %	3 Wochen
90%ige Glycerinlösung	8.2 %	3 Wochen
60%ige Glycerinlösung	13.1 %	3 Wochen
gesättigte NaCl-Lösung	15.1 %	3 Wochen
20%ige Glycerinlösung	18.3 %	2 Wochen

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte durch Trocknen ganzer Samen im Trockenschrank bei 105°C, 24 Stunden.

$$\% \text{ Feuchtigkeit} = \frac{FG - TG}{FG} \times 100$$

FG = Gewicht der Samen vor dem Trocknen

TG = Gewicht der Samen nach dem Trocknen

2.3.2 Vorquellen und Rücktrocknen der Samen.

Die Vorquellung wurde in demineralisiertem Wasser in einem thermostatisch geregelten Wasserbad bei 20° ± 0.5°C gemacht. In den Cysteinexperimenten wurde eine 0.1 m Lösung benutzt. Das von Merck, Darmstadt, in Hydrochloridform bezogene Cystein mußte vor jeder Behandlung mit Natronlauge auf pH 5.5 abgepuffert werden.

Nach der Quellung wurden die Samen entweder sofort bestrahlt, diese Experimente werden als "nasse Behandlungen" bezeichnet, oder sie wurden sorgfältig abgetrocknet und auf Filterpapier unter Laborbedingungen (23 ± 1°C) ausgelegt. Untersuchungen ergaben, daß Samen unter diesen Bedingungen nach 24 Stunden wieder annähernd ihren ursprünglichen Wassergehalt erreicht hatten. Sie wurden dann in Exsikkatoren über 60%iger Glycerinlösung zwei Wochen gelagert, um einen Wassergehalt von ca. 13% zu erreichen und anschließend bestrahlt. Diese Experimente werden als "rückgetrocknete Behandlungen" bezeichnet.

2.3.3 Hydrieren der Samen.

Zur Feststellung des Sauerstoffeinflusses wurden die Samen nach der Bestrahlung 4 Stunden bei 20°C in sauerstoff- oder stickstoff-gesättigtem Wasser hydriert. Die Sättigung wurde durch Einleiten von technischem Sauerstoff bzw. Stickstoff in mit 2 l demineralisiertem Wasser gefüllte Bechergläser 12 Stunden vor Beginn der Hydrierung erzielt.

2.4 Auswertung der Experimente.

2.4.1 Der Keimlingstest.

Die von Konzak et al. (1967) beschriebene Filtersandwichmethode wurde verwendet. Bei dieser Technik wurden jeweils 10 Samen

mit den Embryonen nach unten zwischen zwei nasse Filterpapiere gelegt. Insgesamt wurden pro Behandlung vier Wiederholungen angelegt. Diese sogenannten Filtersandwiches wurden auf vertikale Plastikröhrchen übertragen und in mit demineralisiertem Wasser gefüllte Plastikschalen gestellt. Die Plastikschalen kamen anschließend in eine belüftete Wachstumskammer, in der eine Temperatur von $22 \pm 1^\circ\text{C}$ und eine relative Luftfeuchtigkeit von 90% herrschten. Beleuchtet wurde 20 Stunden mit 10.000 Lux. Wenn nach 5 Tagen Wachstum die unbehandelte Kontrolle eine Blattlänge von ca. 12 cm erreicht hatte, wurde der Versuch ausgewertet. Es wurde das prozentuale Wachstum der behandelten Samen im Vergleich zur Kontrolle ermittelt.

$$\% \text{ Wachstum} = \frac{H_B}{H_K} \times 100$$

H_B = durchschnittliche Blattlänge der behandelten Samen

H_K = durchschnittliche Blattlänge der unbehandelten Kontrolle

2.4.2 Die erste Mutationsgeneration (M_1)

Sofort nach der Bestrahlung wurden 500 Gerstensamen pro Experiment im Versuchsgarten ausgelegt. Der Versuchsgarten war durch einen Zaun und ein Nylonnetz weitgehend gegen tierische Schädlinge geschützt. Die Wasserzufuhr wurde mit einer Bewässerungsanlage reguliert. Die Aussaat erfolgte in 3 m lange Beete zu je 5 Reihen mit einem Abstand zwischen den Reihen von 12.5 cm, und in den Reihen von ca. 3 cm. Bei der Ernte wurde jede Pflanze einzeln mit den Wurzeln ausgerissen.

2.4.3 Die zweite Mutationsgeneration (M_2)

2.4.3.1 Der Chlorophyllmutationstest.

Bei Bestrahlung von diploiden Gerstensamen spalten die durchwegs rezessiven Chlorophyllmutanten in der zweiten Mutationsgeneration heraus, wobei sie dann quantitativ erfaßt werden können.

Nach der Ernte der M_1 wurden pro Pflanze drei Ähren abgeschnitten, insgesamt 500 Ähren jeder Behandlung. Diese Ähren wurden im Glashauss in Vermikulith ausgelegt. Nach einem Wachstum von ca. 12 Tagen bei einer Temperatur von $20 \pm 1^\circ\text{C}$ wurden die Keimlinge auf

Chlorophyllmutationen untersucht, die Analyse erfolgte nach dem Klassifikationsschema von Gustafsson (1940). In Abbildung 1 sind einige der häufig auftretenden Chlorophyllmutationen dargestellt.

Bestimmt wurden folgende Kriterien:

- a) Die Anzahl an Mutationen je 100 M_1 -Ähren.
- b) Die Anzahl an Mutanten je 1000 M_2 -Keimlinge.
- c) Die durchschnittliche Anzahl keimfähiger Samen je Ähre.
Es wurde die Zahl der gekeimten Samen von 120 Ähren jeder Behandlung bestimmt, und zwar mit ihrem Mittelwert und ihrem Fehler des Mittelwertes.
- d) Die Fertilität als durchschnittliche Anzahl Samen pro Ähre im Verhältnis zur Kontrolle.

$$\% \text{ Fertilität} = \frac{S_B}{S_K} \times 100$$

S_B = durchschnittliche Anzahl gekeimter Samen pro Ähre der Behandlung.

S_K = durchschnittliche Anzahl gekeimter Samen pro Ähre der Kontrolle.

- e) Das durchschnittliche Aufspaltungsverhältnis aus allen aufspaltenden Ähren mit Mittelwert und Fehler des Mittelwertes.

$$\text{Durchschnittliches Aufspaltungsverhältnis} = \frac{\sum \frac{M}{K}}{x}$$

M = Anzahl Mutanten pro Ähre

K = Anzahl Keimlinge (Mutanten und Nichtmutanten) pro Ähre

x = Zahl der aufspaltenden Ähren

2.4.3.2 Selektion auf Makromutationen.

Ein Teil der bereits 1968 mit schnellen Neutronen, Gammastrahlen und chemischen Mutagenen behandelten Samen wurde 1969 in der zweiten Mutationsgeneration auf dem Feld auf Makromutationen untersucht. Der Anbau erfolgte einzelährenweise in 1 m langen Reihen mit einem Abstand zwischen den Reihen von 12.5 cm und in den Reihen von ca. 3 cm.

Albina



Viridis



Viridoalbina



Tigrina



Xantha



Abb.1: Einige der am häufigsten vorkommenden Chlorophyllmutationen (Einteilung nach Gustafsson 1940)

Die wichtigsten Selektionsmerkmale waren: frühes Ährenschieben, Veränderungen der Ährenform, der Ähren- und Strohlänge, Standfestigkeit, Veränderungen des Wachsüberzuges an den Blättern und Halmen (die sogenannten Eceriferum-Mutanten; vgl. Lundquist und von Wettstein 1962) und Erectoides-Mutationen.

2.4.4 Die dritte (M_3) und vierte (M_4) Mutationsgeneration.

Bereits aus Vorexperimenten (1967 und 1968) selektierte Mutanten wurden in der M_3 und der M_4 auf ihr genetisches Verhalten geprüft. Das M_3 -Material wurde einzelährenweise wie das M_2 -Material ausgelegt, um Aufspaltungen der verschiedenen Mutanten beobachten zu können.

Für zwei 1967 selektierte Erectoides-Mutanten waren in der M_4 bereits genug Samen vorhanden, um einen Mikroertragsversuch in vierfacher Wiederholung durchführen zu können. Die Parzellengröße betrug 2 m^2 , die Saatstärke 27 g je Parzelle. Mit einer Beregnungsanlage konnte der Wasserhaushalt kontrolliert werden. Da die eigentlichen Düngungsertragsversuche erst in diesem Jahre ausgeführt werden, wurde nur Grunddüngung verabreicht, um ein Lagerrisiko zu vermeiden.

Das übrigen M_4 -Material war für Ertragsversuche zu klein. In einem Vorversuch wurden deshalb die verschiedenen Mutanten unter kontrollierten Bedingungen auf ihr genetisches Verhalten wie frühes Ährenschieben, Standfestigkeit und Ährenmutationen geprüft. Je Mutante wurden 2 x 25 Samen in 1.25 m langen Reihen in vierfacher Wiederholung, insgesamt 200 Samen, mit der Hand ausgelegt. Der Abstand zwischen den Reihen (15 cm), in der Reihe (5 cm) sowie die Saattiefe (3 cm) konnten durch ein mit Plastikzähnen besetztes Brett konstant gehalten werden.

III. ERGEBNISSE

3.1 Der Einfluß des Wassergehaltes der Samen und des Sauerstoffes auf das Keimblattwachstum und die Chlorophyllmutationsrate nach Behandlung mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen.

3.1.1 Der Einfluß auf das Keimblattwachstum.

Uniongerstensamen mit einem Wassergehalt von 4.5%, 8%, 13%, 16% und 18% wurden mit verschiedenen Dosen von Gammastrahlen und schnellen Neutronen behandelt und ihr Keimblattwachstum bestimmt (Abb. 2, Tab. XI, XII). Aus Abb. 2 ist deutlich zu ersehen, daß der Wassergehalt auf die Neutronenbestrahlung keinen Einfluß ausübt. Von 4.5% bis 18% Feuchtigkeit verläuft das Keimblattwachstum ziemlich parallel zur unbehandelten Kontrolle. Die gammabestrahlten Samen weisen dagegen große Schwankungen im Blattlängenwachstum auf. Der geringste Strahleneinfluß liegt bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 13-16%, von 16-18% ist eine schwache Zunahme zu beobachten. Verringert sich der Wassergehalt der Samen unter 13%, so tritt eine drastische Abnahme des Keimblattwachstums auf. Während nach Behandlung mit 15 krad das Wachstum der feuchten Samen (13% H₂O) 95% beträgt, geht es bei trockenen (8%) auf 53% und bei sehr trockenen (4.5%) Samen auf 43% zurück.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurden zwei Feuchtigkeitsgehalte, nämlich 4.5% und 13%, für weitere Untersuchungen ausgewählt.

Samen mit 4.5% bzw. 13% Wasser wurden mit verschiedenen Dosen an schnellen Neutronen bestrahlt. Nach der Bestrahlung wurden die Samen mit 13% Feuchtigkeit in demineralisiertem, Samen mit 4.5% in stickstoff- oder sauerstoffgesättigtem Wasser hydriert. Die Ergebnisse in Abb. 3 und Tab. XIII zeigen, daß Samen mit 13% Wasser ein geringfügig verbessertes Keimblattwachstum aufweisen. Ein wesentlicher Einfluß der Hydrierung in stickstoff- oder sauerstoffgesättigtem Wasser auf das Wachstum ist nicht zu bemerken.

Ganz anders reagieren gammabestrahlte Samen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 4.5% bzw. 13%. Feuchte Samen (13% H₂O) zeigen bereits eine stärkere Wachstumsreduktion, wenn sie in sauerstoff- statt in stickstoffgesättigtem Wasser hydriert werden (Abb. 4, Tab. XIV). Bedeutend stärker tritt diese durch Sauerstoff verstärkte Wachstumsabnahme bei trockenen (4.5% H₂O) Samen in Erscheinung. Nach 15 krad Gammabestrahlung reduziert sich das Keimblattwachstum von 95% bei feuchten (13% H₂O) Samen auf 33% bei trockenen (4.5% H₂O) Samen, wenn sie in sauerstoffgesättigtem Wasser hydriert werden. Erfolgt die

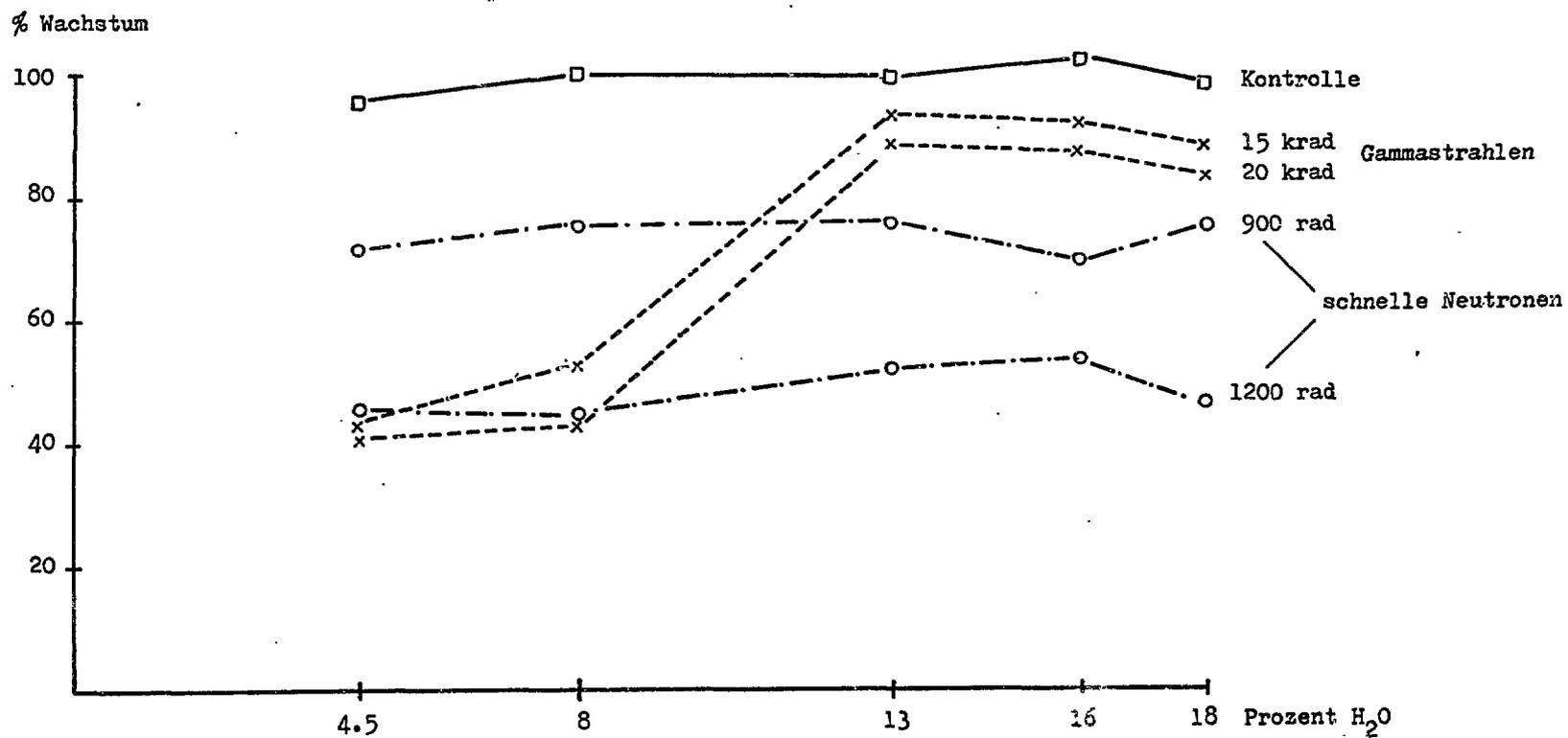


Abb. 2 : Der Einfluß des Wassergehaltes auf das Keimblattwachstum unbestrahlter (□—□) neutronen- (o—o) oder gammabestrahler (x—x) Gerstensamen.

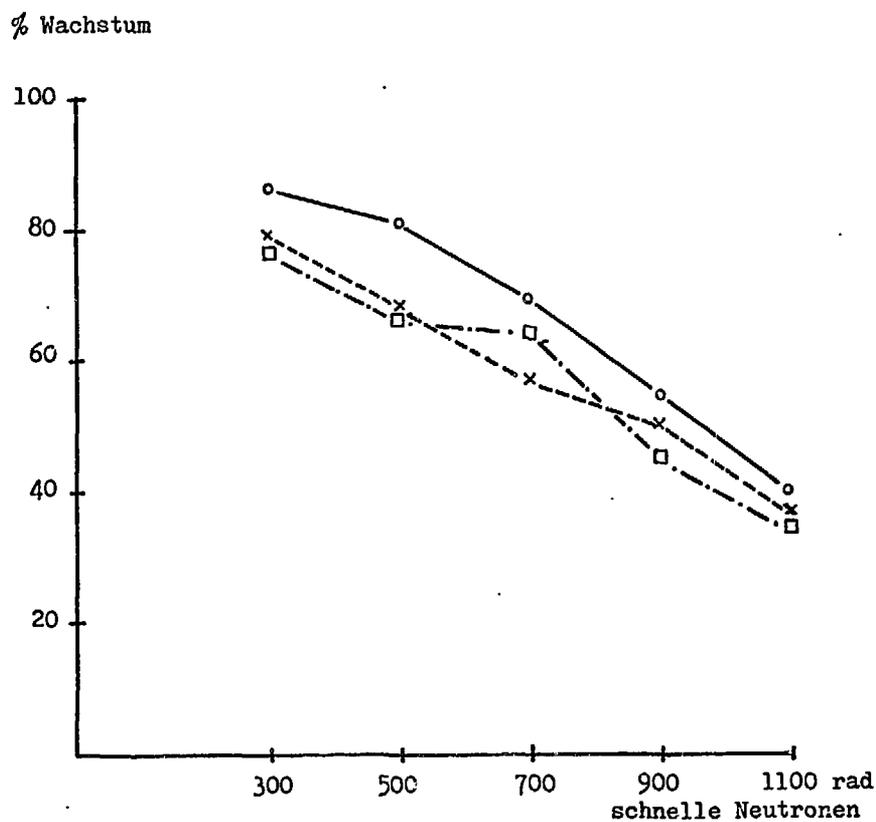


Abb. 3 : Der Einfluß verschiedener Hydrierbedingungen auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Samen mit:	hydriert in:
○ ——— ○ 13% H ₂ O	demineralisiertem H ₂ O
□ - - - - □ 4.5% H ₂ O	O ₂ - gesättigtem H ₂ O
× - - - - × 4.5% H ₂ O	N ₂ - gesättigtem H ₂ O

Hydrierung in stickstoffgesättigtem Wasser, so sind bedeutend geringere Unterschiede im Keimblattwachstum von Samen mit 13% bzw. 4.5% H₂O zu bemerken.

3.1.2 Der Einfluß auf die Chlorophyllmutationsrate und die Fertilität.

Für diese Untersuchungen wurden auf Grund der Vorexperimente mit dem Keimlingstest Samen mit einem Wassergehalt von 4.5% bzw. 13% verwendet.

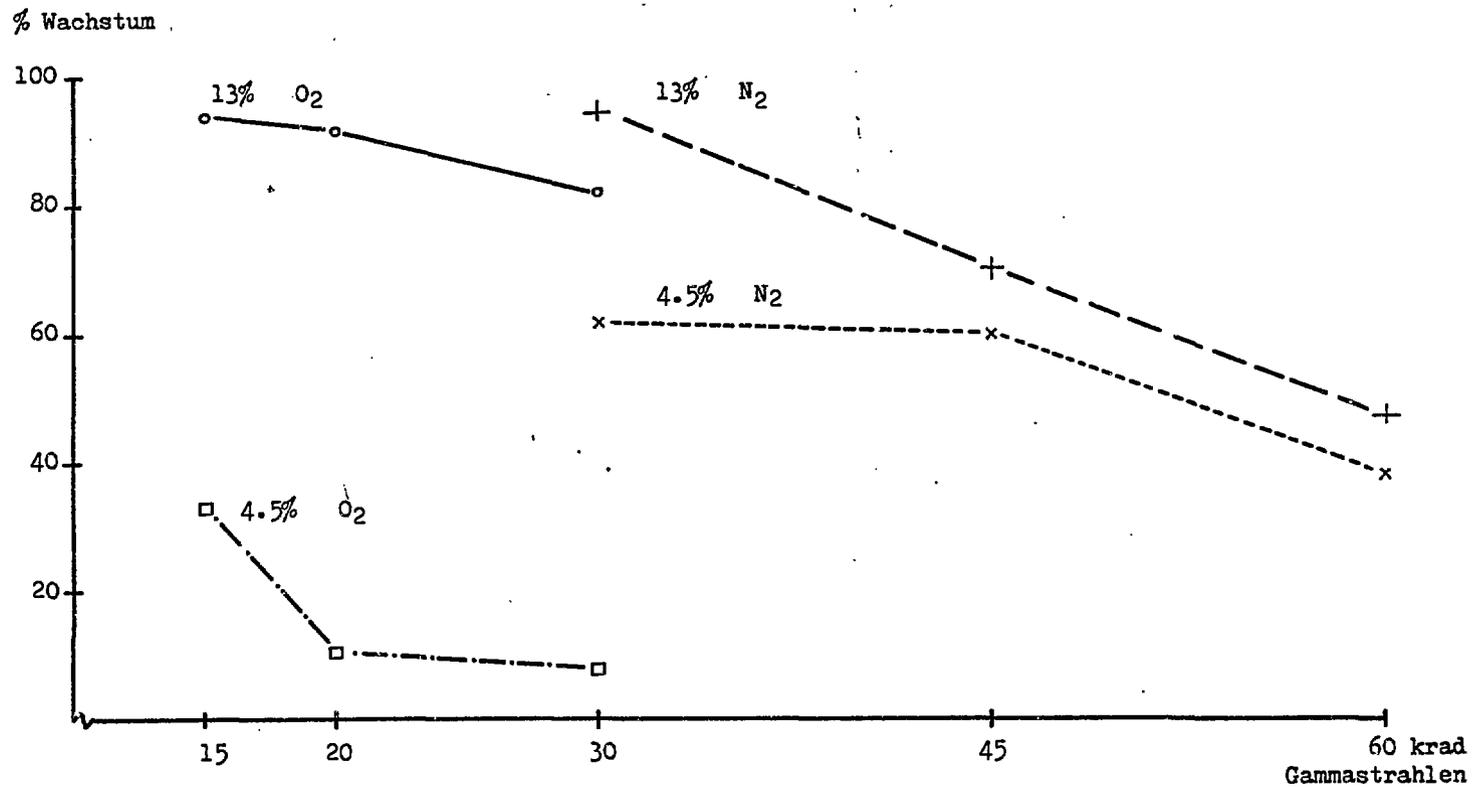


Abb. 4 : Der Einfluß verschiedener Hydrirbedingungen auf das Keimblattwachstum gammabestrahelter Gerstensamen.

○—○	Samen mit:	13% H ₂ O	hydriert in:	O ₂ - gesättigtem H ₂ O
+---+	13% H ₂ O			N ₂ - gesättigtem H ₂ O
□-.-□	4.5% H ₂ O			O ₂ - gesättigtem H ₂ O
×-----×	4.5% H ₂ O			N ₂ - gesättigtem H ₂ O

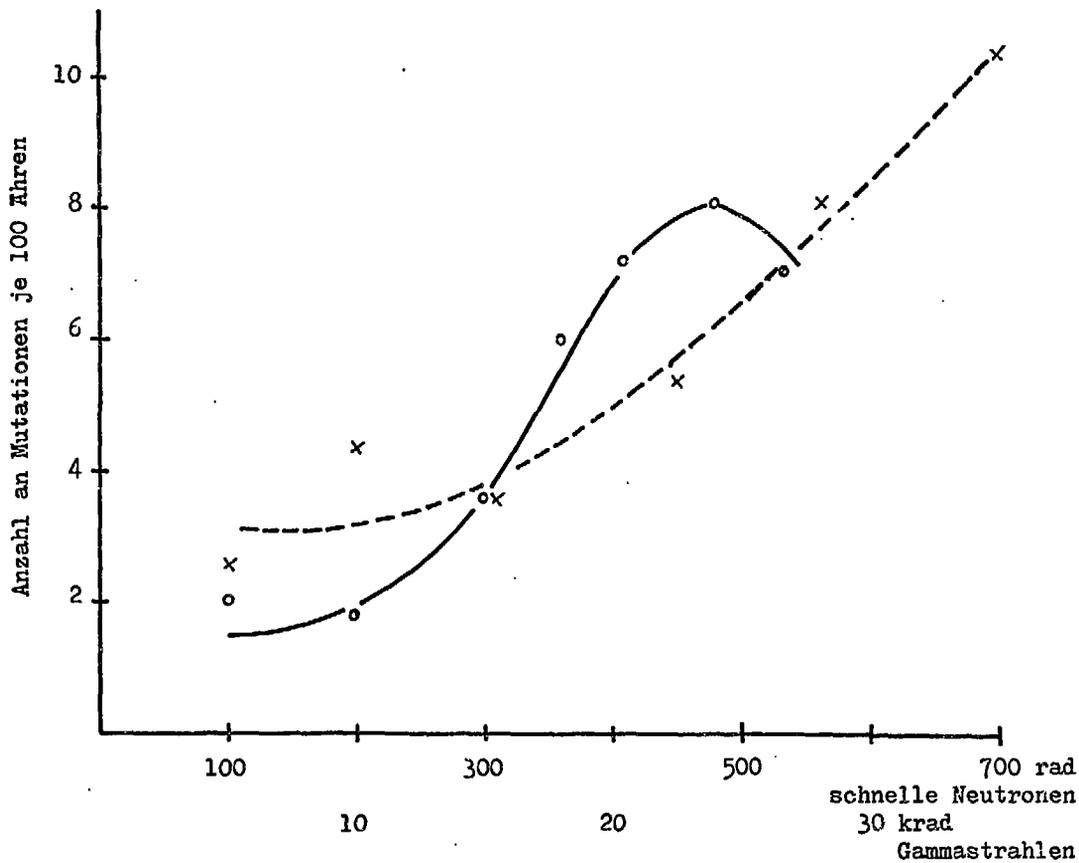


Abb. 5 : Der Einfluß verschiedener Dosen von schnellen Neutronen (x-----x) oder Gammastrahlen (o-----o) auf die Anzahl an Chlorophyllmutationen je 100 M₁-Ähren (Samen mit 13% H₂O).

In den Tab. XV, XVI und den Abb. 5-8 ist die Wirkung verschiedener Dosen von schnellen Neutronen und Gammastrahlen auf Samen mit 13% Feuchtigkeit dargestellt. In Abb. 5 ist zu sehen, daß die Anzahl an Chlorophyllmutationen je 100 M₁-Ähren mit steigenden Dosen zunimmt. Das Mutationsmaximum wird bei gammabestrahlten Samen mit ca. 24 krad erreicht, eine weitere Erhöhung der Dosis führt zu einer Abnahme der Mutationsrate. Die Chlorophyllmutationsfrequenz neutronenbestrahlter Samen ist höher als die gammabestrahlter; ihr Maximum ist bei der höchsten verwendeten Dosis (700 rad) noch nicht erreicht. Vergleiche der Anzahl an M₂-Mutanten je 1000 M₂-Keimlinge (Abb. 6) zeigen noch

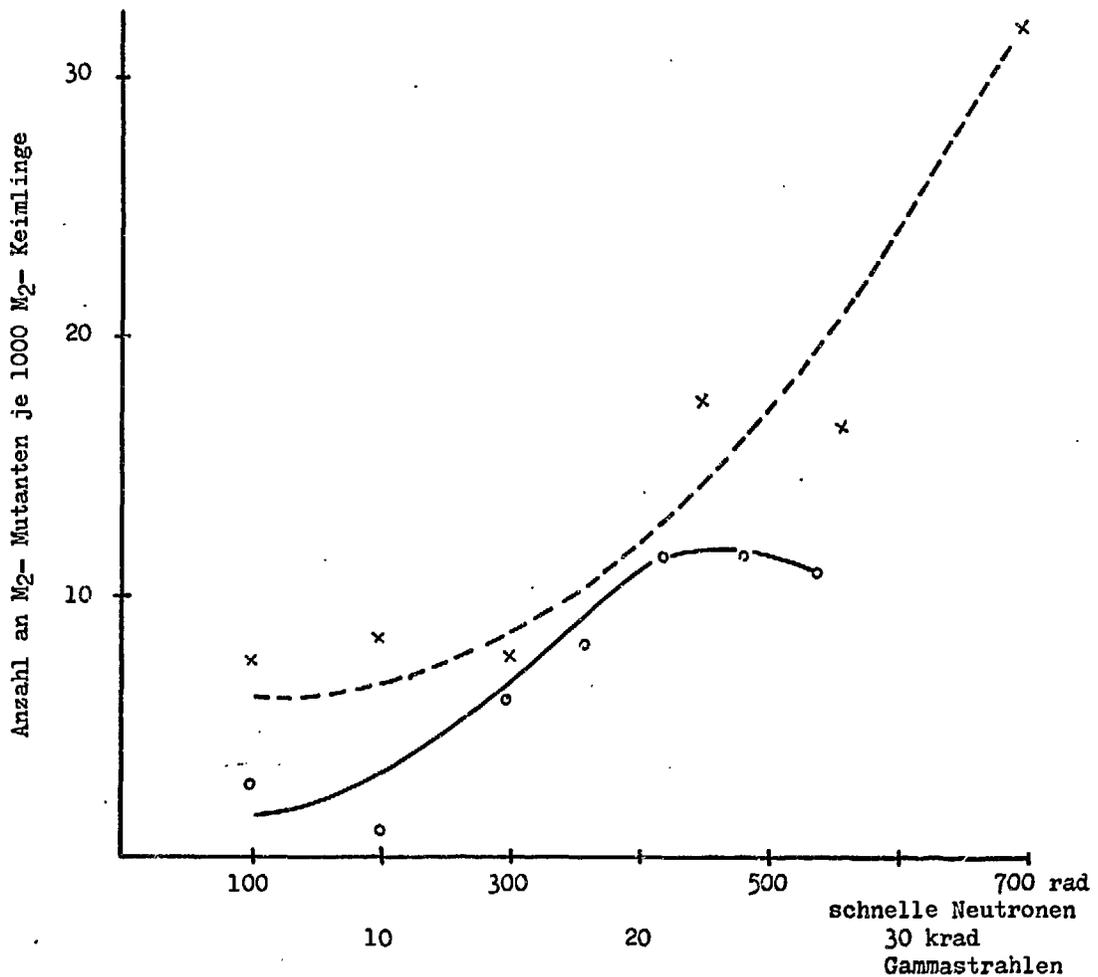


Abb.6 : Der Einfluß verschiedener Dosen von schnellen Neutronen (x-----x) oder Gammastrahlen (o-----o) auf die Anzahl an M₂-Mutanten je 1000 M₂-Keimlinge (Samen mit 13% H₂O).

deutlichere Unterschiede der beiden Strahlenarten. Während bei gamma-bestrahlten Samen das Maximum mit 12.0 M₂-Chlorophyllmutanten je 1000 M₂-Keimlinge erreicht ist, steigert es sich bei neutronenbehandelten auf ca. 32. Aus Abb. 7 ist zu sehen, daß auch große Differenzen in der Fertilität auftreten. Neutronenbehandelte Samen reagieren bereits auf kleine Dosen mit einer sehr hohen Sterilität, die mit steigenden Dosen noch verstärkt wird. Die Behandlungen mit Gammastrahlen lassen eine relativ geringe Sterilität erkennen. Das durchschnittliche Aufspaltungsverhältnis (Abb. 8) liegt bei neutronenbehandelten Samen deutlich höher als bei gammabestrahlten.

% Fertilität

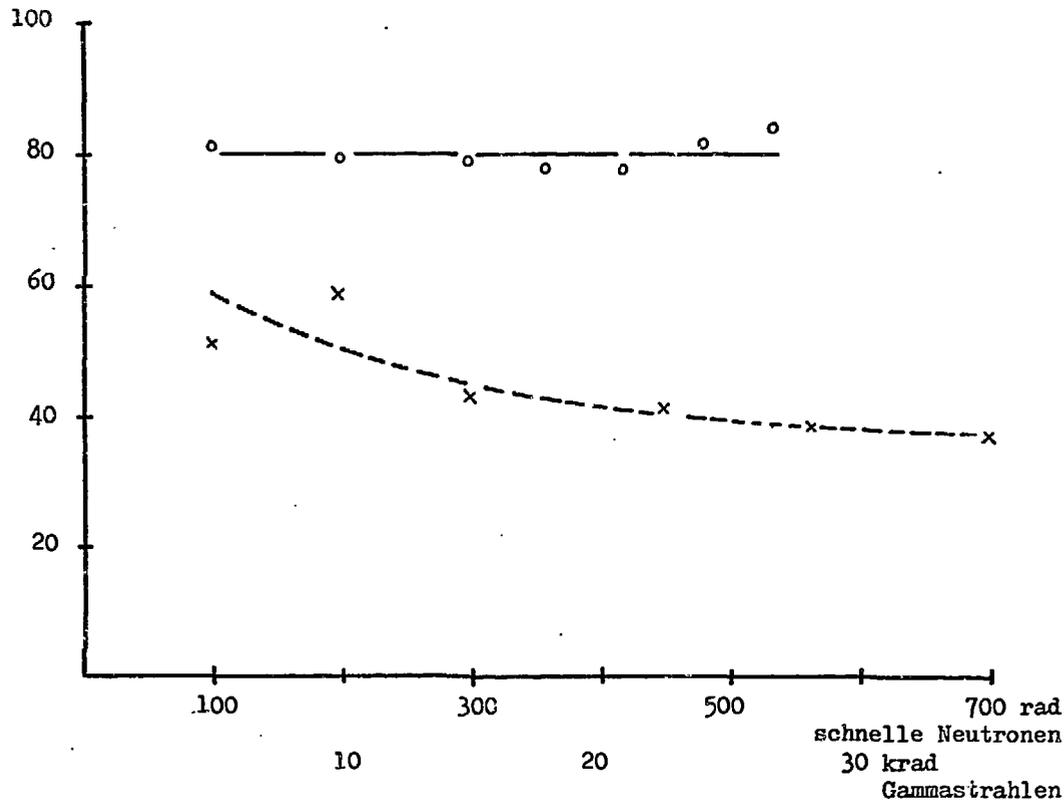


Abb. 7 : Der Einfluß verschiedener Dosen von schnellen Neutronen (x-----x) oder Gammastrahlen (o-----o) auf die Fertilität von Samen mit 13% H₂O.

Samen mit 4.5% Feuchtigkeit wurden mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen behandelt und anschließend 4 Stunden in sauerstoff- oder stickstoffgesättigtem Wasser hydriert. In Abb. 9 und Tab. XVII ist der Einfluß dieser unterschiedlichen Hydrierbehandlungen auf die Anzahl an Chlorophyllmutationen je 100 M₁-Ähren dargestellt. Experimente aus zwei Jahren wurden zusammengezogen. Aus Abb. 9 ist ersichtlich, daß durch Hydrierung neutronenbestrahlter Samen unter Sauerstoff- oder Stickstoffbedingungen keine wesentlichen Unterschiede in der Chlorophyllmutationsfrequenz auftreten. Auch die Fertilität und die Anzahl an M₂-Mutanten je 1000 M₂-Keimlinge (Tab. XVII) stimmen bei beiden Hydrierbedingungen ziemlich überein. Unterschiede zeichnen sich jedoch bei Vergleichen zwischen trockenen (4.5% H₂O) und feuchten (13%) neutronenbestrahlten Samen in der Mutationsfrequenz ab (Tab. II). Bei vergleichbaren Dosen scheinen trockene Samen durchwegs höhere Mutationsfrequenzen zu besitzen als feuchte.

durchschnittliches Aufspaltungsverhältnis

30
20
10

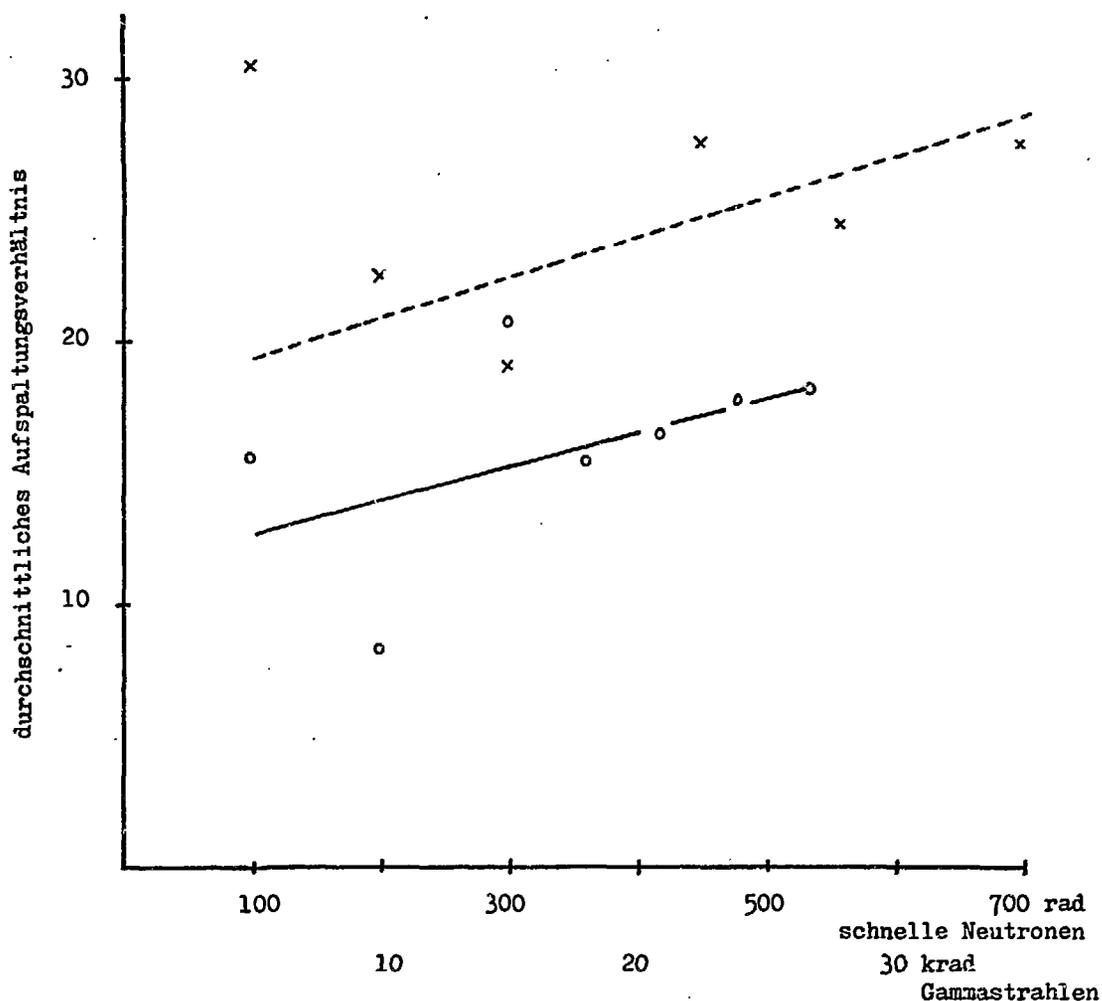


Abb. 8 : Der Einfluß verschiedener Dosen von schnellen Neutronen (x-----x) oder Gammastrahlen (o———o) auf das durchschnittliche Aufspaltungsverhältnis von Samen mit 13% H₂O.

Tab. II : Die Chlorophyllmutationsfrequenz trockener (4.5%) und feuchter (13% H₂O) Samen nach Behandlung mit schnellen Neutronen

% H ₂ O	Dosis	Mutationsfrequenz	
		je 100 M ₁ -Ähren	je 1000 M ₂ -Keimlinge
4.5	300 rad	9.2	15.3
	500 rad	14.0	30.2
13	300 rad	4.8	10.4
	500 rad	7.6	18.4

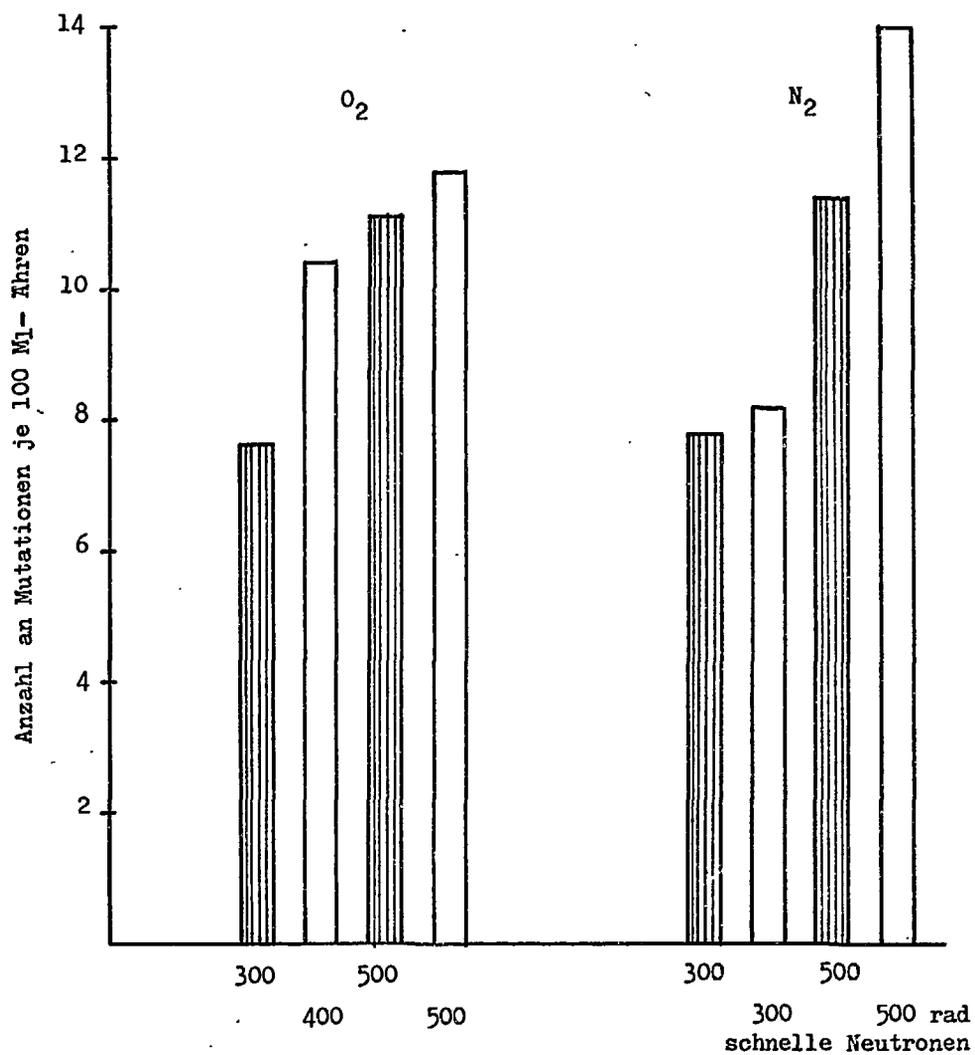


Abb. 9 : Der Einfluß verschiedener Hydrierbedingungen auf die Chlorophyllmutationsfrequenz neutronenbestrahlter Gerstensamen. Wassergehalt der Samen 4.5%. Hydrierung 4^h in O_2 - oder N_2 - gesättigtem H_2O .



Experiment
1968



Experiment
1969

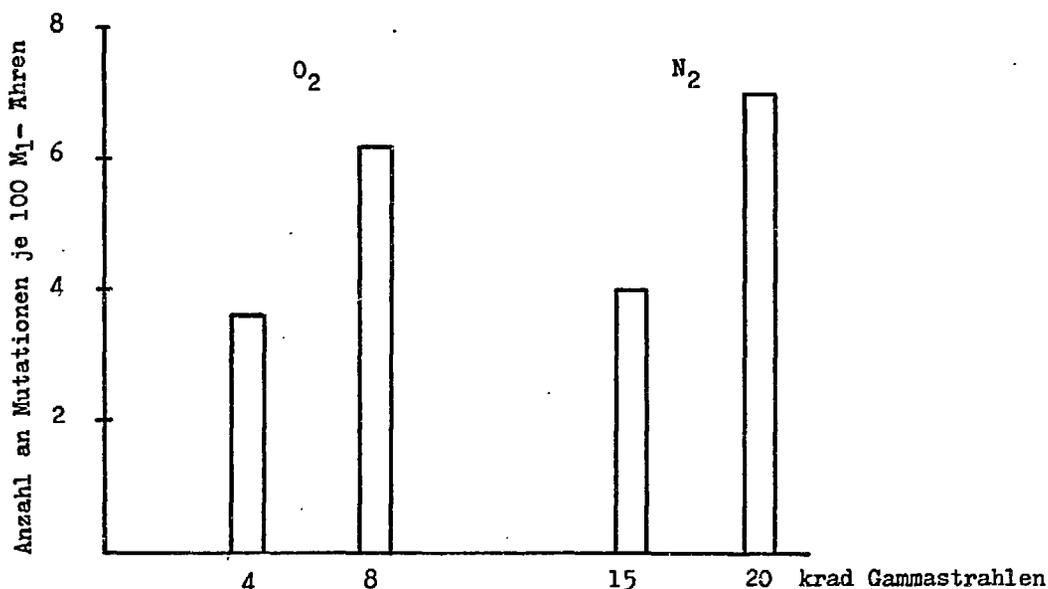


Abb. 10 : Der Einfluß verschiedener Hydrierbedingungen auf die Chlorophyllmutationsfrequenz gammabestrahelter Gerstensamen. Wassergehalt der Samen 4.5%. Hydrierung 4^h in O₂- oder N₂- gesättigtem H₂O.

Werden Samen mit 4.5% Feuchtigkeit nach Gammabestahlung in O₂- oder N₂-gesättigtem Wasser hydriert, so tritt ein klarer Sauerstoffeffekt auf (Abb. 10, Tab. XVIII). Aus Abb. 10 ist ersichtlich, daß mit 4 krad und 8 krad bestrahlte und in Sauerstoff hydrierte Samen dieselbe Mutationsrate erzielen wie stickstoffhydrierte Samen mit 15 krad und 20 krad. Die Fertilität und die Anzahl an M₂-Mutanten je 1000 M₂-Keimlinge werden durch Sauerstoff in ähnlicher Weise beeinflusst (Tab. XVIII).

3.2 Der Einfluß des Quellungszustandes von Gerstensamen auf Bestrahlungen mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen.

3.2.1 Nasse Behandlungen.

Gerstensamen wurden in 4^h-Intervallen von 0^h-24^h in demineralisiertem Wasser gequollen, mit verschiedenen Dosen an schnellen Neutronen und Gammastrahlen behandelt und ihr Keimblattwachstum bestimmt (Tab. XIX, XX). In Abb. 11 wurde für jede Quellzeit jene Dosis

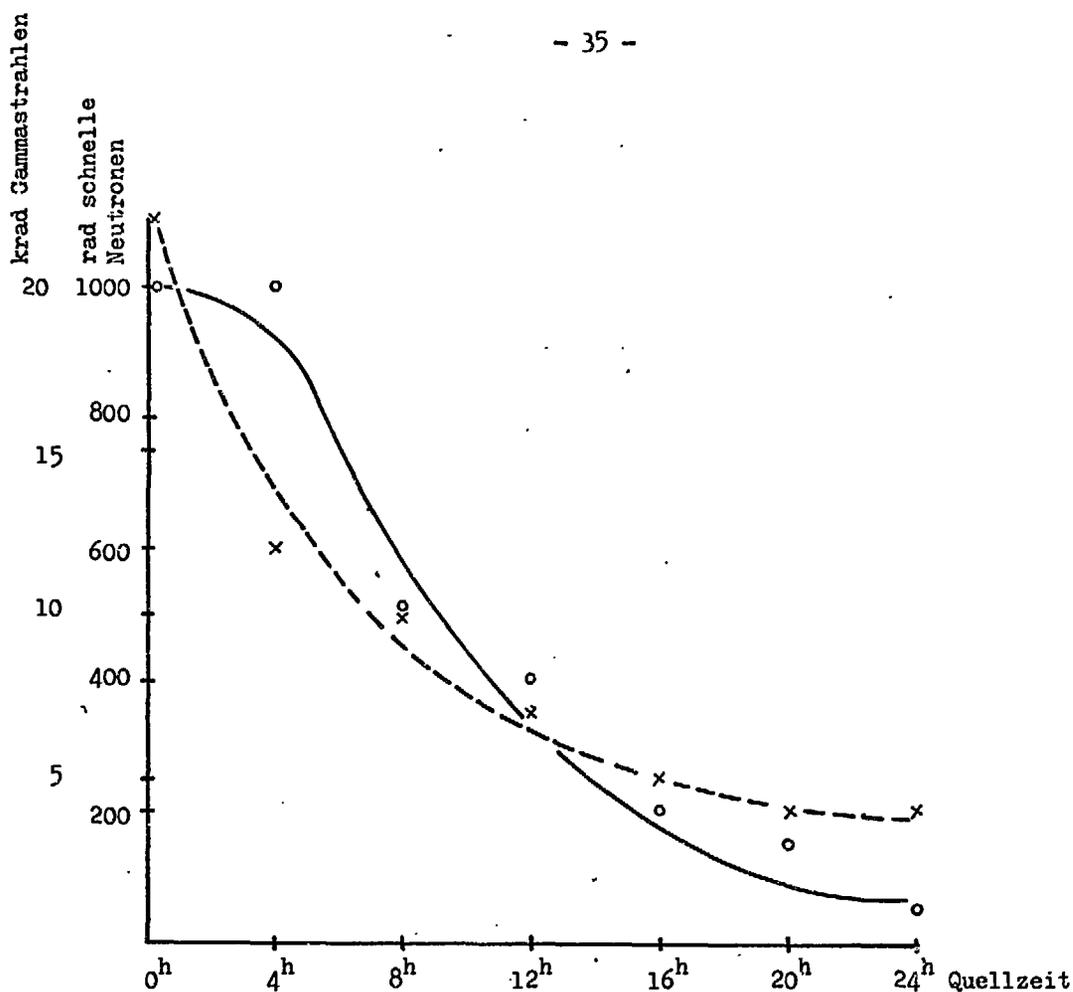


Abb. 11 : Der Einfluß der Quellzeit auf das Keimblattwachstum neutronen- (x-----x) oder gammabestrahler (o-----o) Gerstensamen. Als Kriterium dient das 30%ige Keimblattwachstum.

bestimmt, bei der die behandelten Samen nur 30% des Wachstums der unbehandelten Kontrolle erreichen. Bei ruhenden neutronenbestrahlten Samen liegt diese Dosis bei 1100 rad, sinkt aber nach 4^h Quellung auf fast die Hälfte, nach 12^h auf ein Drittel und nach 24^h auf ein Fünftel der ursprünglichen Dosis. Gammabestrahlte Samen zeigen innerhalb der ersten 4^h Quellung keinen Quellungseinfluß, steigt die Quellzeit auf 8^h, so sinkt die Dosis auf die Hälfte, von 8^h bis 24^h Quellung sogar auf ein Zwanzigstel der Ausgangsdosis. Aus Abb. 11 ist ersichtlich, daß gequollene gammabestrahlte Gerstensamen nach 24-stündiger Quellzeit eine 3- bis 4-fache Schädigung wie gequollene neutronenbestrahlte Samen aufweisen.

Für die Untersuchungen über den Einfluß des Quellungs-
zustandes auf die durch schnelle Neutronen und Gammastrahlen indu-
zierte Chlorophyllmutationsrate wurden drei Quellzeiten, nämlich
 4^h , 12^h und 24^h ausgewählt. Die Wirkung der Quellung auf die Anzahl
an Mutationen je 100 M_1 -Ähren neutronenbehandelter Samen wird in
Abb. 12 und Tab. XXI gezeigt. Aus Abb. 12 läßt sich erkennen, daß
gequollene Samen bei vergleichbaren Dosen eine deutliche Steigerung
in ihrer Mutationsfrequenz erreichen. Während ruhende Samen zur Er-
zielung des Mutationsmaximums 700 rad und mehr benötigen, wird es
nach 4-stündiger Quellung bereits mit 380 rad, nach 12-stündiger
mit ca. 280 rad und nach 24-stündiger mit ca. 163 rad erreicht. Die
maximale Mutationsfrequenz verringert sich von 10.8% bei 4-stündiger
Quellung auf 10.0% bei 12-stündiger und auf 7.8% bei 24-stündiger
Quellung. Auch bei gammabestrahlten Samen tritt durch den Einfluß
der Quellung eine erhöhte Chlorophyllmutationsfrequenz bei vergleich-
baren Dosen auf (Abb. 13, Tab. XXII). Die Dosis zur Erzielung des
Mutationsmaximums sinkt von 24 krad bei ruhenden Samen auf 11 krad
nach 4-stündiger Quellung, auf 2-3 krad nach 12-stündiger und auf
2.5 krad nach 24-stündiger Quellung. Das Mutationsmaximum verringert
sich von ca. 8.6% nach 4-stündiger Quellung auf 4-6% nach 12- und
24-stündiger Quellung.

Vergleiche zeigen, daß der Quellungszustand der Samen auf
Behandlungen mit Gammastrahlen einen stärkeren Einfluß ausübt als
auf Neutronenbestrahlungen (Tab. III). Aus Tab. III ist deutlich zu
sehen, daß bei gammabestrahlten Samen eine starke Reduktion der
höchstmöglichen Dosis (24 krad — 2.5 krad), der Fertilität und
der Anzahl ausgelegter Ähren eintritt. Bei neutronenbehandelten Samen
ist der Einfluß der Dosis geringer (715 rad — 163 rad), Fertilität
und Ährenzahl scheinen kaum beeinflußt.

3.2.2 Rückgetrocknete Behandlungen.

Gerstensamen wurden in 4^h -Intervallen von 0^h bis 24^h in
demineralisiertem Wasser gequollen, zurückgetrocknet und mit ver-
schiedenen Dosen an schnellen Neutronen oder Gammastrahlen behandelt.
Es zeigt sich, daß in beiden Strahlenarten eine Quellung bis zu 12^h

Tab. III : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf Bestrahlungen mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen.

Quellzeit	Dosis	Anz. Ähren	Fertilität	Mutationsrate		Aufspaltungungsverhältnis
				je 100 M ₁ -Ähren	je 1000 M ₂ -Keimlinge	
	rad			schnelle Neutronen		
0 ^h	561	500	38.5	8.0	16.5	24.7
	715	490	37.4	10.4	31.9	27.6
4 ^h	284	492	51.3	9.6	20.5	21.4
	380	500	42.3	10.8	28.3	28.5
12 ^h	236	500	50.8	7.8	16.3	20.5
	284	439	44.2	10.0	24.5	23.4
24 ^h	142	477	57.0	6.1	10.7	23.3
	163	494	57.5	7.8	15.1	22.8
	krad			Gammastrahlen		
0 ^h	21	500	78.4	7.4	12.0	16.9
	24	500	81.7	7.6	11.8	18.0
4 ^h	11	220	65.1	8.6	14.3	16.9
	14	92	54.2	7.6	13.4	17.3
12 ^h	2	474	77.0	4.0	7.8	18.7
	3	174	82.7	2.3	3.0	14.7
24 ^h	2.0	408	66.0	2.5	5.5	20.7
	2.5	272	69.4	6.6	12.1	18.9

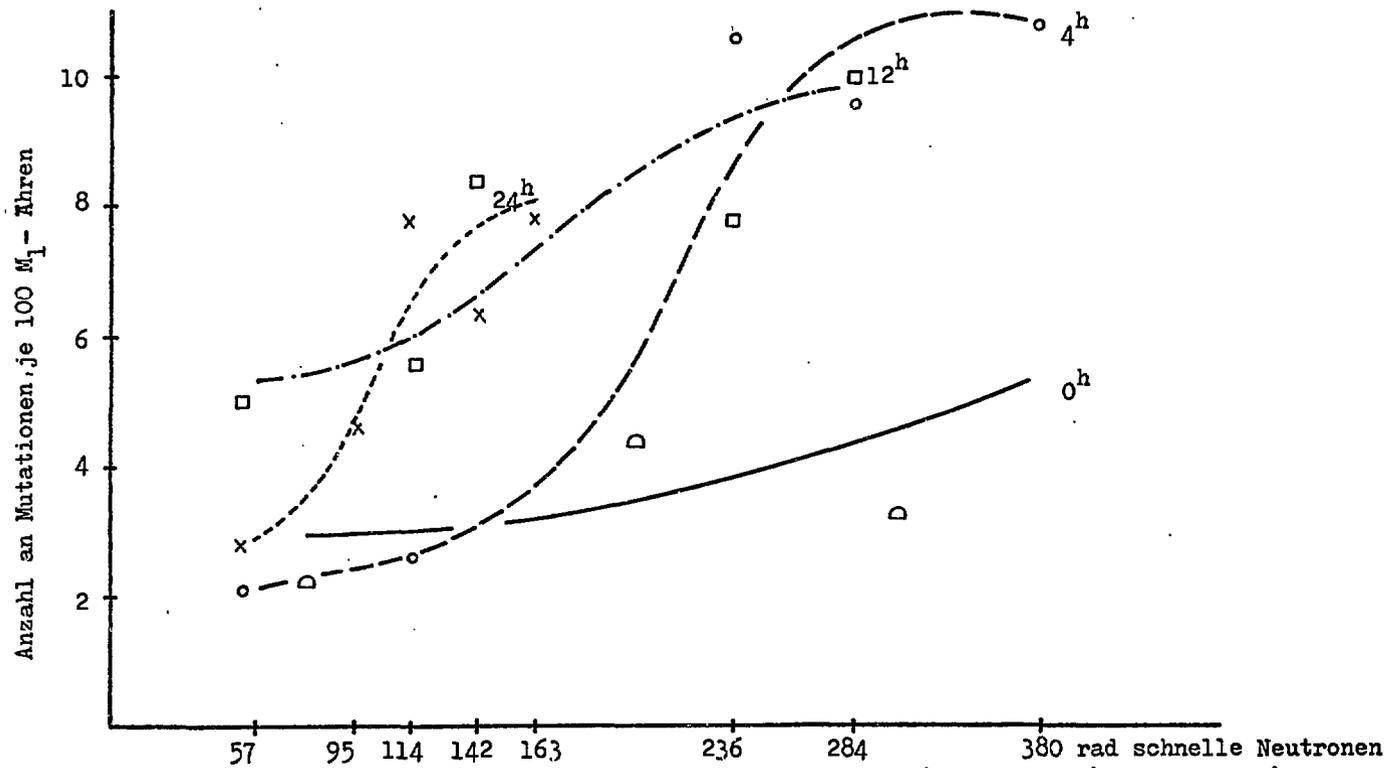


Abb. 12 : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten (\square — \square 0^h; \circ — \circ 4^h, \square — \square 12^h, \times — \times 24^h) auf die Chlorophyllmutationsfrequenz neutronenbestrahlter Gerstensamen.

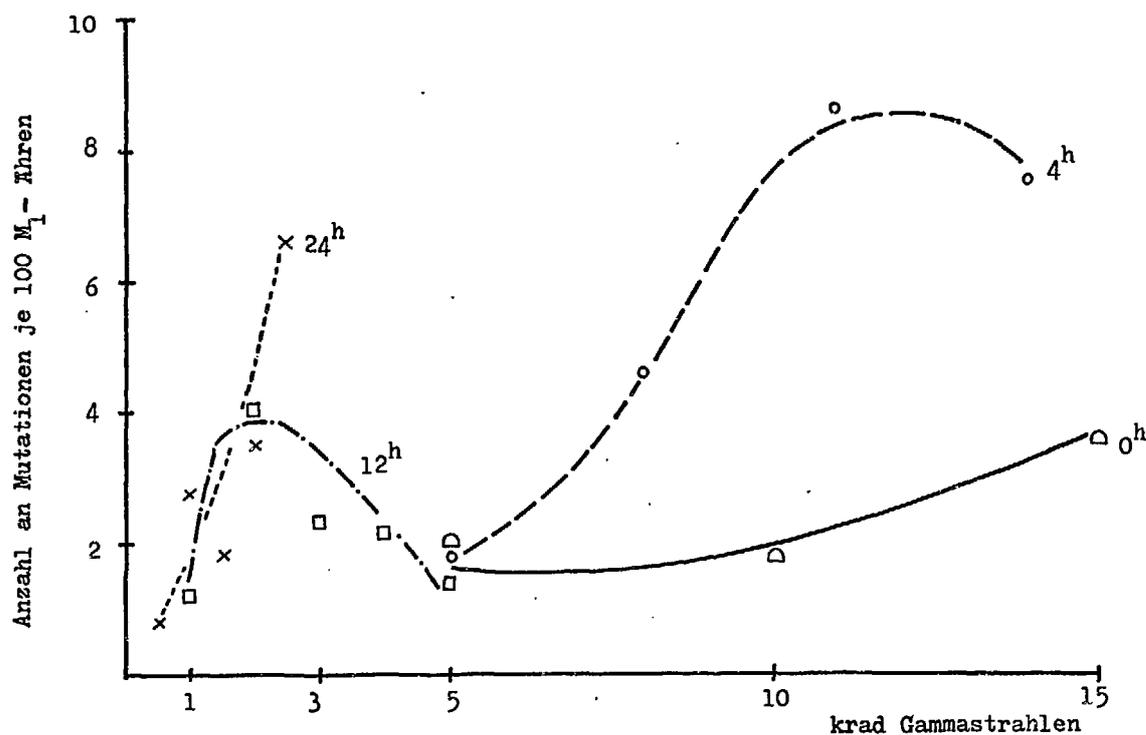


Abb. 13 :- Der Einfluß verschiedener Quellzeiten (\triangle — \triangle 0^h, \circ — \circ 4^h, \square — \square 12^h, \times — \times 24^h) auf die Chlorophyllmutationsrate gammabestrahelter Gerstensamen.

ohne Einfluß auf das Keimblattwachstum bleibt (Abb. 14, Tab. XXIII, XXIV). Ein Anstieg der Quellzeit bis 24^h führt eine drastische Wachstumsreduktion herbei.

Untersuchungen über die Wirkung von Quellung und Rücktrocknung auf die Anzahl an Chlorophyllmutationen von Gerstensamen nach Behandlungen mit schnellen Neutronen und Gammastrahlen wurden mit drei Quellzeiten, nämlich 4^h, 12^h und 24^h durchgeführt.

Aus Abb. 15 ist zu erkennen, daß gequollene, rückgetrocknete und neutronenbestrahlte Samen bei vergleichbaren Dosen eine höhere Chlorophyllmutationsrate aufweisen als ruhende Samen (Tab. XXV).

% Wachstum

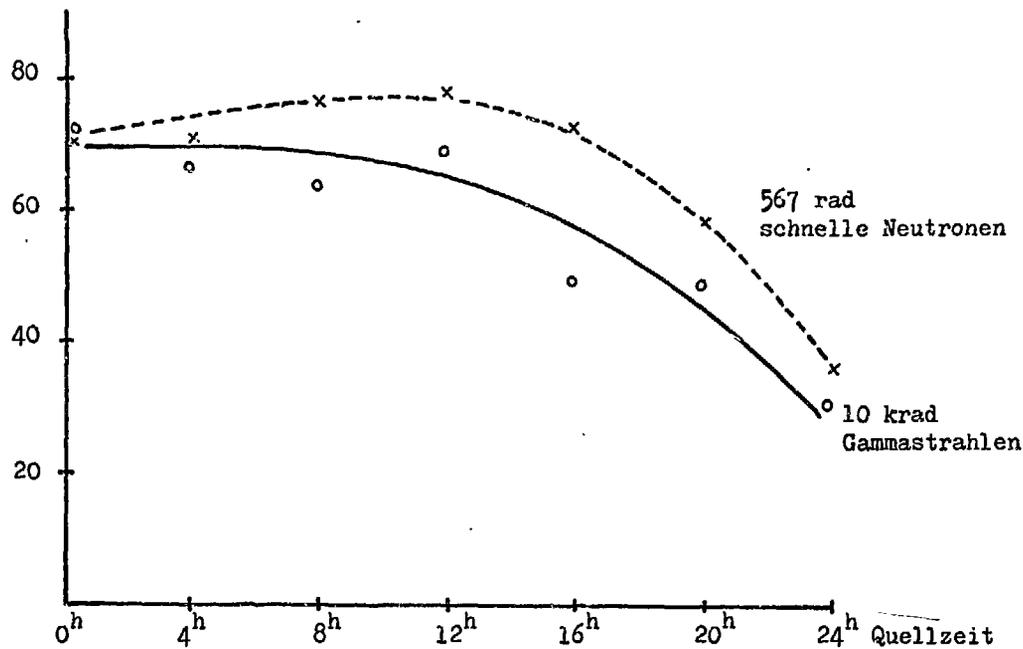


Abb. 14 : Der Einfluß von Quellung und Rücktrocknung auf das Keimblattwachstum neutronen- (x-----x) und gamma- bestrahlter (o-----o) Gerstensamen.

Innerhalb der drei Quellzeiten weist 4^h die geringste, 24^h die höchste Mutationsrate auf; 12^h Quellung liegt zwischen den beiden. Während bei ruhenden Samen das Mutationsmaximum mit über 700 rad erzielt wird, wird es in gequollenen Samen bereits zwischen 400 rad und 500 rad erreicht. Bei gammabestrahlten Samen ist ebenfalls ein Einfluß der verschiedenen Quellzeiten zu sehen (Abb. 16, Tab. XXV). Wie bei den neutronenbehandelten Samen ergibt sich auch hier nach 24^h Quellung die höchste, nach 4^h Quellung die geringste Mutationsrate; 12^h Quellung liegt zwischen beiden.

Vergleiche ergeben, daß in beiden Strahlenarten durch die Quellung und Rücktrocknung die Strahlenempfindlichkeit verändert wird (Tab. IV). Die Fertilität ist bei gammabestrahlten

Tab. IV : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten nach Rücktrocknung
und Bestrahlung mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen.

Quellzeit	Dosis	Anzahl Ähren	Fertilität	Mutationsrate		Aufspaltungsverhältnis
				je 100 M ₁ -Ähren	je 1000 M ₂ -Keimlinge	
	rad			schnelle Neutronen		
0 ^h	561	500	38.5	8.0	16.5	24.7
	715	490	37.4	10.4	31.9	27.6
4 ^h	300	500	57.2	6.2	9.8	16.3
	500	180	66.3	7.2	18.7	24.0
12 ^h	400	340	67.6	7.9	13.8	15.7
	500	334	64.1	8.7	18.8	27.4
24 ^h	400	336	68.4	12.5	24.6	20.2
	500	334	59.2	11.4	19.7	19.0
	krad			Gammastrahlen		
0 ^h	21	500	78.4	7.4	12.0	16.9
	24	500	81.7	7.6	11.8	18.0
4 ^h	20	500	87.6	4.0	7.4	21.5
	25	500	77.9	4.2	7.0	15.9
12 ^h	20	500	86.9	6.2	9.6	18.5
	25	478	78.4	5.0	6.2	14.0
24 ^h	20	460	77.1	5.4	9.4	16.6
	25	300	81.2	10.7	16.0	17.4

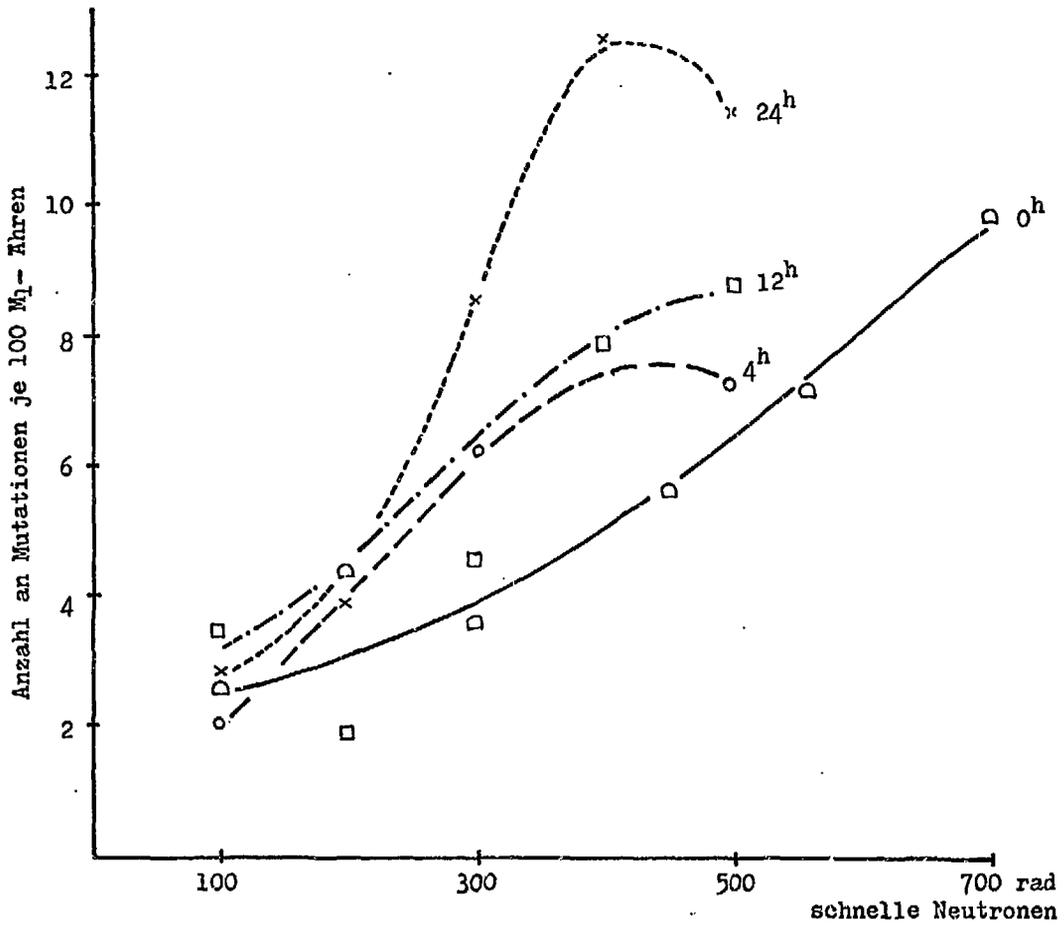


Abb. 15 : Der Einfluß von Quellung und Rücktrocknung auf die Chlorophyllmutationsfrequenz neutronenbestrahlter Gerstensamen (\triangle — \triangle 0^h, \circ — \circ 4^h, \square — \square 12^h, \times — \times 24^h).

Samen nicht verändert, bei neutronenbehandelten ist eine deutliche Verbesserung zu sehen. In den Behandlungen mit Gammastrahlen tritt bei den kurzen Quellzeiten eine Reduktion der Mutationsrate auf, die in den Neutronenbestrahlungen nicht zu bemerken ist. Die Anzahl Ähren ist in den Neutronenexperimenten stärker reduziert.

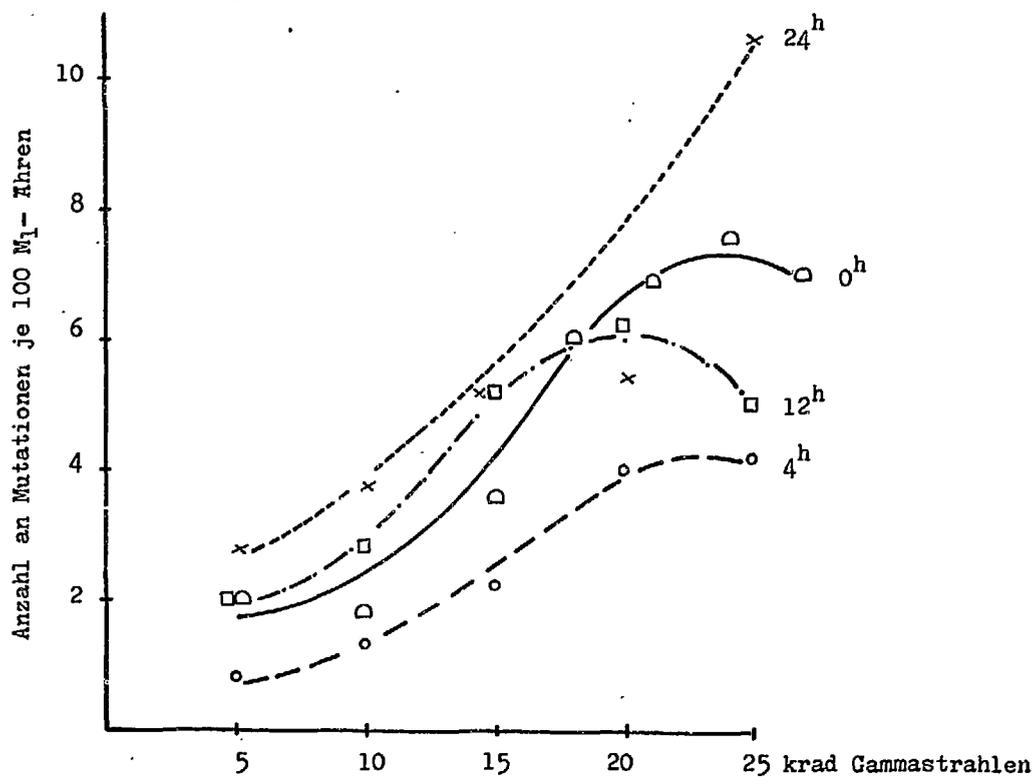


Abb. 16 : Der Einfluß von Quellung und Rücktrocknung auf die Chlorophyllmutationsfrequenz gammabestrahelter Gerstensamen. (\triangle — \triangle 0^h, \circ — \circ 4^h, \square — \square 12^h, \times — \times 24^h)

3.3 Die Wirkung von Cystein auf Samen nach Behandlungen mit schnellen Neutronen und Gammastrahlen.

3.3.1 Nasse Behandlungen.

In Voruntersuchungen mit dem Keimlingstest konnte nachgewiesen werden, daß durch 24-stündiges Quellen von Gerstensamen in einer Cysteinlösung ein besseres Wachstum nach Behandlung mit Gammastrahlen auftritt als durch Quellen in Wasser. Aus Abb. 17

% Wachstum

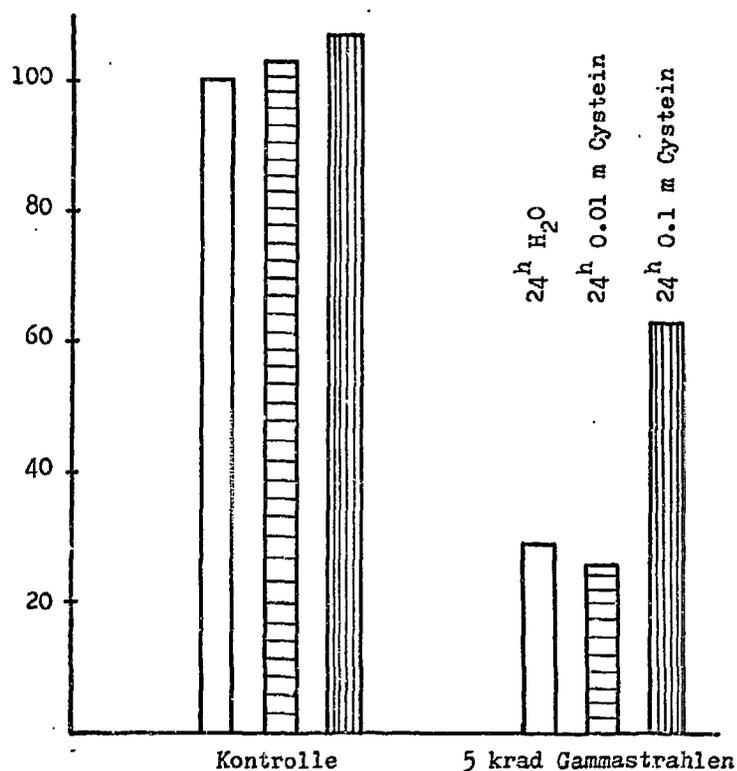


Abb. 17 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser (),
0.01 m Cystein (), oder 0.1 m Cystein () auf
das Keimblattwachstum gammabestrahelter Gerstensamen.

geht hervor, daß diese Wachstumsverbesserung konzentrationsabhängig ist. 24-stündiges Quellen in Wasser oder in 0.01 M Cystein ergeben dasselbe Wachstum, Quellung in 0.1 M Cystein führt zu einer Verdopplung des Wachstums nach 5 krad Gammabestahlung (Abb. 17, Tab. XXVII).

% Wachstum

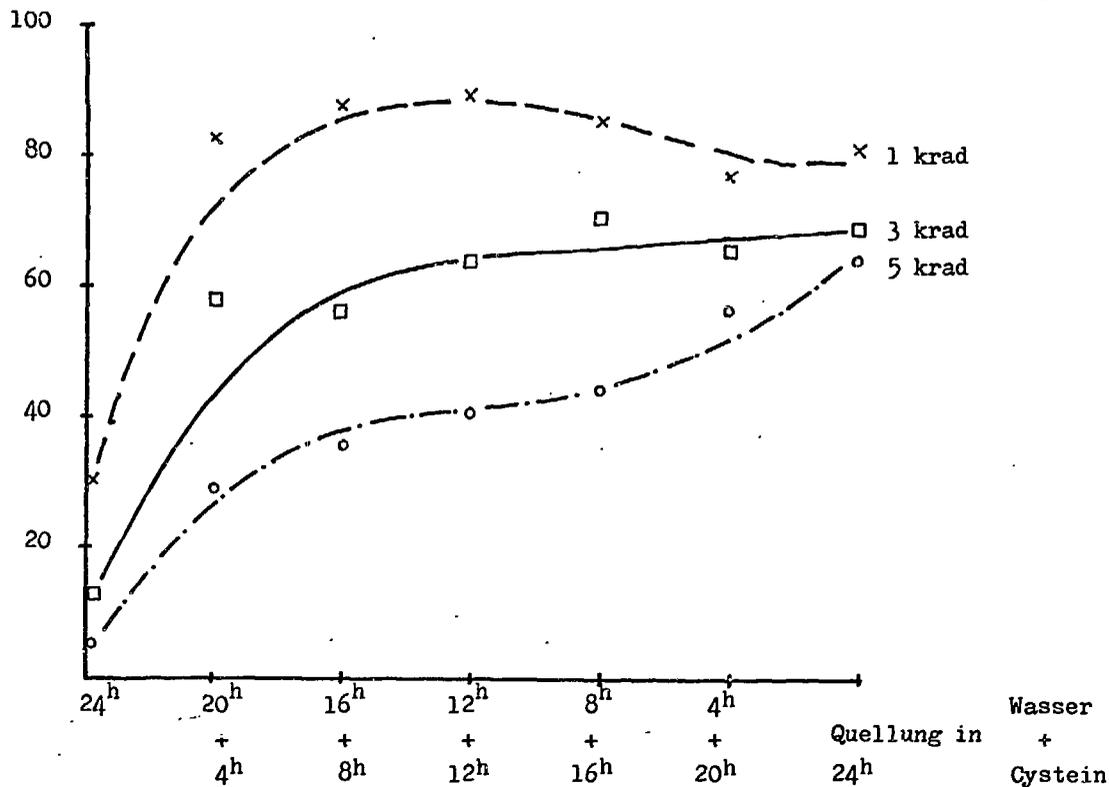


Abb. 18 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser und 0.1 m Cystein auf das Keimblattwachstum gammabestrahelter Gerstensamen.

Wie in Abb. 18 gezeigt wird, kann eine cysteinbedingte Wachstumszunahme bereits nach 20^h Quellung in Wasser und danach 4^h Quellung in Cystein erzielt werden (Tab. XXVIII). Weiters kann aus Abb. 18 der Schluß gezogen werden, daß Zusammenhänge zwischen der Quellzeit in Cystein und der Dosis bestehen. Nach 1 krad Gammabestrahlung wird das optimale Wachstum zwischen 8^h und 12^h Cysteinquellung erreicht, nach 5 krad jedoch erst bei 24^h Cysteinquellung.

Auch neutronenbestrahlte Samen zeigen ein verbessertes Keimblattwachstum, wenn sie 24^h in Cystein statt in Wasser gequollen werden (Abb. 19, Tab. XXIX). Vor allem bei höheren Dosen ist ein deutlich verbessertes Wachstum cysteingequollener Samen zu bemerken.

% Wachstum

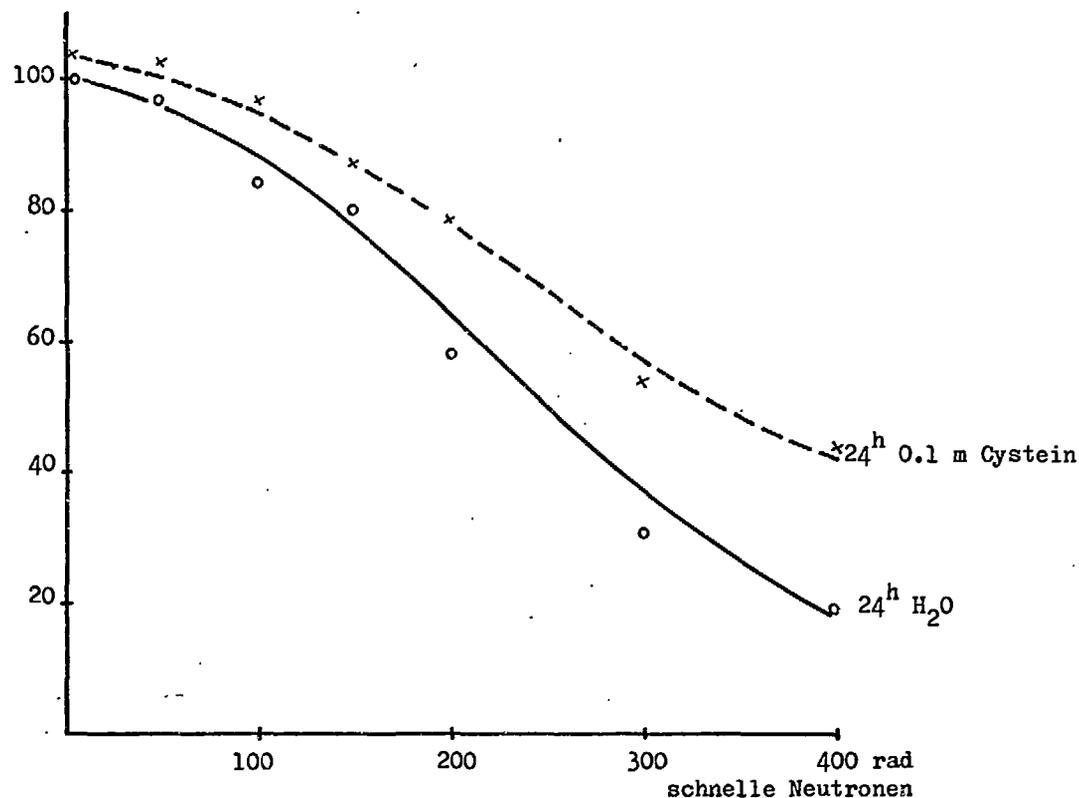


Abb. 19 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser (o—o) oder 0.1 m Cystein (x-----x) auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Der Einfluß des Cysteins auf die Chlorophyllmutationsfrequenz neutronenbestrahlter Samen wurde durch Quellen der Samen 24^h in Wasser, 20^h in Wasser und 4 Stunden in Cystein, 12^h in Wasser und 12^h in Cystein, und 24^h in Cystein bestimmt. Eine 24-stündige Quellung der Samen in Wasser ergibt, vor allem im oberen Dosisbereich, die höchste Chlorophyllmutationsfrequenz (Abb. 20, Tab. XXX). Mit abnehmender Quellzeit in Wasser und zunehmender in Cystein tritt eine geringfügige Reduktion der Mutationsrate ein, die dosisabhängig erscheint. Während nach Bestrahlung mit 57 rad noch kein Unterschied in der Mutationsrate wasser- oder cysteingequollenen Samen zu sehen ist, erfolgt zwischen 95 rad und 142 rad eine geringe Reduktion der Mutationsrate cysteinbehandelter Samen. Im hohen Dosisbereich ist wieder

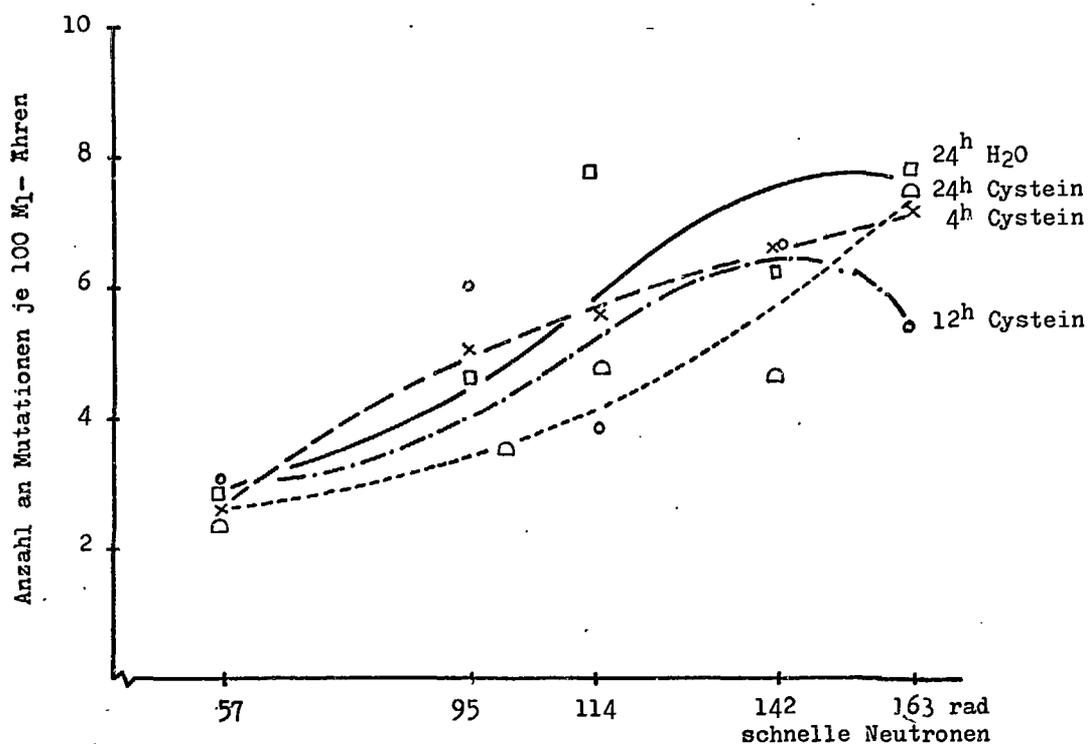


Abb. 20 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung (□—□ 24^h H₂O, x---x 20^h H₂O + 4^h Cystein, o-----o 12^h H₂O + 12^h Cystein, Δ-----Δ 24^h Cystein) auf die Chlorophyll-mutationsfrequenz neutronenbestrahlter Gerstensamen.

eine Annäherung der Mutationsfrequenz der wasser- und cysteingequollenen Samen zu beobachten. Die Fertilität (Tab. XXX) wird durch die unterschiedlichen Quellungsbedingungen nicht beeinflusst.

Eine Behandlung wasser- bzw. cysteingequollener Samen mit Gammastrahlen zeigt, daß die maximale Mutationsrate mit zunehmender Quellzeit in Cystein absinkt (Abb. 21, Tab. XXXI). Die höchstmögliche Dosis, bei der gequollene Samen überleben, steigt von 2.5 krad bei 24-stündiger Quellung in Wasser auf 3.5 krad bei 12^h Quellung in Wasser und 12^h in Cystein.

Wie aus Tab. V weiters zu sehen ist, scheint Cystein in Zusammenhang mit Gammabestrahlung eine gewisse letale Wirkung zu besitzen. Die Anzahl ausgelegter Ähren vermindert sich bei gammabestrahlten Samen im höheren Dosisbereich drastisch, während bei

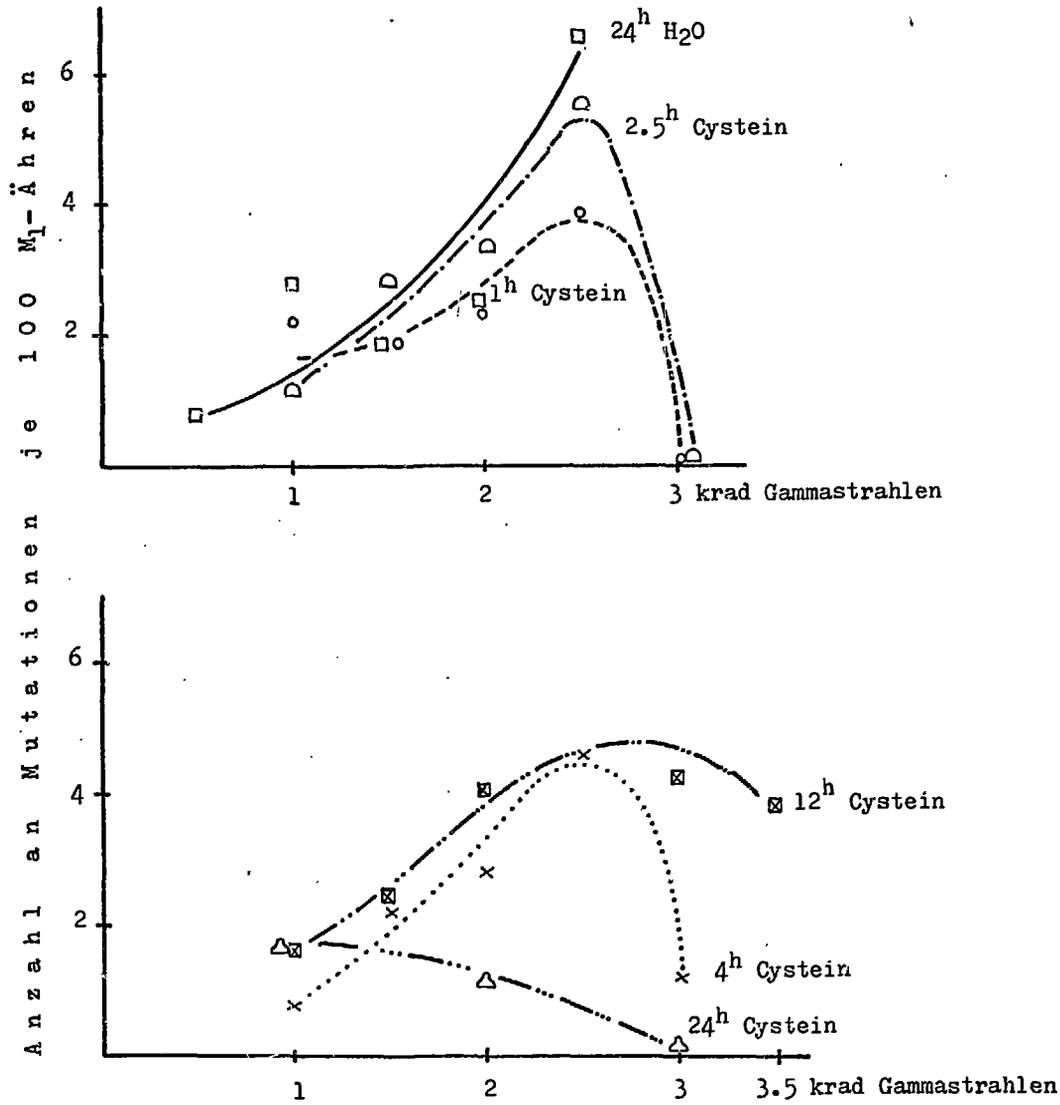


Abb. 21 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung (□—□ 24^h H₂O, o-----o 23^h H₂O + 1^h Cystein, △-----△ 21.5^h H₂O + 2.5^h Cystein, x.....x 20^h H₂O + 4^h Cystein, ▣-----▣ 12^h H₂O + 12^h Cystein, △-----△ 24^h Cystein) auf die Chlorophyllmutationsfrequenz gammabestrahelter Gerstensenen.

Tab. V : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser und
0.1 M Cystein auf Behandlung mit schnellen Neutronen
oder Gammastrahlen.

Quellzeit	Dosis	Anzahl Ähren	Fertilität	Mutationsrate		Aufspaltungungsverhältnis
				je 100 M ₁ -Ähren	je 1000 M ₂ -Keimlinge	
rad schnelle Neutronen						
24 ^h H ₂ O	142	477	57.0	6.1	10.7	23.3
+ 0 ^h Cystein	163	494	57.5	7.8	15.1	22.8
20 ^h H ₂ O	142	500	55.1	6.6	12.6	21.3
+ 4 ^h Cystein	163	488	56.1	7.2	13.2	21.0
12 ^h H ₂ O	142	500	53.2	6.6	11.8	20.6
+12 ^h Cystein	163	431	58.4	5.4	8.7	18.6
0 ^h H ₂ O	142	500	62.7	4.6	8.3	18.9
+24 ^h Cystein	163	500	59.4	7.4	16.5	23.2
krad Gammastrahlen						
24 ^h H ₂ O	2.0	408	66.0	2.5	5.5	20.7
+ 0 ^h Cystein	2.5	272	69.4	6.6	12.1	18.9
20 ^h H ₂ O	2.0	392	72.6	2.8	4.2	11.5
+ 4 ^h Cystein	2.5	218	67.0	4.6	7.8	21.7
12 ^h H ₂ O	2.0	472	77.5	4.0	9.4	22.0
+12 ^h Cystein	3.5	134	77.9	3.7	5.9	19.0
0 ^h H ₂ O	1.0	500	85.0	1.6	2.0	17.1
+24 ^h Cystein	2.0	279	81.2	1.1	1.9	22.9

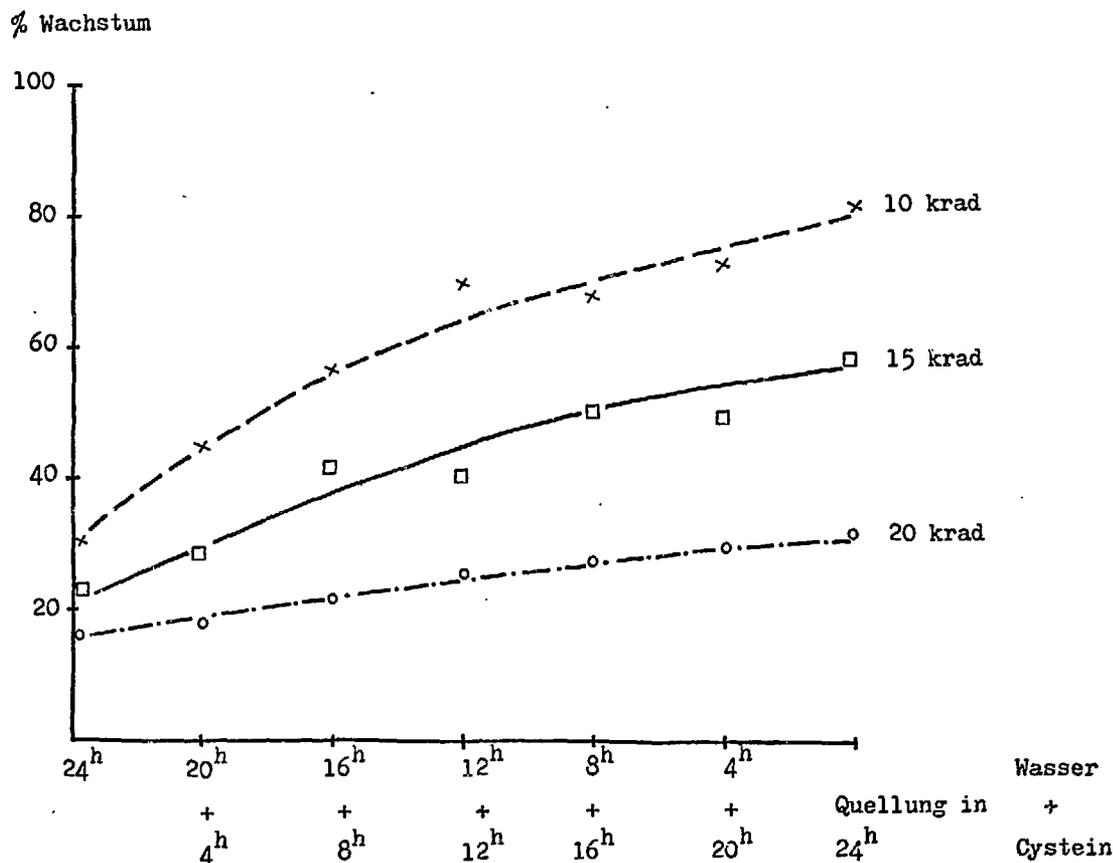


Abb. 22 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser und 0.1 m Cystein auf das Keimblattwachstum rückgetrockneter gammabestrahelter Gerstensamen.

neutronenbehandelten eine wesentlich geringere Reduktion zu bemerken ist. Die Fertilität wird in den Neutronenbehandlungen durch Cystein nicht beeinflusst, bei Gammabehandlungen ist mit zunehmender Quelldauer in Cystein auch ein Ansteigen der Fertilität zu beobachten.

3.3.2 Rückgetrocknete Behandlungen.

Gerstensamen wurden 24^h gequollen, rückgetrocknet und mit Gammastrahlen behandelt. Die Quellung erfolgte 24^h + 0^h, 20^h + 4^h, 16^h + 8^h, 12^h + 12^h, 8^h + 16^h, 4^h + 20^h, 0^h + 24^h in Wasser + 0.1 M Cystein.

Aus Abb. 22 ist ersichtlich, daß durch zunehmende Quellzeit in Cystein das Keimblattwachstum bestrahlter Samen positiv beeinflusst

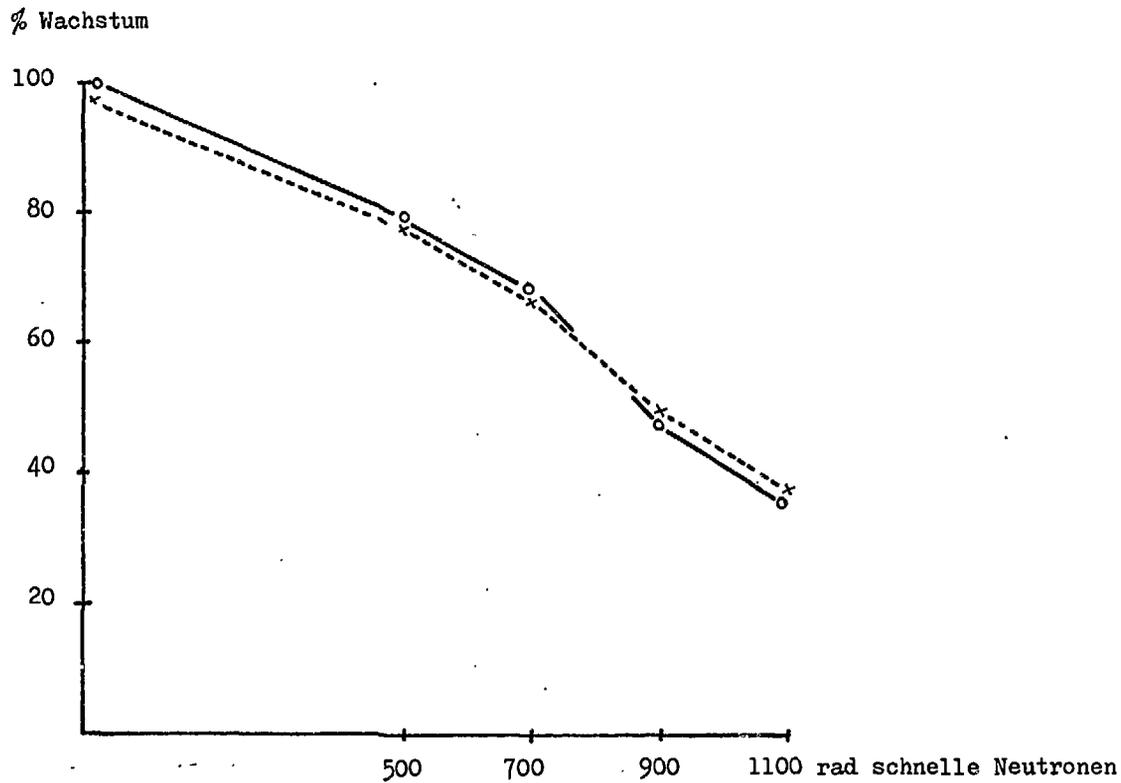


Abb. 23 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser (o—o) oder 0.1 m Cystein (x-----x) auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter rückgetrockneter Gerstensamen.

wird. Diese cysteinbedingte Wachstumszunahme ist dosisabhängig. Nach 10 krad Gammabestrahlung ist sie höher als nach 15 und 20 krad (Tab. XXXII). Werden Samen 24^h in Wasser oder in 0.1 M Cystein gequollen, rückgetrocknet und mit schnellen Neutronen behandelt, so ist kein Cysteineinfluß auf das Keimblattwachstum zu bemerken (Abb. 23, Tab. XXXIII). Untersuchungen über den Einfluß von Quellung in Cystein auf die Chlorophyllmutationsrate nach Rücktrocknung und Bestrahlung wurden daher nur mit Gammastrahlen durchgeführt. Im Gegensatz zum Keimlingstest (Abb. 22) läßt sich in den Mutationsexperimenten keine klare Cysteinwirkung nachweisen; die Ergebnisse aus Abb. 24 sind wenig aufschlußreich (Tab. XXXIV).

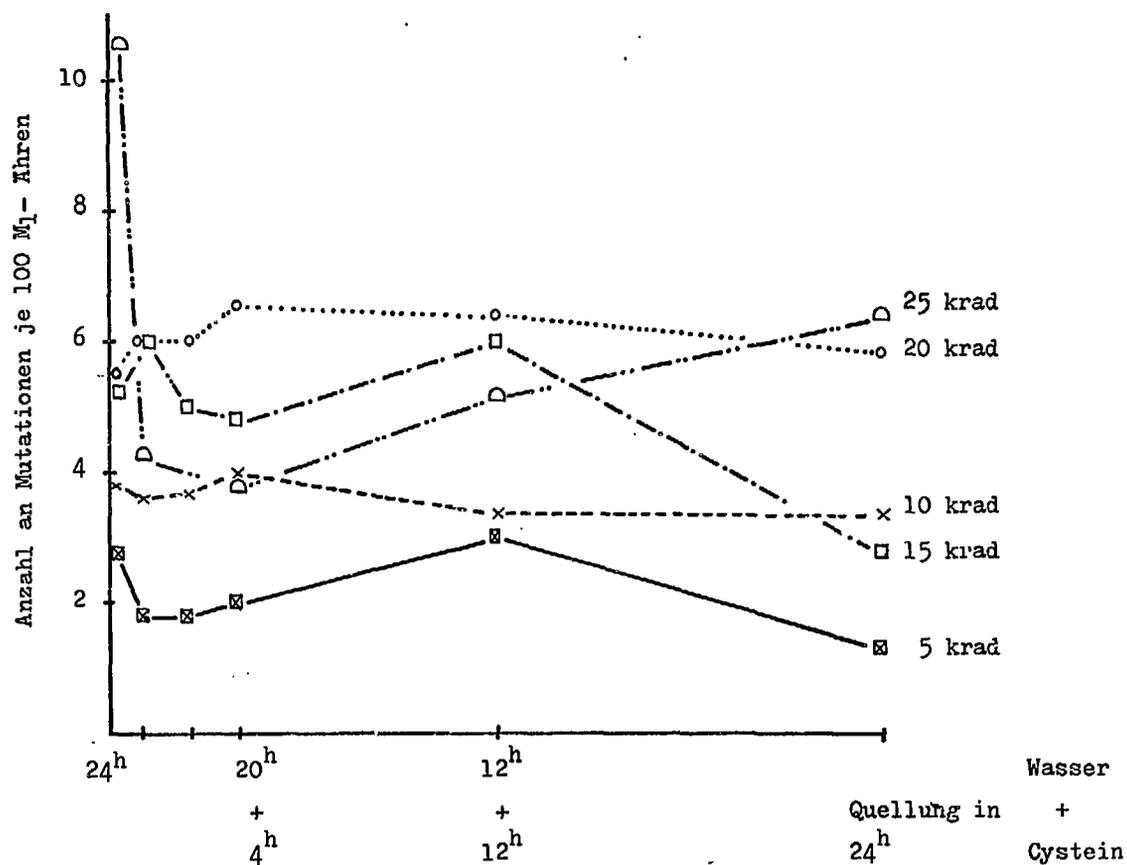


Abb. 24 : Der Einfluß 24-stündiger Quellung in Wasser und 0.1 m Cystein auf die Chlorophyllmutationsfrequenz rückgetrockneter gammabestrahelter Gerstensamen.

3.4 Untersuchungen über das Chlorophyllmutationsspektrum nach Behandlung ruhender Gerstensamen mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen.

Von insgesamt über 9000 ausgelegten Ähren wurde die Gesamtzahl an Mutationen bestimmt und der Anteil der verschiedenen Mutationsgruppen daraus errechnet.

Tab. VI : Das Chlorophyllmutationsspektrum neutronen- oder gammabestrahlter Gerstensamen.

Art der Mutation	schnelle Neutronen		Gammastrahlen	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Albina	267	49.63	215	47.67
Viridis	176	32.72	166	36.80
Xantha	29	5.39	25	5.54
Alboviridis	26	4.83	14	3.12
Rest	40	7.43	31	6.87
Summe	583	100	451	100

Aus Tab. VI geht hervor, daß Albinamutationen mit fast 50% die größte Häufigkeit aufweisen, gefolgt von den Viridis-mutationen mit ca. 35%. Xantha- und die Gruppe der Alboviridis-mutationen machen ca. 5% aus. Die restlichen Mutationen (Tigrina, Striata, Maculata usw.) kommen seltener vor. Unterschiede zwischen Behandlungen mit schnellen Neutronen und Gammastrahlen sind nicht sichtbar.

3.5. Feldexperimente.

3.5.1 Vergleichende Untersuchungen über die Häufigkeit induzierter Chlorophyllmutationen und Makromutationen in der zweiten Mutationsgeneration (M_2).

Im folgenden Experiment wurde der Versuch unternommen, das Verhältnis zwischen Chlorophyllmutationsfrequenzen und Makromutationshäufigkeiten mutagen behandelter Gerstensamen zu bestimmen.

Die Behandlung erfolgte 1968 entweder mit schnellen Neutronen oder mit dem als sehr wirksam bekannten chemischen Mutagen Äthylmethansulfonat (ÄMS). Von einem Teil der behandelten Samen wurde in der M_2 im Glashaus die Chlorophyllmutationsfrequenz bestimmt; der andere Teil wurde auf dem Feld angebaut und auf Makromutationen selektiert. In Tab. VII werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen gezeigt. Die Anzahl an Makromutationen erreicht bei Behandlungen mit schnellen Neutronen 0.979%, bei ÄMS 0.777%. Die Chlorophyllmutationsfrequenz beträgt bei schnellen Neutronen 7.8%, bei ÄMS jedoch mit 15.04% fast das Doppelte. Daraus errechnet sich das Verhältnis Makromutationen zu Chlorophyllmutationen bei neutronenbehandelten Samen von ca. 1 : 8, bei ÄMS-Behandlungen von ca. 1 : 19.

3.5.2 Untersuchungen einiger Mutanten in der vierten Mutationsgeneration (M_4).

1967 wurden in der M_2 -Generation mehrere Mutanten selektiert, die in der M_4 -Generation auf ihr Verhalten gegenüber der Muttersorte geprüft wurden. Insgesamt wurden 15 frühreife und 2 Erectoides-Mutanten im Mikroversuch, die beiden Erectoides-Mutanten auch in einem Ertragsversuch getestet.

Aus Tab. VIII ist zu sehen, daß von den 15 auf Frühreife selektierten Mutanten 6 keine Unterschiede zur Muttersorte ergeben, während die restlichen 9 zwischen einem und vier Tagen früher Ähren schieben.

Die Untersuchungen der Erectoides-Mutanten ergeben klare Unterschiede, sowohl in der Halmlänge und der Ährenlänge als auch in der Bestockung (Tab. IX). Die Samenzahl je Ähre scheint in beiden Mutanten verbessert. In Abb. 25 ist eine Erectoides-Mutante, die mit 15 krad Gammastrahlen induziert wurde, dargestellt.

Die Ergebnisse des Mikroertragsversuches sind in Tab. X dargestellt. Die varianzanalytische Auswertung (Tab. XXXV) zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen Union und den beiden Erectoides-Mutanten.

Tab. VII : Vergleiche zwischen Chlorophyllmutationsfrequenzen
und Makromutationshäufigkeiten neutronenbestrahlter
und ÄMS-behandelter Gerstensamen in der M_2 -Generation

Art der Mutation	Anzahl an Mutationen	
	schnelle Neutronen	Äthylmethansulfonat
Ährenform und -größe	9	7
kurze Grannen	1	1
grannenlos	-	1
früher Grannenabwurf	1	-
mehrzeilige Ähre	1	2
erectoid	3	3
steifer Halm	1	-
Zwergwuchs	3	3
Riesenwuchs	-	2
eceriferum	-	3
chlorina	1	-
Frühreife	2	2
Summe	22	24
Anzahl ausgelegter Ähren	2246	3088
Anzahl an Mutationen je 100 M_1 -Ähren	0.979	0.777
Chlorophyllmutationen	774	1354
Anzahl ausgelegter Ähren	9907	9000
Anzahl an Mutationen je 100 M_1 -Ähren	7.81	15.04
Verhältnis Makromutationen zu Chlorophyllmutationen	1 : 8	1 : 19

Tab. VIII : Untersuchungen über das genetische Verhalten von 15 frühreifen Mutanten in der M_4 -Generation.

Anzahl Pflanzen	früheres Ährenschieben als die Kontrolle - in Tagen
6	0
1	0 - 1
2	1 - 2
4	2 - 3
2	3 - 4

Tab. IX : Untersuchungen über Halmlänge, Ährenlänge, Samenansatz und Bestockung zweier Erectoides-Mutanten in der M_4 -Generation

	Halmlänge des $\bar{x} \pm s$	Ährenlänge Haupthalmes $\bar{x} \pm s$	Anzahl Samen je Ähre $\bar{x} \pm s$	Bestockung $\bar{x} \pm s$
K	86.6 \pm 6.5	10.5 \pm 0.8	26.7 \pm 3.0	6.3 \pm 2.4
E _I	68.1 \pm 6.0	7.0 \pm 0.6	31.3 \pm 2.8	9.4 \pm 2.6
E _{II}	65.7 \pm 5.4	7.1 \pm 0.7	29.6 \pm 2.7	9.2 \pm 5.4

Tab. X : Mikroertragsversuch der beiden Erectoides-Mutanten in der M_4 -Generation. Ergebnisse in g/Parzelle ($2m^2$).

Sorten	Wiederholungen			
Union	880	839	914	916
Erectoides I	770	878	966	893
Erectoides II	844	757	826	831

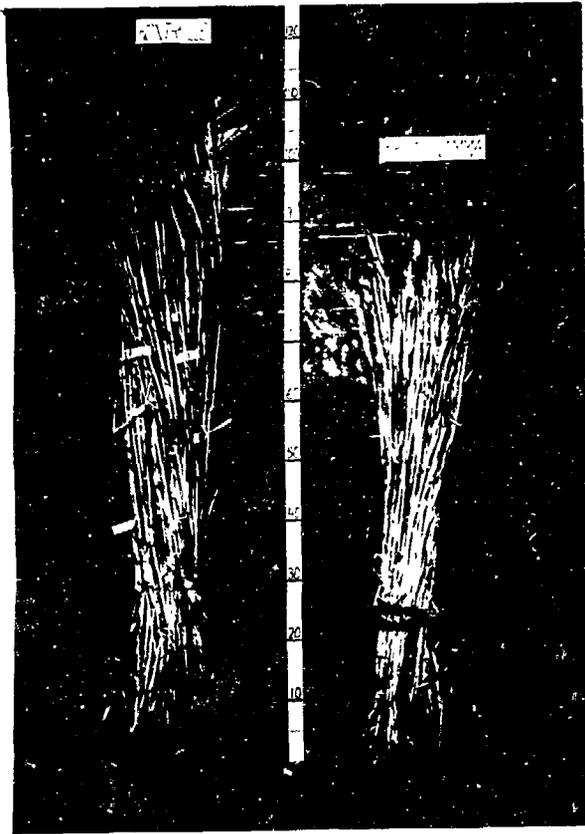


Abb. 25: Eine durch Gammastrahlen induzierte Erectoides-Mutante.

IV. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der verschiedenen Experimente haben klar gezeigt, daß verschiedene Faktoren modifizierend auf Behandlungen von Gerstensamen mit schnellen Neutronen und Gammastrahlen reagieren können.

In ruhenden Samen kann vor allem durch den Einfluß des Wassergehaltes und der Sauerstoffkonzentration eine Beeinflussung der Strahlenwirkung erzielt werden. Es hat sich erwiesen, daß der Sauerstoff auf eine Behandlung mit Gammastrahlen einen großen Einfluß ausüben kann, während er sich bei Neutronenbestrahlung nur von geringer Wirkung erwies (Abb. 3, 4, 9, 10; Tab. XIII, XIV, XVII, XVIII). Die unterschiedliche Reaktionsweise auf Sauerstoff zwischen schnellen Neutronen und Gammastrahlen kann durch ihre verschiedene Ionisationsdichte erklärt werden. Bei schnellen Neutronen ist die Wahrscheinlichkeit, daß die entstehenden Radikale miteinander statt mit Sauerstoff reagieren, durch ihre hohe Ionisationsdichte sehr groß. Bei Gammastrahlen ist wegen ihrer geringen Ionisationsdichte das Auftreten von Radikal-Sauerstoffreaktionen sehr wahrscheinlich. Der Wassergehalt scheint dabei eine steuernde Wirkung zu besitzen (Ahnström und Mikaelson 1968, Ahnström 1968, Conger et al. 1969). Eine Bestrahlung trockener Gerstensamen (unter 12% H₂O) mit Gammastrahlen führt zur Bildung von freien Radikalen (A. Ehrenberg und L. Ehrenberg 1958, Zimmer et al. 1957, A.D. Conger 1966, B.V. Conger et al. 1966, 1969) von verschieden langer Lebensdauer. Powers und Tallentire (1968) sind bei Untersuchungen mit trockenen Bakterien- sporen zu ähnlichen Ergebnissen gekommen. Sie haben bei locker ionisierenden Strahlen drei Schadensklassen entdeckt. Die erste Klasse stellt den unmittelbaren, sauerstoffunabhängigen Schaden dar. Ist Sauerstoff während der Bestrahlung vorhanden, so tritt der unmittelbare Sauerstoffeffekt (Klasse II) ein. Die III. Klasse ist eine sauerstoffabhängige Komponente, die in der Hauptsache auf die Reaktion des Sauerstoffs mit strahleninduzierten, langlebigen freien Radikalen zurückzuführen ist. Powers und Tallentire (1968) zeigen, daß der Schaden der Klasse II und III in den trockensten Bakterien-

sporen am größten ist und mit zunehmendem Wassergehalt zum Verschwinden gebracht werden kann.

In den vorliegenden Ergebnissen mit Gerstensamen (Abb. 4, 10; Tab. XIV, XVIII) tritt bei den trockenen Samen (4.5% H₂O) nach Gammabestahlung sowohl im Keimlingstest als auch bei der Chlorophyllmutationsanalyse ein deutlicher Sauerstoffeffekt auf. Dieser Sauerstoffeffekt ist hauptsächlich mit Powers' und Tallentire's (1968) Schadensklasse III, der langlebigen freien Radikalkomponente, gleichzusetzen. Bei hoher Sauerstoffkonzentration nach der Bestahlung kann mit 25% der Dosis dieselbe Mutationsrate erzielt werden wie bei geringer Sauerstoffkonzentration. Eine Hydrierung gammabestrahlter trockener Samen (4.5% H₂O) in stickstoffgesättigtem Wasser ergibt jedoch ca. dieselbe Chlorophyllmutationsrate wie feuchte (13% H₂O) Samen. Damit stimmen diese Ergebnisse mit Wachstumsuntersuchungen von Ahnström und Mikaelson (1968), Ahnström (1968) und Conger et al. (1969) überein. Nach diesen Autoren ist für die Größe des Strahleneffektes der Hydratationsgrad der Makromoleküle ausschlaggebend. Bei feuchten Samen (13% H₂O) besitzen die Makromoleküle Ionen-Dipolbindungen, trockenen Samen (4.5% H₂O) fehlt diese Hydratationsschale, wodurch es zu intra- und intermolekularen Ionen-Ionenbindungen kommt. Eine Hydratation der Makromoleküle bewirkt, daß physikalische und chemische Wiederherstellungsprozesse, die zu einer Reduktion des Strahlenschadens führen, rasch vor sich gehen können; fehlt sie, so laufen auch diese Prozesse sehr langsam ab. Die Reaktion der entstehenden Radikale miteinander geht wegen der geringen Radikalkonzentration der locker ionisierenden Gammastrahlen nur sehr langsam vor sich. Die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen Radikalen und Sauerstoff ist von der Sauerstoffkonzentration abhängig. In feuchten Samen (13% H₂O) ist der Wiederherstellungsprozeß der dominierende Faktor. Radikalreaktionen miteinander oder mit Sauerstoff spielen keine bedeutende Rolle. In trockenen Samen (4.5% H₂O) gehen die Wiederherstellungsvorgänge wegen der fehlenden Hydratationsschale sehr langsam vor sich. Radikal-Radikalreaktionen sind wegen der geringen Radikalkonzentration von geringer Bedeutung. Die Reaktion zwischen den reaktionsfreudigen freien Radikalen und Sauerstoff kann bei hoher Sauerstoffkonzentration sehr rasch vor sich

gehen. Bei geringer Sauerstoffkonzentration (Hydrierung in stickstoffgesättigtem Wasser) kommt es durch eine rasche Hydratation der Makromoleküle zu einem schnellen Abbau der sauerstoffsensitiven Zentren.

In meinen Experimenten (Abb. 10; Tab. XVIII) hat es sich gezeigt, daß 4^h Hydrierung bei 20°C ausreichen, um die sauerstoffempfindlichen Stellen zum Verschwinden zu bringen. Ahnström und Mikaelson (1968) und Conger et al. (1969) weisen darauf hin, daß bei einer Hydriertemperatur von 0°C der Abbau der sauerstoffsensitiven Zentren (= langlebige freie Radikale) langsamer vor sich geht als die Entwicklung des sauerstoffabhängigen Schadens. Dies läßt den Schluß zu, daß bei 0°C zwar eine Wasseraufnahme erfolgt, die Hydratation der Makromoleküle, die für eine Reduktion des Strahlenschadens wichtig ist, jedoch verzögert geschieht. Conger et al. (1969) berichten, daß die kritische Region, bei der der Sauerstoffeffekt in vollem Umfang auftritt, zwischen 10% und 12% Feuchtigkeit der Samen liegt.

In meinen Experimenten (Abb. 3, 9; Tab. XIII, XVII) mit schnellen Neutronen läßt sich weder in Keimlingsuntersuchungen noch in Mutationsanalysen ein Einfluß des Sauerstoffs beobachten. Ähnliche Berichte liegen von Ahnström (1968), Mikaelson und Kramer (im Druck) und Kamra (im Druck) vor. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von Conger und Constantin (1969), die nach Behandlung sehr trockener Gerstensamen (2.1% H_2O) mit schnellen Neutronen einen Sauerstoffeffekt gefunden haben.

In den vorliegenden Experimenten (Tab. II) ist bei Vergleichen zwischen trockenen (4.5% H_2O) und feuchten (13% H_2O) Samen ein deutlicher Einfluß des Wassergehaltes auf die neutroneninduzierte Mutationsrate ersichtlich. Bei vergleichbaren Dosen scheinen trockene Samen (4.5% H_2O) durchwegs höhere Chlorophyllmutationsfrequenzen zu haben als feuchte (13% H_2O). Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit Wachstumsuntersuchungen von Curtis et al. (1958) und Ahnström (1968), die bei feuchten Samen (13% H_2O) einen geringeren Strahleneinfluß fanden als bei trockenen (4.5% H_2O). Sie bedürfen aber noch kritischer Prüfung, weil in früheren Mutationsexperimenten (Mikaelson

und Kramer, im Druck) dieser Einfluß des Wassergehaltes nicht gefunden werden konnte. Nach Ahnström (1968) könnte dieser Wassereffekt auf den unterschiedlichen Hydratationsgrad der Makromoleküle zurückzuführen sein. Wie schon bei der Besprechung der Gammastrahlenexperimente erwähnt, kommt es bei hydratisierten Makromolekülen zu sehr raschen physikalischen und chemischen Wiederherstellungsprozessen, die den Strahlenschaden reduzieren. Bei Abwesenheit dieser Hydratationsschale der Makromoleküle können diese Vorgänge nur sehr langsam ablaufen. Radikal-Radikalreaktionen erfolgen bei schnellen Neutronen durch ihre hohe Ionisationsdichte mit großer Geschwindigkeit. Daraus geht hervor, daß bei feuchten Samen (13% H_2O) eine Konkurrenz zwischen den physikalisch-chemischen Wiederherstellungsprozessen, die den Strahlenschaden reduzieren, und den Radikal-Radikalreaktionen, die den Schaden fixieren, eintreten kann. In trockenen Samen (4.5% H_2O) unterbleibt die Konkurrenz durch die fehlende Hydratationsschale, wodurch eventuelle Wiederherstellungsprozesse unmöglich sind und der Strahlenschaden vergrößert auftritt. Da die Radikal-Radikalreaktionen sehr rasch ablaufen, sind Radikal-Sauerstoffreaktionen nicht zu erwarten. Die Ergebnisse von Conger und Constantin (1969) müssen daher kritisch bewertet werden. Vielleicht könnten Elektronen-spin-resonanzstudien Aufschluß geben, ob bei Neutronenbestrahlungen langlebige freie Radikale auftreten.

Der Quellungszustand der Samen hat sich als ein weiterer, wichtiger, strahlenbeeinflussender Faktor erwiesen. Es hat sich gezeigt, daß bereits eine kurze Quellzeit von 4^h den Strahleneinfluß beträchtlich erhöht, ein weiterer Anstieg der Quellzeit bis auf 24^h läßt eine drastische Zunahme der Strahlenempfindlichkeit erkennen (Abb. 11-13; Tab. XIX-XXII). Die Ergebnisse zeigen weiters, daß gequollene, gammabestrahlte Samen empfindlicher reagieren als neutronenbestrahlte. Durch die Quellung der Samen in Wasser kommt es zuerst zu einer Wasseraufnahme, mit steigender Quellzeit nimmt dann ihre Stoffwechselaktivität immer mehr zu. Nach Hoskinson und Osborne (1961) beträgt der Wassergehalt der Samen nach 4^h Quellung ca. 34%, nach 24^h ca. 44%. Da schnelle Neutronen in der Hauptsache Neutronen-Protonenreaktionen verursachen, spielt bei ihnen der Wasserstoffgehalt

(und damit auch der Wassergehalt) zur Bestimmung der effektiv absorbierten Dosis eine Rolle. Gammastrahlen werden, da sie hauptsächlich über freigesetzte Elektronen reagieren, vom Wassergehalt im bezug auf ihre absorbierte Dosis nicht beeinflusst. Erfolgt die Bestimmung der Neutronendosis mit Ionisationskammern, so muß anschließend die effektiv absorbierte Dosis durch die Korrektur der atomaren Zusammensetzung bestimmt werden. Nach Ehrenberg und Saeland (1954) haben Gerstenembryonen bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 10% folgende atomare Zusammensetzung:

7.4% H, 46.6% C, 35.3% O, 4.8% N.

Nach IAEA, Technical Reports, Series no. 76 (1967) muß je % atomarer Zusammensetzung folgende Korrektur gemacht werden:

Element	Korrektur je %
H	0.112
C	0.0015
O	0.0012
N	0.0014

Die absorbierte Dosis an schnellen Neutronen in Samen mit 10% Wasser wird nun durch Multiplikation der Dosis der CH-Ionisationskammern mit dem Korrekturfaktor ermittelt. Der Korrekturfaktor für Samen mit 10% errechnet sich aus:

$$(7.4 \times 0.112) + (46.6 \times 0.0015) + (35.3 \times 0.0012) + (4.8 \times 0.0014)$$

$$\begin{aligned} \text{Der Korrekturfaktor für Samen mit } 0\% \text{ H}_2\text{O} &= 0.904 \\ 10\% \text{ H}_2\text{O} &= 0.947 \\ 50\% \text{ H}_2\text{O} &= 1.114 \end{aligned}$$

Das bedeutet, daß eine mit der CH-Ionisationskammer gemessene Neutronendosis von 100 rad bei trockenen Samen (0% H₂O) nur 90 rad, bei feuchten (10% H₂O) 95 rad, bei 24^h gequollenen Samen (ca. 50% H₂O) 110 rad beträgt. Nach einer 4-stündigen Quellung beträgt der Wassergehalt der Samen ca. 34% (Hoskinson und Osborne 1961). Bei diesem Feuchtigkeitsgehalt ist die gemessene und die effektiv absorbierte Dosis gleich. Aus diesen Ausführungen geht hervor, daß der Wasser-

gehalt der Samen die effektiv absorbierte Neutronendosis in einem sehr geringen Ausmaß beeinflusst.

Eine 4-stündige Quellung der Samen (Abb. 12, 13) bewirkt eine 50%ige Reduktion der Dosis an schnellen Neutronen und Gammastrahlen zur Erzielung derselben Chlorophyllmutationsrate wie ruhende Samen. Dieses Ergebnis ist schwierig zu interpretieren, weil nach 4^h Quellzeit noch keine Stoffwechselaktivität zu bemerken ist, die einen erhöhten Strahleneinfluß bewirken könnte. Wertz (1940) berichtet, daß eine Quellzeit zwischen 3^h und 6^h zu einer deutlichen Auflockerung der Zellkerne führt. Durch die Volumszunahme könnte die Trefferwahrscheinlichkeit erhöht werden. Ob diese Auflockerung der Kernsubstanz mit der höheren Strahlenempfindlichkeit in Zusammenhang steht, läßt sich aus den Ergebnissen nicht zeigen.

Eine Erhöhung der Quellzeit auf 12^h bzw. 24^h steigert ihre Strahlenempfindlichkeit sehr stark. Diese drastische Zunahme der Strahlensensitivität ist in erster Linie auf die hohe Stoffwechselaktivität zurückzuführen. Zwischen 16^h und 17^h Quellung beginnt bei Gerste die Synthese der Desoxyribonukleinsäure (Mikaelson et al. 1968), nach 24 Stunden werden in den Koleoptilen und in den Blättern die ersten Zellteilungen sichtbar (Wertz 1940).

Aus den vorliegenden Experimenten ist ersichtlich (Abb. 12, 13; Tab. XXI, XXII), daß Samen, die sich in der Phase der hohen Stoffwechselaktivität befinden, auf eine Bestrahlung mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen unterschiedlich reagieren. Bei schnellen Neutronen tritt bei 24^h Quellzeit eine geringe Reduktion der Chlorophyllmutationsrate, eine bessere Fertilität und eine gute Überlebensrate auf. Bei Gammastrahlen zeigt sich eine Reduktion der Mutationsfrequenz und der Fertilität; die Überlebensrate ist vor allem bei höheren Dosen drastisch verringert. Daraus geht hervor, daß bei gammabestrahlten Samen bereits in sehr frühen Entwicklungsstadien der Zelltod in verstärktem Maße eintritt, während neutronenbestrahlte Samen gute Überlebenschancen besitzen. Verschiedene Autoren (Ehrenberg et al. 1952, 1953, MacKey 1951, 1952, Nybom et al. 1952) weisen darauf hin, daß die mikroskopisch sichtbaren Chromosomenschäden nach Neutronenbestrahlung höher sind als nach Gammabestrahlung. Theoretisch

besteht die Möglichkeit, daß Gammastrahlen in den Chromosomen mikroskopisch unsichtbare Schäden (z.B. an der DNS) hervorrufen, die von den schnellen Neutronen nicht verursacht werden. Dale (1954) berichtet, daß locker ionisierte Strahlen (wie z.B. Gammastrahlen) eine höhere Reaktionsbereitschaft mit den verschiedensten organischen Substanzen (Enzyme, Aminosäuren usw.) aufweisen als dicht ionisierende (wie z.B. schnelle Neutronen). Die dicht ionisierenden Strahlen formen in der Hauptsache Wasserstoffperoxyd, das durch Peroxyd abbauende Enzyme (Katalase, Peroxydase) rasch zerstört wird. Daraus könnte der Schluß gezogen werden, daß die zahlreichen chemischen Veränderungen bei Gammastrahlen für schwere Schädigungen in Zellkern und Plasma verantwortlich sind und die hohe Letalität bewirken. In früheren Arbeiten (Ehrenberg et al. 1952, 1953, MacKey 1951, 1952, Nybom et al. 1952) wird bereits auf das unterschiedliche Verhalten gequollener Samen auf Bestrahlung mit schnellen Neutronen oder Röntgenstrahlen hingewiesen. Obwohl die damaligen Neutronendosen mit den heutigen schwer vergleichbar sind, stimmen die grundsätzlichen Beobachtungen mit den Ergebnissen meiner Experimente überein.

Ehrenberg et al. (1953) weisen darauf hin, daß Chromosomenaberrationen für den Großteil der Zelleliminierung nicht verantwortlich sein können, weil der Eliminierungsprozeß nach Neutronenbestrahlung sehr gering ist, Neutronen jedoch große Chromosomenschäden und eine hohe Sterilität in der ersten Generation bewirken.

Quellung und Rücktrocknung von Samen vor einer Behandlung mit schnellen Neutronen oder Gammastrahlen zeigt ein verändertes Bild (Abb. 14-16; Tab. XXIII-XXVI). Zwar ist auch hier durch zunehmende Quellzeit eine gesteigerte Strahlenempfindlichkeit in bezug auf Überlebensrate und Mutationsfrequenz zu beobachten, sie ist jedoch geringer als bei naß bestrahlten Samen. Vor allem gammabestrahlte Samen lassen erkennen, daß der hohe Zelltötungseffekt der naß bestrahlten Samen bei rückgetrockneten nicht auftritt. Das bestärkt die Annahme, daß vor allem verschiedene radiochemische Produkte die hohe Zelltötung in den naß bestrahlten Samen bewirken könnten.

Die geringe Chlorophyllmutationsrate der 4^h gequollenen, rückgetrockneten und gammabestrahlten Samen ist unerwartet und bedarf weiterer kritischer Untersuchungen. Die höchste Mutationsfrequenz wird in beiden Strahlenarten durch 24-stündige Quellung erzielt. Bei dieser Quellzeit befinden sich die Zellen nach Abschluß der DNS-synthese bereits in einer vormitotischen Phase, die eine gesteigerte Strahlenempfindlichkeit bedingen könnte. Die gute Fertilität rückgetrockneter neutronen- und gammabestrahlter Samen weist auf eine geringere Chromosomenschädigung hin, die möglicherweise durch bessere Heilungsmöglichkeiten der zerbrochenen Chromosomen in dieser Entwicklungsphase bedingt ist. Kamra et al. (1960b) berichten, daß eine Quellung und Rücktrocknung röntgenbestrahlter Gerstensamen zu verstärkten Strahlenschäden und erhöhter Chlorophyllmutationsrate führt. Nach der Meinung dieser Autoren könnten dafür teilweise Auslaugverluste verantwortlich sein. Die Ergebnisse der vorliegenden Experimente lassen darüber keinen Aufschluß zu.

Die Ergebnisse der Cysteinexperimente zeigen, daß durch Cystein das Keimblattwachstum der Samen stärker beeinflusst wird als die Chlorophyllmutationsrate. Frühere Untersuchungen von Mikaelson (1952, 1954, 1955) mit *Tradescantia*, von Forssberg und Nybom (1953), Riley (1957), Dalen und Oftebro (1963) und Mikaelson und Pedersen (1968) mit *Allium cepa* weisen vor allem auf die schützende Wirkung von Cystein und ähnlichen Substanzen gegen strahleninduzierte Chromosomenbrüche hin. In eigenen unveröffentlichten Untersuchungen konnte die cysteinbedingte Reduktion der Chromosomenaberrationsfrequenz bestätigt werden. Bisher liegen sehr wenig Untersuchungen über den Einfluß von Cystein und anderen strahlenschützenden Substanzen auf die strahleninduzierte Mutationsrate vor. Mehrere Autoren (Hollaender 1957, Hollaender und McCarthy 1959, Kölmark 1959, Künkel et al. 1961, zitiert in Bacq 1965) berichten über Reduktionen der Mutationsrate bei Mikroorganismen durch Behandlung mit Cystein oder Cysteamin vor Röntgenbestrahlung. Meine Experimente zeigen, daß die Chlorophyllmutationsfrequenz bei Gerste unter den verwendeten Behandlungsbedingungen durch Cystein nur gering beeinflusst wird. Mikaelson (1955b) und Mikaelson und Pedersen (1968) weisen auf die Bedeutung der

Konzentration der strahlenschützenden Substanz und der verwendeten Dosis hin. Nach diesen Autoren sollen die Konzentration und die Dosis sorgfältig gewählt werden, weil beide eine Verzögerung der Mitose bewirken können. Aus den vorliegenden Experimenten kann durch die Verwendung der relativ hohen Konzentration von 0.1 m Cystein die Möglichkeit der mitotischen Beeinflussung nicht ausgeschlossen werden. Kovacs et al. (1968) zeigen, daß E.coli B Kulturen durch 0.2 m M-L-Cystein-HCl gehemmt werden, während verschiedene andere Aminosäuren in höheren Konzentrationen keine Hemmung verursachen. Diese gehemmten Bakterienkulturen erreichen gegen Röntgenbestrahlung eine verstärkte Strahlenresistenz. Durch Zugabe von L-Leucin, L-Isoleucin, L-Valin und L-Threonin verschwinden sowohl die Wachstumshemmung als auch der Schutzeffekt des Cysteins. Kovacs et al. (1968) vermuten deshalb, daß Cystein die Biosynthese einiger Aminosäuren und dadurch die Proteinsynthese hemmen könnte. Nach Leavitt und Umbarger (1961) hemmt Cystein eines der gemeinsamen Enzyme der Isoleucin-Valinsynthese. Es kommt durch Cystein zu einem Stillstand der Protein- und Ribonukleinsäuresynthese in E. coli, während die Desoxyribonukleinsäure noch eine Zeit weitergebildet wird. Meine Ergebnisse deuten darauf hin, daß eine lange Quellzeit in 0.1 m Cystein eine Hemmung der Mitose bewirkt. Aus den Keimlingsexperimenten mit kurzer Quellzeit in 0.1 m Cystein und den Ergebnissen anderer Autoren, die mit wesentlich geringeren Konzentrationen gearbeitet haben (Mikaelsen 1952, 1954, 1955, Mikaelsen und Pedersen 1968), geht klar hervor, daß Cystein auch eine echte schützende Wirkung gegen strahleninduzierte Chromosomenbrüche und Wachstumsreduktionen aufweist. Nach 20^h Quellung in Wasser und Bestrahlung mit 1 krad Gammastrahlen erreichen die Keimblätter ein Wachstum von 52%, nach 24^h Quellung nur noch 30% (Tab. XX). Eine 20-stündige Quellung in Wasser mit anschließend 4-stündiger in 0.1 m Cystein ergibt jedoch über 82% Wachstum bei derselben Dosis (Abb. 18; Tab. XXVIII). Das entspricht einer cysteinbedingten Wachstumsverbesserung von 30% gegenüber Samen mit 24-stündiger Quellung in Wasser. Daraus geht hervor, daß Samen die sich in einer hohen Stoffwechselaktivität befinden, durch kurzzeitiges Quellen in 0.1 m Cystein einen klaren Strahlenschutz er-

reichen, der nicht auf eine hemmende Wirkung des Cysteins zurückgeführt werden kann. Die Wachstumsverbesserung cysteingequollener, gammabestrahlter Samen ist dosisabhängig; mit steigender Dosis tritt eine deutliche Wachstumszunahme erst nach 24^h Quellzeit in 0.1 m Cystein auf. Die Ergebnisse der Chlorophyllmutationsanalyse zeigen, daß Cystein auf die durch schnelle Neutronen und Gammastrahlen induzierte Mutationsrate unter diesen Versuchsbedingungen ohne sicheren Einfluß ist.

Die Ursache der Strahlenschutzwirkung von Cystein und anderen Substanzen ist bis heute nicht klar. Es gibt eine größere Zahl Theorien über mögliche Reaktionsmechanismen (Bacq 1965). Aus den vorliegenden Experimenten lassen sich folgende Reaktionsmöglichkeiten des Cysteins ableiten: Eine lange Quellzeit in Cystein kann zu einer Hemmung des Stoffwechsels führen. Durch die Hemmung befinden sich die Zellen in einer weniger sensitiven Stoffwechselphase, wodurch der Strahlenschaden vermindert wird. Eine kurze Quellung in Cystein scheint vor allem Reaktionen zwischen Cystein und primären und sekundären Strahlenprodukten zu bewirken. Auf diese Weise läßt sich vor allem die dosisabhängige Cysteinwirkung erklären. Mit steigender Dosis nimmt die Zahl der primären und sekundären Strahlenprodukte zu. Da die Cysteinkonzentration der Zellen konstant bleibt, wird Cystein so lange mit Strahlenprodukten in Reaktion treten können, bis die reaktionsfähigen Cysteinmoleküle aufgebraucht sind. Daher ergibt sich ein abnehmender Strahlenschutz mit steigender Dosis. Cystein könnte auch mit dem Sauerstoff in den Zellen reagieren und auf diese Weise die Möglichkeit einer Reaktion zwischen strahleninduzierten Radikalen und Sauerstoff verringern. Die beiden letztgenannten Möglichkeiten werden auch von Mikaelson und Pedersen (1968) diskutiert. Die große Cysteinwirkung bei den locker ionisierenden Gammastrahlen, die relativ geringe bei den dicht ionisierenden schnellen Neutronen nach Quellung der Samen in 0.1 m Cystein und Rücktrocknung, weist auch auf eine indirekte Wirkung hin.

Zusammenfassend kann über die Wirkung von schnellen Neutronen und Gammastrahlen auf Gerstensamen gesagt werden: Schnelle Neutronen werden von modifizierenden Faktoren weniger beeinflusst als

Gammastrahlen. Schnelle Neutronen erzeugen hohe Chromosomenschäden, eine gute Überlebensrate und eine große Sterilität. Gammastrahlen haben geringere Chromosomenschäden, eine schlechtere Überlebensrate und eine relativ geringe Sterilität. Die Anzahl an Mutationen je 100 M_1 -Ähren ist bei schnellen Neutronen etwas besser als bei Gammastrahlen.

Die Anzahl an M_2 -Mutanten je 1000 M_2 -Keimlinge liegt bei schnellen Neutronen beträchtlich über der von Gammastrahlen.

Das durchschnittliche Aufspaltungsverhältnis ist bei schnellen Neutronen höher als bei Gammastrahlen.

Aus diesen Ergebnissen kann daher der Schluß gezogen werden, daß schnelle Neutronen in der Hauptsache direkte Strahleneffekte hervorrufen, während bei Gammastrahlen direkte und indirekte Strahleneffekte eine große Bedeutung haben. Die indirekten können vor allem durch verschiedene modifizierende Faktoren gesteuert werden.

Untersuchungen von Pereau-Leroy (1968) über das Chlorophyllmutationsspektrum nach Bestrahlung mit schnellen Neutronen und Gammastrahlen lassen keine Unterschiede zwischen den beiden Strahlenarten erkennen. Die vorliegenden Ergebnisse, die aus einer größeren Population gewonnen wurden, stimmen mit denen von Pereau-Leroy überein.

Mikaelsen et al. (1968), Li (1969) und Brunner et al. (im Druck) haben gezeigt, daß verschiedene chemische Mutagene viel effektiver in der Induktion von Chlorophyllmutationen sind als ionisierende Strahlen. Bei Untersuchungen über das Verhältnis von Chlorophyllmutationsfrequenzen zu Makromutationshäufigkeiten zwischen neutronenbestrahlten und mit Äthylmethansulfonat (ÄMS, Li 1969) behandelten Samen haben sich deutliche Differenzen ergeben. ÄMS hat sich zur Induktion von Chlorophyllmutationen als doppelt so effektiv erwiesen wie schnelle Neutronen, bei Makromutationen konnte zwischen beiden kein Unterschied gefunden werden. Obwohl diese Ergebnisse in großen Populationen noch kritisch geprüft werden sollen, erscheinen sie sehr interessant, weil die Wirksamkeit vieler Mutagene bis heute nur an Chlorophyllmutationen gemessen wurde. Nilan (1966) weist darauf hin, daß die Aussagekraft von Chlorophyllmutationen relativ gering ist, weil die Chlorophyllsynthese ein komplexer biochemischer Prozeß ist, der in Gerste wahrscheinlich von über 200 Genen gesteuert

wird. Die Wirksamkeit eines Mutagens sollte daher in großen Populationen im Feldversuch getestet werden, wobei neben den Makromutationen die fast wichtigeren Mikromutationen als Maßstab verwendet werden sollten.

V. ANWENDUNG FÜR DIE PRAXIS

Aus den vorliegenden Experimenten geht hervor, daß sich ruhende Samen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 13% für praktische Zwecke am besten eignen, wenn ionisierende Strahlen zur Induktion von Mutationen verwendet werden. Es empfiehlt sich, die Samen 2-3 Wochen vor der Bestrahlung in einem Exsikkator über einer 60%igen Glycerinlösung bei Zimmertemperatur zu lagern, damit sie einen Wassergehalt von 13% erreichen. Im allgemeinen kann jene Dosis, die sich aus dem Schnittpunkt zwischen hoher Mutationsrate und guter Überlebensrate und Fertilität ergibt, empfohlen werden.

Da vor allem Gamma- und die in ihrer Wirkung identischen Röntgenstrahlen von Umweltfaktoren sehr beeinflußt werden, ist es ratsam, den Wassergehalt von 13-14% genau einzuhalten, um Sauerstoff- und Lagereffekte auszuschalten. Der empfehlenswerte Dosisbereich liegt für die meisten Gerstensorten zwischen 20 krad und 30 krad.

Schnelle Neutronen werden von Umweltfaktoren weniger beeinflußt. Ihr empfehlenswerter Dosisbereich liegt für die meisten Gerstensorten zwischen 400 und 500 rad.

Die M_2 -Chlorophyllmutantenfrequenz ist nach Behandlung mit schnellen Neutronen höher als nach Gammabestrahlung. Außerdem wird durch schnelle Neutronen eine bessere Überlebensrate, eine geringere Fertilität und ein höheres Aufspaltungsverhältnis als durch Gammastrahlen bewirkt. Dies führt zu einer Verringerung des Untersuchungsmaterials und damit zu einer Arbeitersparnis bei schnellen Neutronen, wodurch sie gewisse Vorteile gegenüber Gammastrahlen aufweisen.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

In den vorliegenden Experimenten wurde der Einfluß verschiedener modifizierender Faktoren auf die durch schnelle Neutronen und Gammastrahlen induzierte Chlorophyllmutationsrate und das Keimblattwachstum bei Gerste untersucht.

Es hat sich gezeigt, daß der Wassergehalt ruhender Samen und die Sauerstoffkonzentration während und nach der Bestrahlung die Wirkung von Gammastrahlen sehr beeinflussen kann. Bei schnellen Neutronen ist kein Einfluß des Sauerstoffes, wohl aber des Wassergehaltes ersichtlich. Der Quellungszustand der Samen beeinflusst sehr stark die Strahlenwirkung, wobei nach Gammastrahlung mit zunehmender Quellzeit eine größere Reduktion der Überlebensrate, der Chlorophyllmutationsfrequenz und der Fertilität feststellbar ist als nach Behandlung mit schnellen Neutronen. Eine Quellung mit anschließender Rücktrocknung erhöht die Strahlenwirkung von schnellen Neutronen und Gammastrahlen.

Eine Quellung in 0.1 m Cystein beeinflusst das Keimblattwachstum neutronenbehandelter oder gammabestrahlter Gerstensamen sehr stark, die Chlorophyllmutationsrate jedoch nur in geringem Ausmaß. Mit zunehmender Quellzeit in 0.1 m Cystein steigt die Überlebensrate gammabestrahlter Samen an.

Quellung in 0.1 m Cystein mit anschließender Rücktrocknung erhöht das Keimblattwachstum von Gerstensamen nach Gammastrahlung, bei schnellen Neutronen zeigt sich keine Wirkung. Auch die Chlorophyllmutationsrate rückgetrockneter Samen läßt keine Cysteinwirkung erkennen.

Das Chlorophyllmutationsspektrum neutronen- oder gammabestrahlter Samen weist keine Unterschiede auf.

Mit schnellen Neutronen oder mit Äthylmethansulfonat (ÄMS) behandelte Samen zeigen keine Unterschiede in der Makromutationsfrequenz, jedoch in der Chlorophyllmutationsfrequenz erreicht ÄMS den doppelten Wert. Von 15 auf Frühreife selektierten Mutanten erwiesen sich bei genauer Prüfung 9 als wirklich früher reif.

Die 2 geprüften Erectoides-Mutanten zeigen deutliche Unterschiede in bezug auf Halm- und Ährenlänge, im Ertrag konnte kein signifikanter Unterschied zur Muttersorte Union gefunden werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Adams, J.D., R.A. Nilan and H. Gunthardt, After effects of ionizing radiation in barley. I. Modification by storage of X-rayed seeds in oxygen and nitrogen. Northwest Science 29 : 101-108 (1955).
- Ahnström, G., Effects of oxygen and moisture content on the radiation damage in barley seeds irradiated with fast neutrons and gamma rays. In Neutron Irradiation of Seeds II, IAEA Wien, 43-48 (1968).
- Ahnström, G. and K. Mikaelson, Life times of radiation-induced oxygen-sensitive centres in barley embryos soaked at different temperatures. In Mutations in Plant Breeding II, IAEA Wien, 283-286 (1968).
- Bacq, Z.M., Chemical Protection Against Ionizing Radiation. C. Thomas Publishers, Springfield (1965).
- Bacq, Z.M. and P. Alexander, Fundamentals of Radiobiology. 2d edition. Pergamon Press, Oxford (1961).
- Barron, E.S.G., S. Dickman, J.A. Muntz and T.S. Singer, Studies on the mechanism of action of ionizing radiation. I. Inhibition of enzymes by X-rays. J. Gen. Physiol. 32 : 537-552 (1949).
- Bergbusch, V.L. and R.S. Caldecott, The effects of preirradiation and postirradiation temperature treatments on the X-ray sensitivity of seeds of Hordeum. Radiation Res. 20 : 207-220 (1963).
- Biebl, R. and J.Y. Mostafa, Water content of wheat and barley seeds and their radiosensitivity. Radiation Botany 5 : 1-6 (1965).
- Brunner, H. und K. Mikaelson, Studien über den Einfluß modifizierender Faktoren in der Äthylmethansulfonatwirkung auf Gerste. (Im Druck).
- Burnett, W.T., G.E. Stapleton, L.M. Morse and A. Hollaender, Reduction of X-ray sensitivity of Escherichia coli B/r by sulfhydryl compounds, alcohols, glycerol and sodium hydrosulfite. Proc. Soc. Exper. Biol. Med. 77 : 636-638 (1951).
- Caldecott, R.S., Inverse relationship between the water content of seeds and their sensitivity to X-rays. Science 120 : 809-810 (1954).

Caldecott, R.S., Effects of hydration on X-ray sensitivity in Hordeum.
Radiation Res. 3 : 316-330 (1955).

Caldecott, R.S., The effects of X-rays, 2-MEV electrons, thermal
neutrons and fast neutrons on dormant seeds of barley.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 59 : 514-535 (1955).

Caldecott, R.S., Post-irradiation modification of injury in barley -
its basic and applied significance. Proc. 2nd Int. Conf.
PUAE 27 : 260-269 (1958).

Caldecott, R.S., Seedling height, oxygen availability, storage and
temperature : their relation to radiation-induced genetic
and seedling injury in barley. In Effects of Ionizing Radiation
on Seeds IAEA Wien, 3-24 (1961).

Casarett, A.P., Radiation Biology. Prentice Hall Inc., Englewood
Cliffs, (1968).

Chapman, W.H., C.R. Sipe, D.C. Eltzholtz, E.P. Cronkite and F.W. Chambers,
Sulfhydryl-containing agents and the effects of ionizing
radiations. Beneficial effect of glutathione injection on
X-ray induced mortality rate and weight loss in mice. Radiology
55 : 865-873 (1950).

Conger, A.D., Biological damage and free radicals in irradiated seeds.
NAS-NRC 1355 : 177-189 (1966).

Conger, B.V. and M.J. Constantin, The influence of oxygen on the response
of very dry Himalaya barley seeds to unmoderated fission
neutrons. Barley newsletter 25-27 (1969).

Conger, B.V., R.A. Nilan, C.F. Konzak and S. Metter, The influence of
seed water content on the oxygen effect in irradiated barley
seeds. Radiation Botany 6 : 129-144 (1966).

Conger, B.V., R.A. Nilan and C.F. Konzak, The role of water content
in the decay of radiation induced oxygen sensitive sites in
barley seeds during post-irradiation hydration. Radiation
Res. 39 : 45-56 (1969).

- Curtis, H.J., N. Delihias, R.S. Caldecott and C.F. Konzak,
Modification of radiation damage in dormant seeds by storage.
Radiation Res. 8 : 526-534 (1958).
- Dale, W.M., Basic radiation biochemistry. In Radiation Biology I
A. Hollaender Edit., 255-281 (1954).
- Dalen, H. and R. Oftebro, The radioprotective effect of cysteine,
AET and cystamine on chromosome damage in *Allium cepa* root
tips. Radiation Botany 3 : 59-63 (1963).
- Ehrenberg, A. and L. Ehrenberg, The decay of X-ray induced free
radicals in plant seeds and starch. Ark. Fysik 14 : 133-141
(1958).
- Ehrenberg, L., Factors influencing radiation induced lethality,
sterility and mutations in barley. Hereditas 41 : 123-146 (1955).
- Ehrenberg, L., Å. Gustafsson, U. Lundquist and N. Nybom, Irradiation
effects, seed soaking and oxygen pressure in barley. Hereditas
39 : 493-504 (1953).
- Ehrenberg, L., Å. Gustafsson and N. Nybom, Effects of ionizing
radiations in barley. Arkiv f. Bot. 1 : 557-568 (1952).
- Ehrenberg, L. and U. Lundquist, Post irradiation effects on X-ray
induced mutations in barley seeds. Hereditas 43 : 390-402 (1957).
- Ehrenberg, L., J. Moutschen-Dahmen and M. Moutschen-Dahmen, Aberrations
chromosomiques produites dans des graines par de hautes pressions
d'oxygène. Acta Chem. Scand. 11 : 1428-1429 (1957).
- Ehrenberg, L. and E. Saeland, Effects of pile radiation on barley seeds.
J. Nuclear Energy 1 : 150-169 (1954).
- Forsberg, A., On the possibility of protecting the living organism
against roentgen rays by chemical means. Acta Radiol. 33 : 296
(1950).
- Forsberg, A. and N. Nybom, Combined effects of cysteine and irradiation
on growth and cytology of *Allium cepa* roots. Physiol. Plantarum
6 : 78-95 (1953).

- Frøier, K., O. Gelin and Å. Gustafsson, The cytological response of polyploidy to X-ray dosage. Bot. Not. (Lund) 199-216 (1941).
- Gager, C.S. and A.F. Blakeslee, Chromosome and gene mutations in *Datura* following exposure to radium rays. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. 13 : 75-79 (1927).
- Gaul, H., Mutationen in der Pflanzenzüchtung. Z. Pflanzenzüchtung 50 : 194-307 (1963).
- Gelin, O., The cytological effect of different seed treatments in X-rayed barley. Hereditas 27 : 209-219 (1941).
- Giles, N.H., A.V. Beatty and H.P. Riley, The effect of oxygen on the production by fast neutrons of chromosomal aberrations in *Tradescantia* microspores. Genetics 37 : 641-649 (1952).
- Goodspeed, T.H., The effects of X-rays and radium on species of the genus *Nicotiana*. J. Heredity 20 : 243-259 (1929).
- Gustafsson, Å., The different stability of chromosome and the nature of mitosis. Hereditas 27 : 281-335 (1937).
- Gustafsson, Å., Studies on the genetic basis of chlorophyll formation and the mechanism of induced mutation. Hereditas 24 : 33-93 (1938).
- Gustafsson, Å., The mutation system of the chlorophyll apparatus. Lunds. Univ. Årsskr. 36 : 1-40 (1940).
- Gustafsson, Å., Mutations in agricultural plants, Hereditas 33 : 1-100 (1947).
- Gustafsson, Å., Productive mutations induced in barley by ionizing radiations and chemical mutagens. Hereditas 50: 211-263 (1963).
- Hagberg, A., Barley mutations used as a model for the application of cytogenetics and other sciences in plant breeding. Ber. 2. EUCARPIA-Kongr. Köln, 235-248 (1959).
- Hagberg, A., Induced structural mutations in barley, especially translocations, and their use in further directed production of variations. In Mutations in Plant Breeding I, IAEA Wien 109-116 (1966).

- Hagberg, A., Å. Gustafsson and L. Ehrenberg, Sparsely contra-
densely ionizing radiations and the origin of erectoid
mutations in barley. *Hereditas* 44 : 523-530 (1958).
- Hagberg, A. and G. Hagberg, Induced translocations in barley.
In *Mutations in Plant Breeding II*, IAEA, Wien, 129-137 (1968).
- Hayden, B. and L. Smith, The relation of atmosphere to biological
effects of X-rays. *Genetics* 34 : 26-43 (1949).
- Hollaender, A., The effects of pre- and posttreatments on the
radiosensitivity of microorganisms. In *Advances in Radio-
biology*, Oliver and Boyd, Edinburgh, 123-133 (1957).
- Hollaender, A. and A.M. McCarthy, Mutagenicity in *Aspergillus*
terreus of sublethal X-ray doses and its modification by
chemical protection. *Science* 130 : 1420 (1959).
- Horvat, F., Effets cytogénétiques globaux de la cystéamine chez
Oryza sativa. *Agricultura* 10 : 169 (1962).
- Foskinson, P.E. and T.S. Osborne, Radiosensitivity of seeds. II.
Effects of soaking, storage and gamma rays. *Radiation Res.*
14 : 681-688 (1961).
- International Atomic Energy Agency. Neutron Irradiation of Seeds.
Technical Reports Series No. 76, Wien (1967).
- Kamra, O.P., Effect of oxygen on the development of seedling injury
following fast neutron seed irradiation (Im Druck).
- Kamra, O.P., S.K. Kamra, R.A. Nilan and C.F. Konzak, Radiation
response of soaked barley seeds. I. Substances lost by
leaching. *Hereditas* 46 : 152-170 (1960a).
- Kamra, O.P., S.K. Kamra, R.A. Nilan and C.F. Konzak, Radiation
response of soaked barley seeds. II. Relation of radio-
biological damage to substances lost by leaching. *Hereditas*
46 : 261-273 (1960b).

- Kohn, H.T. and S.E. Gunter, Factors influencing the radio-protective activity of cysteine. Effects in *Escherichia coli* due to drug concentration, temperature, time and pH. *Radiation Res.* 11 : 250-255 (1959).
- Kølmærk, C., Chemical protection against radiation effects in *Neurospora crassa*. *Radiation Res.* 11 : 450 (1959).
- Konzak, C.F., Differential sensitivity of soaked barley seeds to X-rays and thermal neutrons. *Radiation Res.* 1 : 220 (1954).
- Konzak, C.F., Genetic effects of radiation on higher plants. *Quart. Rev. Biol.* 32 : 27-45 (1957).
- Konzak, C.F., K. Mikaelson, B. Sigurbjörnsson and A. Burtscher, Recommended standard procedures for irradiating, cultivating and measuring cereal seeds to determine the effects of neutron irradiation in the neutron-seed-irradiation programme. In *Neutron Irradiation of Seeds*. IAEA Wien, 103-107 (1967).
- Konzak, C.F., R.A. Nilan, J.R. Harle and R.E. Heiner, Control of factors affecting the response of plants to mutagens. *Fundamental Aspects Radiosensitivity*. Brookhaven Symp. *Biol.* 14 : 128-157 (1961).
- Konzak, C.F. and W.R. Singleton, The relationship of polyploidy to the effects of thermal neutron exposure on plants. *Genetics* 37 : 596-597 (1952).
- Kovacs, P., Cs. Kari, Zs. Nagy and F. Hernady, Possible explanation for the metabolic radioprotective effect of cysteine on *E. coli* P. *Radiation Res.* 36 : 217-224 (1968).
- Kronstad, W.E., R.A. Nilan and C.F. Konzak, The mutagenic effect of oxygen in barley seeds. *Science* 129 : 1618 (1959).
- KUnkel, H.A., P. Kamm und G. Höhne, Über den Einfluß von Cystein auf die strahleninduzierte Mutationsrate bei *Escherichia coli*. *Strahlentherapie* 114 : 94-102 (1961).

Leavitt, R.J. and H.E. Umbarger, Isoleucine and valine metabolism in *E. coli*. X. The enzymatic formation of acetohydroxy butyrate. *J. Biol. Chem.* 236 : 2486-2491 (1961).

Li, W.C., Studien über die Wirkung alkylierender Reagentien in Gerste (*Hordeum vulgare*) unter Berücksichtigung von DAS (Diäthylsulfat) und EMS (Äthylmethansulfonat). Dissertation an der Hochschule für Bodenkultur, Wien, (1969).

Lundquist, U. and D. von Wettstein, Induction of eceriferum mutants in barley by ionizing radiations and chemical mutagens. *Hereditas* 48 : 342-362 (1962).

MacKey, J., Neutron and X-ray experiments in barley. *Hereditas* 37 : 421 (1951).

MacKey, J., The biological action of X-rays and fast neutrons on barley and wheat. *Arkiv f. Bot.* 1 : 545-556 (1952).

Mikaelsen, K., The protective effect of glutathione against radiation induced chromosome aberrations. *Science* 116 : 172 (1952).

Mikaelsen, K., Protective properties of cysteine, sodium hyp-sulfite and sodium cyanide against radiation induced chromosome aberrations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 40 : 171-178 (1954).

Mikaelsen, K., Cytological effects of chronic gamma irradiation and the protective property of certain chemicals against the radiation induced chromosome aberrations. *Radiology Liège Butterworth, London*, 316-320 (1955a).

Mikaelsen, K., The protective property of thiourea against radiation induced chromosome aberrations. *Experimental Cell Research* 8 : 400-403 (1955b).

Mikaelsen, K., G. Ahnström and W.C. Li, Genetic effects of alkylating agents in barley. Influence of post-storage, metabolic state and pH of mutagen solution. *Hereditas* 59 : 353-374 (1968).

- Mikaelsen, K. and H. Brunner, Effects of fast neutrons and gamma radiation on seedling and root growth of barley varieties. In Neutron Irradiation of Seeds II IAEA, Wien, 79-82 (1968).
- Mikaelsen, K. and J. Kramer, Effect of water content, oxygen and metabolic state on genetic effect of fast neutron and gamma radiation in barley seeds. Proc. of Symp. on Neutrons in Radiobiology Nov. 11-14, 1969, Oak Ridge, Tenn., USA (im Druck).
- Mikaelsen, K. and K. Pedersen, Protective effectiveness of cysteine, cysteamine and cystamine against X-ray induced chromosome aberrations at different stages of mitosis. Hereditas 60 : 399-406 (1968).
- Moës, A., Action de la cystéamine chez l'orge. Bul. Inst. Agron. Gembloux 25 : 98 (1960).
- Moës, A., Water content, wave length and sensitivity to X-rays in barley. In Effects of Ionizing Radiations on Seeds. IAEA, Wien, 631-641 (1961).
- Mottram, J.C., On the alteration in the sensitivity of cells toward radiation produced by cold and by anaerobiosis. Brit. J. Radiol. 8 : 32-39 (1935).
- Muller, H.J., Artificial transmutation of the gene. Science 56 : 84-87 (1927).
- Nilan, R.A., The relation of carbon-dioxide, oxygen and low temperature to the injury and cytogenetic effects of X-rays in barley. Genetics 39 : 943-953 (1954).
- Nilan, R.A., Factors governing plant radiosensitivity. Proc. Atomic Energy Comm. Report TID-7512 : 151-162 (1956).
- Nilan, R.A., The Cytology and Genetics of Barley. 1951-1962 Washington State University Press, Pullman, Wash., (1964).

- Nilan, R.A., Nature of induced mutations in higher plants. Abhandlung der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Klasse für Medizin, Erwin-Bauer-Gedächtnis-vorlesung IV 1966, 2: 5-20 (1967).
- Nilan, R.A., C.F. Konzak, J.R. Harle and R.E. Heiner, Interrelation of oxygen, water, and temperature in the production of radiation induced genetic effects in plants. Strahlentherapie (Suppl.) 51 : 171-182 (1962).
- Nilan, R.A., C.F. Konzak, R.R. Legault and J.R. Harle, The oxygen effect in barley seeds. In Effects of Ionizing Radiations on Seeds. IAEA, Wien, 139-154 (1961).
- Nybom, N., Mutation types in barley. Acta Agr. Scand. 4 : 430-456 (1954).
- Nybom, N., Å. Gustafsson and L. Ehrenberg, On the injurious action of ionizing radiations in plants. Bot. Not. (Lund) : 343-365 (1952).
- Nybom, N., U. Lundquist, Å. Gustafsson and L. Ehrenberg, Biological effects of X-irradiation at low temperatures. Hereditas 39 : 445-457 (1953).
- Osborne, T.S., An analysis of natural and induced chromosome aberrations in Triticum X Agropyron hybrids and in barley. Ph.D. Thesis, State College, Washington, (1954).
- Pereau-Leroy, P., Effets génétiques compares des rayons gamma et des neutrons sur les graines d'orge. In Neutron Irradiation of Seeds II. IAEA, Wien, 71-78 (1968).
- Persson, G. and A. Hagberg, Induced variation in a quantitative character in barley. Morphology and cytogenetics of erectoides mutants. Hereditas 61 : 115-178 (1969).
- Petry, E., Zur Kenntnis der Bedingungen der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen II. Biochem. Z. 128 : 326-353 (1922).
- Petry, E., Zur Kenntnis der Bedingungen der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen III. Wirkung von Oxidationsmitteln auf die Empfindlichkeit. Biochem. Z. 135 : 353-383 (1923).

- Powers, E.L. and A. Tallentire, The roles of water in the cellular effects of ionizing radiations. In *Actions Chimiques et Biologiques des Radiations*. Masson, Paris 12 : 3-67 (1968).
- Riley, H.P., The protective effect of various chemical compounds against damage to chromosomes by gamma radiation. *Amer. J. Botany* 42 : 765-769 (1955).
- Riley, H.P., Chemical protection against X-ray damage to chromosome. *Genetics* 42 : 593-600 (1957).
- Sax, K., The behaviour of X-ray induced chromosomal aberrations in *Allium* root tip cells. *Genetics* 26 : 418-425 (1941).
- Sears, E.R., The transfer of leaf-rust resistance from *Aegilops umbellulata* to wheat. In *Genetics in Plant Breeding*, Brookhaven Symp. Biol. 9 : 1-22 (1956).
- Smith, L., A comparison of the effect of heat and X-rays on dormant seeds of cereals, with special reference to polyploidy. *J. Agric. Research* 73 : 137-158 (1946).
- Smith, L., Effects of atomic bomb radiations and X-rays on seeds of cereals. *J. Heredity* 41 : 125-130 (1950).
- Smith, L., Cytology and genetics of barley. *Bot Rev.* 17 : 1-51; 133-201; 285-355 (1951).
- Smith, L. and R.S. Caldecott, Modifications of X-ray effects on barley seeds by pre- and post- treatment with heat. *J. Heredity* 39 : 173-176 (1948).
- Sparrow, A.H., R.L. Cuany, J.P. Miksche and L.A. Schairer, Some factors affecting the responses of plants to acute and chronic radiation exposures. *Radiation Botany* 1 : 10-34 (1961).
- Sparrow, A.H. and G.M. Woodwell, Prediction of the sensitivity of plants to chronic gamma irradiation. *Radiation Botany* 2 : 9-26 (1962).
- Stadler, L.J., Mutations in barley induced by X-rays and radium. *Science* 68 : 186-187 (1928).

- Stadler, L.J., Chromosome number and the mutation rate in Avena and Triticum. Proc. Nat. Acad. Sci. Washington 15 : 876-881 (1929).
- Stadler, L.J., Some genetic effects of X-rays in plants. J. of Heredity 21 : 3-19 (1930).
- Stadler, L.J., The experimental modification of heredity in crop plants. I. Induced chromosomal irregularities. Sci. Agr. 11 : 557-572 (1931).
- Stadler, L.J., Some observations on gene variability and spontaneous mutation. The Spragg Memorial Lectures on Plant Breeding. 3. Ser. Michigan State College (1942).
- Tascher, W.R., Experiments with X-ray treatments on the seeds of certain crop plants. Ph.D. Thesis, University of Missouri (1929).
- Thoday, J.M. and J. Read, Effect of oxygen on the frequency of chromosome aberrations produced by X-rays. Nature (London) 160 : 608 (1947).
- Thoday, J.M. and J. Read, Effect of oxygen on the frequency of chromosome aberrations produced by alpha-rays. Nature (London) 163 : 133-134 (1949).
- Wertz, E., Über die Abhängigkeit der Röntgenstrahlenwirkung vom Quellungs Zustand der Gewebe, nach Untersuchungen an Gerstenkörnern. I-V. Strahlentherapie 67 : 307-321; 536-550; 700-711, 68 : 136-164; 287-303 (1940).
- Wettstein, D. von, U. Lundquist and P.von Wettstein-Knowles, The mutagen specificities of 44 eceriferum loci in barley. In Mutations in Plant Breeding II. IAEA, Wien, 273-276 (1968).
- Wolff, S., Some aspects of the chemical protection against radiation damage to Vicia faba chromosomes. Genetics 39 : 356-364 (1954).
- Wolff, S. and A.M. Sicard, Post-irradiation storage and the growth of barley seedlings. In Effects of Ionizing Radiations on Seeds. IAEA, Wien, 171-179 (1961).

Zimmer, K.G., L. Ehrenberg und A. Ehrenberg, Nachweis langlebiger magnetischer Zentren in bestrahlten biologischen Medien und deren Bedeutung für die Strahlenbiologie. Strahlentherapie 103 : 3-15 (1957).

- 84 -

ANHANG

TABELLEN XI - XXXV

Tabelle XI : Der Einfluß des Wassergehaltes auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Wassergehalt	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
4.5%	Kontrolle	11.00	96.5
	900 rad	8.23	72.2
	1200 rad	5.20	45.6
8.0%	Kontrolle	11.49	100.8
	900 rad	8.77	76.9
	1200 rad	5.18	45.4
13.0%	Kontrolle	11.40	100.0
	900 rad	8.75	76.8
	1200 rad	6.07	53.2
16.0%	Kontrolle	11.78	103.3
	900 rad	8.13	69.0
	1200 rad	6.13	53.8
18.0%	Kontrolle	11.32	99.3
	900 rad	8.72	76.5
	1200 rad	5.39	47.3

Tabelle XII : Der Einfluß des Wassergehaltes auf das Keimblattwachstum gammabestrahelter Gerstensamen.

Wassergehalt	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
4.5%	Kontrolle	11.00	96.5
	15 krad	4.92	43.2
	20 krad	4.63	40.7
8.0%	Kontrolle	11.49	100.8
	15 krad	6.10	53.5
	20 krad	4.94	43.4
13.0%	Kontrolle	11.40	100.0
	15 krad	10.78	94.6
	20 krad	10.10	88.6
16.0%	Kontrolle	11.78	103.3
	15 krad	10.62	93.2
	20 krad	10.11	88.7
18.0%	Kontrolle	11.32	99.3
	15 krad	10.19	89.4
	20 krad	9.67	84.8

Tabelle XIII : Der Einfluß verschiedener Hydrierbedingungen auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter trockener (4.5% H₂O) und feuchter (13.0% H₂O) Gerstensamen.

Wassergehalt	Dosis	Hydrierbedingung	Wuchshöhe cm	Wachstum %
4.5%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	10.71	101.6
	300 rad	O ₂ - gesättig-	8.07	76.6
	500 rad	tes Wasser	6.92	65.7
	700 rad		6.71	63.7
	900 rad		4.67	44.3
	1100 rad		3.55	33.7
4.5%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	10.47	99.3
	300 rad	N ₂ - gesättig-	8.29	78.7
	500 rad	tes Wasser	7.07	67.1
	700 rad		6.00	57.0
	900 rad		5.21	49.5
	1100 rad		3.86	36.6
13.0%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	10.54	100.0
	300 rad	deminera-	9.13	86.6
	500 rad	lisiertes	8.56	81.2
	700 rad	Wasser	7,34	69.6
	900 rad		5.81	55.1
	1100 rad		4.19	39.8

Tabelle XIV : Der Einfluß verschiedener Hydrierbedingungen auf das Keimblattwachstum gammabestrahler trockener (4.5% H₂O) und feuchter (13% H₂O) Gerstensamen.

Wassergehalt	Dosis	Hydrierbedingung	Wuchshöhe cm	Wachstum %
4.5%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	11.59	100.0
	15 krad	O ₂ - gesättigtes Wasser	3.83	33.0
	20 krad		1.20	10.4
	30 krad		0.91	7.9
4.5%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	10.65	100.0
	30 krad	N ₂ - gesättigtes Wasser	6.64	62.3
	45 krad		6.39	60.0
	60 krad		4.05	38.0
13.0%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	11.55	100.0
	15 krad	O ₂ - gesättigtes Wasser	10.90	94.4
	20 krad		10.58	91.6
	30 krad		9.47	82.0
13.0%	Kontrolle	4 ^h , 20°C	10.86	100.0
	30 krad	N ₂ - gesättigtes Wasser	10.35	95.3
	45 krad		7.63	70.3
	60 krad		5.15	47.4

Tabelle XV : Die Wirkung von schnellen Neutronen auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis ruhender Gerstensamen (13% H₂O).

Dosis	Samen pro Ahre			Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Muta- tionen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ - Mu- tanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$
100 rad	10.7	\pm 0.5		50.8	500	13	5350	40	2.6	7.5	30.5	\pm	5.1
200 rad	12.5	\pm 0.4		59.4	500	22	6250	55	4.4	8.8	22.5	\pm	2.8
300 rad	8.9	\pm 0.4		42.2	500	18	4440	34	3.6	7.7	19.2	\pm	3.1
450 rad	8.8	\pm 0.4		41.6	500	27	4380	77	5.4	17.6	27.5	\pm	3.2
550 rad	8.1	\pm 0.4		38.5	500	40	4055	67	8.0	16.5	24.7	\pm	2.6
700 rad	7.9	\pm 0.4		37.4	490	51	3861	123	10.4	31.9	27.6	\pm	2.5

Tabelle XVI : Die Wirkung von Gammastrahlen auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis ruhender Gerstensamen (13% H₂O).

Dosis	Samen pro Ahre			Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Muta- tionen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ - Mu- tanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$
5 krad	17.1	\pm 0.4		81.2	500	10	8550	27	2.0	3.2	16.4	\pm	2.6
10 krad	16.7	\pm 0.4		79.3	500	9	8354	11	1.8	1.3	8.7	\pm	1.3
15 krad	16.6	\pm 0.5		78.9	500	18	8279	54	3.6	6.5	21.6	\pm	2.6
18 krad	16.5	\pm 0.4		78.4	500	30	8254	73	6.0	8.8	15.7	\pm	1.7
21 krad	16.5	\pm 0.3		78.4	500	37	8233	99	7.4	12.0	16.9	\pm	1.7
24 krad	17.2	\pm 0.4		81.7	500	38	8575	101	7.6	11.8	18.0	\pm	2.1
27 krad	17.7	\pm 0.5		84.1	500	35	8867	103	7.0	11.6	18.4	\pm	1.7
Kontrolle	21.0	\pm 0.3		100.0	500	0	10500	0	0	0	----		

Tabelle XVII : Die Wirkung von schnellen Neutronen auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis ruhender trockener Gerstensamen (4.5% H₂O). Nach der Bestrahlung wurden die Samen 4ⁿ bei 20°C in O₂- oder N₂-gesättigtem Wasser hydriert. Experimente aus zwei Jahren wurden zusammengezogen.

Dosis in rad	Samen pro Ähre			Ferti- lität	Anzahl Ähren	Anzahl Muta- tionen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ -Mu- tanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
	\bar{x}	\pm	$\frac{s}{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ähren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	\pm	$\frac{s}{\bar{x}}$
<u>Hydrierung in O₂-gesättigtem Wasser</u>													
1968	300	13.9	\pm 0.5	66.0	500	38	6950	76	7.6	10.9	16.6	\pm 1.7	
1969	400	12.0	\pm 0.5	57.0	500	52	6012	100	10.4	16.6	17.7	\pm 1.4	
1968	500	10.2	\pm 0.4	48.5	476	53	4850	145	11.1	29.9	23.1	\pm 2.0	
1969	500	9.5	\pm 0.4	45.1	500	59	4754	132	11.8	27.8	24.2	\pm 2.2	
<u>Hydrierung in N₂-gesättigtem Wasser</u>													
1968	300	14.0	\pm 0.4	66.5	500	44	6990	110	8.8	15.7	16.5	\pm 1.9	
1969	300	13.7	\pm 0.4	65.1	500	46	6845	105	9.2	15.3	17.1	\pm 1.7	
1968	500	9.2	\pm 0.5	43.7	428	49	4620	106	11.4	22.9	22.2	\pm 2.1	
1969	500	10.9	\pm 0.4	51.8	413	58	4502	136	14.0	30.2	21.6	\pm 1.8	

Tabelle XVIII : Die Wirkung von Gammastrahlen auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis ruhender trockener Gerstensamen (4.5% H₂O). Nach der Bestrahlung wurden die Samen 4^h bei 20°C in O₂- oder N₂-gesättigtem Wasser hydriert.

Dosis in krad	Samen pro Ahre		Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Muta- tionen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ -Mu- tanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
	\bar{x}	$\pm s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	$\pm s_{\bar{x}}$	$s_{\bar{x}}$
<u>Hydrierung in O₂-gesättigtem Wasser</u>												
Kontrolle	18.8	± 0.4	89.3	200	0	3760	0	0	0	----		
4	17.7	± 0.4	84.0	500	18	8840	33	3.6	3.7	12.4	± 1.8	
8	16.5	± 0.5	78.2	500	31	8230	74	6.2	9.0	15.8	± 2.0	
<u>Hydrierung in N₂-gesättigtem Wasser</u>												
Kontrolle	20.1	± 0.4	95.6	200	0	4024	0	0	0	----		
15	18.6	± 0.5	88.4	500	20	9300	52	4.0	5.6	17.2	± 1.9	
20	18.4	± 0.5	87.6	500	35	9220	91	7.0	9.9	16.6	± 2.2	

Tabelle XIX : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Quellzeit	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
0 ^h	Kontrolle	10.22	100.0
	500 rad	7.03	68.8
	1100 rad	2.82	27.6
	1700 rad	1.35	13.2
4 ^h	Kontrolle	10.73	100.0
	500 rad	4.20	39.1
	1100 rad	1.30	12.1
	1700 rad	0.60	5.6
8 ^h	Kontrolle	11.07	100.0
	500 rad	2.97	26.8
	1100 rad	0.80	7.2
	1700 rad	0.50	4.5
12 ^h	Kontrolle	11.80	100.0
	500 rad	1.89	16.0
	800 rad	0.80	6.8
	1100 rad	0.50	4.2
16 ^h	Kontrolle	11.57	100.0
	350 rad	2.49	21.5
	500 rad	1.30	11.2
	800 rad	0.71	6.1
20 ^h	Kontrolle	11.50	100.0
	200 rad	3.69	32.1
	350 rad	1.42	12.3
	500 rad	0.60	5.2
24 ^h	Kontrolle	11.43	100.0
	200 rad	3.61	31.6
	350 rad	1.21	10.6
	500 rad	0.50	4.4

Tabelle XX : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf das Keimblattwachstum gammabestrahlter Gerstensamen.

Quellzeit	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
0 ^h	Kontrolle	10.50	100.0
	10 krad	7.40	70.5
	15 krad	4.49	42.7
	20 krad	3.04	29.0
4 ^h	Kontrolle	10.47	100.0
	5 krad	10.46	99.9
	10 krad	8.19	78.2
	20 krad	2.98	28.5
8 ^h	Kontrolle	10.93	100.0
	5 krad	8.56	78.3
	10 krad	3.13	28.6
	15 krad	1.89	17.3
12 ^h	Kontrolle	11.50	100.0
	5 krad	5.47	47.6
	10 krad	0.75	6.5
	15 krad	0.50	4.3
16 ^h	Kontrolle	11.19	100.0
	3 krad	5.24	46.8
	5 krad	2.78	24.8
	10 krad	0.70	6.3
20 ^h	Kontrolle	11.41	100.0
	1 krad	5.96	52.2
	3 krad	3.81	33.4
	5 krad	0.82	7.2
24 ^h	Kontrolle	11.55	100.0
	1 krad	3.51	30.4
	3 krad	1.40	12.2
	5 krad	0.55	4.8

Tabelle XXI : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Quellzeit	Dosis	Samen pro Ähre		Ferti- lität	Anzahl Ähren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ Keimlinge	Anzahl M ₂ Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
		\bar{x}	$\pm s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ähren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$
4 ^h	Kontrolle	20.8	± 0.3	98.8	100	0	2080	0	0	0	—		
	57 rad	16.6	± 0.4	78.9	486	10	8068	27	2.1	3.3	17.6	\pm	2.9
	114 rad	14.9	± 0.4	70.8	498	13	7420	36	2.6	4.9	21.3	\pm	2.7
	236 rad	13.7	± 0.5	65.1	500	53	6850	138	10.6	20.1	21.4	\pm	1.9
	284 rad	10.8	± 0.4	51.3	492	47	5314	109	9.6	20.5	21.4	\pm	2.0
	380 rad	8.9	± 0.4	42.3	500	54	4450	126	10.8	28.3	28.5	\pm	2.4
12 ^h	Kontrolle	19.2	± 0.6	91.2	100	0	1920	0	0	0	—		
	57 rad	15.5	± 0.5	73.6	498	25	7719	62	5.0	8.0	17.3	\pm	2.8
	114 rad	14.9	± 0.4	70.8	480	27	7152	75	5.6	10.5	19.1	\pm	2.0
	142 rad	12.6	± 0.4	59.9	489	41	6161	100	8.4	16.2	18.7	\pm	2.6
	236 rad	10.7	± 0.5	50.8	500	39	5350	87	7.8	16.3	20.5	\pm	1.9
	284 rad	9.3	± 0.5	44.2	439	44	4083	100	10.0	24.5	23.4	\pm	1.8
24 ^h	Kontrolle	23.1	± 0.3	109.7	100	0	2310	0	0	0	—		
	57 rad	14.1	± 0.5	67.0	495	14	6980	25	2.8	3.6	12.4	\pm	2.0
	95 rad	15.7	± 0.5	74.6	474	22	7442	59	4.6	7.9	16.9	\pm	2.7
	114 rad	12.6	± 0.5	59.9	498	39	6275	91	7.8	14.5	20.2	\pm	2.2
	142 rad	12.0	± 0.5	57.0	477	29	5724	61	6.1	10.7	23.3	\pm	2.8
	163 rad	12.1	± 0.5	57.5	494	38	5977	90	7.8	15.1	22.8	\pm	2.0

Tabelle XXII : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis gammabestrahlter Gerstensamen.

Quellzeit	Dosis	Samen pro Ahre $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ Keimlinge	Anzahl M ₂ Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
								je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$
4 ^h	Kontrolle	20.8 ± 0.3	98.8	100	0	2080	0	0	0	—		
	5 krad	16.8 ± 0.4	79.8	492	9	8266	26	1.8	3.1	15.6 ± 1.8		
	8 krad	16.4 ± 0.5	77.9	360	17	5900	63	4.7	10.7	23.3 ± 3.4		
	11 krad	13.7 ± 0.5	65.1	220	19	3007	43	8.6	14.3	16.9 ± 2.5		
	14 krad	11.4 ± 0.6	54.2	92	7	1048	14	7.6	13.4	17.3 ± 3.4		
12 ^h	Kontrolle	19.2 ± 0.6	91.2	100	0	1920	0	0	0	—		
	1 krad	20.3 ± 0.4	96.4	500	6	10150	16	1.2	1.6	16.3 ± 6.3		
	2 krad	16.2 ± 0.4	77.0	474	19	7679	60	4.0	7.8	18.7 ± 2.7		
	3 krad	17.4 ± 0.5	82.7	174	4	3028	9	2.3	3.0	14.7 ± 6.6		
	4 krad	14.4 ± 0.5	68.4	139	3	2002	10	2.2	5.0	24.1 ± 5.2		
24 ^h	5 krad	12.7 ± 0.8	60.3	71	1	902	8	1.4	8.9	—		
	Kontrolle	23.1 ± 0.3	109.7	100	0	2310	0	0	0	—		
	0.5 krad	17.6 ± 0.4	83.6	480	4	8448	13	0.8	1.5	17.2 ± 7.6		
	1.0 krad	16.3 ± 0.5	77.4	480	14	7824	31	2.9	4.0	18.3 ± 3.9		
	1.5 krad	16.1 ± 0.5	76.5	479	9	7712	20	1.9	2.6	14.0 ± 4.4		
	2.0 krad	13.9 ± 0.5	66.0	408	10	5671	31	2.5	5.5	20.7 ± 3.8		
	2.5 krad	14.6 ± 0.5	69.4	272	18	3971	48	6.6	12.1	18.9 ± 3.3		

Tabelle XXIII : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf das Keimblattwachstum rückgetrockneter, neutronenbestrahlter Gerstensenen.

Quellzeit	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
0 ^h	Kontrolle	10.15	100.0
	330 rad	8.46	83.3
	567 rad	7.18	70.7
	957 rad	4.94	48.7
4 ^h	Kontrolle	9.33	91.9
	330 rad	8.51	83.8
	567 rad	7.25	71.4
	957 rad	5.35	52.7
8 ^h	Kontrolle	10.46	103.0
	330 rad	8.66	85.3
	567 rad	7.85	77.3
	957 rad	5.32	52.4
12 ^h	Kontrolle	10.10	99.5
	330 rad	8.80	86.7
	567 rad	7.94	78.2
	957 rad	5.08	50.0
16 ^h	Kontrolle	9.68	95.4
	330 rad	8.52	83.9
	567 rad	7.36	72.5
	957 rad	5.16	50.8
20 ^h	Kontrolle	7.29	71.8
	330 rad	5.99	59.0
	567 rad	5.85	57.6
	957 rad	3.23	31.8
24 ^h	Kontrolle	5.66	55.8
	330 rad	4.47	44.0
	567 rad	4.41	43.4
	957 rad	3.62	35.7

Tabelle XXIV : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf das Keimblattwachstum rückgetrockneter, gammabestrahlter Gerstensamen.

Quellzeit	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
0 ^h	Kontrolle	9.35	100.0
	10 krad	6.59	70.5
	15 krad	3.99	42.7
	20 krad	2.71	29.0
4 ^h	Kontrolle	9.18	98.2
	10 krad	6.25	66.8
	15 krad	5.17	55.3
	20 krad	3.15	33.7
8 ^h	Kontrolle	9.18	98.1
	10 krad	5.92	63.3
	15 krad	3.60	38.5
	20 krad	2.29	24.5
12 ^h	Kontrolle	10.02	107.2
	10 krad	6.50	69.5
	15 krad	3.64	38.9
	20 krad	1.60	17.1
16 ^h	Kontrolle	10.16	108.7
	10 krad	4.61	49.3
	15 krad	3.18	34.0
	20 krad	1.42	15.2
20 ^h	Kontrolle	9.08	97.1
	10 krad	4.55	48.7
	15 krad	2.76	29.5
	20 krad	1.67	17.9
24 ^h	Kontrolle	8.27	88.4
	10 krad	2.77	29.6
	15 krad	2.07	22.1
	20 krad	1.44	15.4

Tabelle XXV : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf die Chlorophyll-
 mutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis
 rückgetrockneter, neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Quell- zeit	Dosis	Samen pro Ähre		Ferti- lität	Anzahl Ähren	Anzahl Mutationen	Anzahl M2 Keimlinge	Anzahl M2 Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis	
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ähren	je 1000 M ₂ Keimlinge	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
4 ^h	Kontrolle	20.6	± 0.5	98.0	100	0	2060	0	0	0	—	
	100 rad	17.3	± 0.5	82.1	400	9	7608	23	2.0	3.0	14.2	± 2.4
	300 rad	12.1	± 0.4	57.2	500	31	6025	59	6.2	9.8	16.3	± 1.8
	500 rad	14.0	± 0.4	66.3	180	13	2511	47	7.2	18.7	24.0	± 4.1
12 ^h	Kontrolle	20.5	± 0.3	97.5	100	0	2050	0	0	0	—	
	100 rad	17.6	± 0.4	83.5	500	17	8790	32	3.4	3.6	12.4	± 1.5
	200 rad	15.9	± 0.4	75.6	459	8	7307	20	1.7	2.7	20.5	± 6.0
	300 rad	15.4	± 0.4	72.9	420	23	6447	76	5.5	11.8	23.2	± 2.8
	400 rad	14.2	± 0.4	67.6	340	27	4838	67	7.9	13.8	15.7	± 1.7
	500 rad	13.5	± 0.4	64.1	334	29	4512	85	8.7	18.8	27.4	± 3.7
24 ^h	Kontrolle	20.4	± 0.3	96.7	100	0	2040	0	0	0	—	
	100 rad	14.5	± 0.5	68.8	500	14	7245	23	2.8	3.2	10.6	± 1.8
	200 rad	15.6	± 0.5	74.1	470	18	7332	48	3.8	6.5	17.9	± 2.0
	300 rad	14.4	± 0.4	68.1	376	32	5403	78	8.5	14.4	16.7	± 2.1
	400 rad	14.4	± 0.4	68.1	336	42	4838	119	12.5	24.6	20.2	± 1.5
	500 rad	12.5	± 0.4	59.2	334	38	4161	82	11.4	19.7	19.0	± 1.6

Tabelle XXVI : Der Einfluß verschiedener Quellzeiten auf die Chlorophyll-
 mutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis
 rückgetrockneter, gammabestrahlter Gerstensamen.

Quell- zeit	Dosis	Samen pro Ahre		Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ Keimlinge	Anzahl M ₂ Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
		\bar{x}	$s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$
4 ^h	Kontrolle	20.6	± 0.5	98.0	100	0	2060	0	0	0	-----		
	5 krad	20.6	± 0.4	98.0	500	4	10275	13	0.8	1.3	18.6	±	6.0
	10 krad	18.2	± 0.4	86.5	500	7	9100	15	1.4	1.6	10.0	±	1.9
	15 krad	18.8	± 0.5	89.4	500	11	9405	36	2.2	3.8	21.1	±	7.1
	20 krad	18.4	± 0.4	87.6	500	20	9215	68	4.0	7.4	21.5	±	4.5
	25 krad	16.4	± 0.4	77.9	500	21	8195	57	4.2	7.0	15.9	±	2.7
12 ^h	Kontrolle	20.5	± 0.3	97.5	100	0	2050	0	0	0	-----		
	5 krad	18.7	± 0.4	88.9	500	10	9355	36	2.0	3.8	18.1	±	4.0
	10 krad	17.9	± 0.4	85.0	500	16	8950	38	3.2	4.2	13.9	±	2.1
	15 krad	17.5	± 0.4	83.3	500	26	8770	57	5.2	6.5	14.1	±	2.1
	20 krad	18.3	± 0.4	86.9	500	31	9145	88	6.2	9.6	18.5	±	2.1
	25 krad	16.5	± 0.5	78.4	478	24	7868	49	5.0	6.2	14.0	±	2.0
24 ^h	Kontrolle	20.4	± 0.3	96.7	100	0	2040	0	0	0	-----		
	5 krad	15.9	± 0.3	75.5	500	14	7828	41	2.8	5.2	17.5	±	2.8
	10 krad	17.2	± 0.3	81.0	500	19	8615	49	3.8	5.7	15.4	±	2.6
	15 krad	16.1	± 0.4	76.5	500	26	8055	54	5.2	6.7	13.2	±	2.1
	20 krad	16.2	± 0.5	77.1	460	25	7461	70	5.4	9.4	16.6	±	2.0
	25 krad	17.1	± 0.5	81.0	300	32	5127	82	10.7	16.0	17.4	±	1.9

Tabelle XXVII : Die Wirkung 24-stündiger Quellung in Wasser, 0.01 M Cystein oder 0.1 M Cystein auf das Keimblattwachstum von mit 5 krad Gammastrahlen behandelten Gerstensamen.

Quellbedingung	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
Wasser	Kontrolle	12.29	100.0
	5 krad	3.54	28.8
0.01 M Cystein	Kontrolle	12.71	103.4
	5 krad	3.27	26.6
0.1 M Cystein	Kontrolle	12.98	105.6
	5 krad	7.65	62.2

Tabelle XXVIII : Der Einfluß verschiedener Quellbedingungen in Wasser und/oder 0.1 m Cystein auf das Keimblattwachstum gammabestrahlter Gerstensenen.

Quellbedingung	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
24 ^h Wasser	Kontrolle	11.55	100.0
	1 krad	3.51	30.4
	3 krad	1.40	12.1
	5 krad	0.55	4.8
20 ^h Wasser + 4 ^h Cystein	Kontrolle	11.67	101.0
	1 krad	9.55	82.7
	3 krad	6.70	58.0
	5 krad	3.36	29.1
16 ^h Wasser + 8 ^h Cystein	Kontrolle	12.06	104.4
	1 krad	10.29	89.1
	3 krad	6.53	56.5
	5 krad	4.17	36.1
12 ^h Wasser + 12 ^h Cystein	Kontrolle	11.70	101.3
	1 krad	10.41	90.1
	3 krad	7.42	64.2
	5 krad	4.69	40.6
8 ^h Wasser + 16 ^h Cystein	Kontrolle	10.27	88.9
	1 krad	9.96	86.2
	3 krad	8.24	71.3
	5 krad	5.10	44.2
4 ^h Wasser + 20 ^h Cystein	Kontrolle	10.49	90.8
	1 krad	8.97	77.7
	3 krad	7.64	66.1
	5 krad	6.58	57.0
24 ^h Cystein	Kontrolle	10.23	88.6
	1 krad	9.30	80.5
	3 krad	7.98	69.1
	5 krad	7.38	63.9

Tabelle XXIX : Der Einfluß einer 24-stündigen Quellung in Wasser oder 0.1 m Cystein auf das Keimblattwachstum neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Quellbedingung	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
24 ^h Wasser	Kontrolle	12.87	100.0
	50 rad	12.56	97.6
	100 rad	10.80	83.9
	150 rad	10.28	79.9
	200 rad	7.42	57.7
	300 rad	3.82	29.7
	400 rad	2.40	18.6
24 ^h Cystein	Kontrolle	13.37	103.8
	50 rad	13.26	103.0
	100 rad	12.53	97.4
	150 rad	11.33	88.0
	200 rad	10.15	78.9
	300 rad	7.01	54.5
	400 rad	5.67	44.1

Tabelle XXX : Der Einfluß verschiedener Quellbedingungen in Wasser und/oder 0.1 M Cystein auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis neutronen-bestrahlter Gerstensamen.

Quellbe- dingung	Dosis	Samen pro Ähre		Fertili- taet	Anzahl Ähren	Anzahl Mutationen	Anzahl M2 Keimlinge	Anzahl M2 Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis		
		\bar{x}	$\pm s_{\bar{x}}$						je 100 M1- Ähren	je 1000 M2 Keimlinge	\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$
24 ^h Wasser	Kontrolle	23.1	± 0.3	109.7	100	0	2310	0	0	0	—		
	57 rad	14.1	± 0.5	67.0	495	14	6980	25	2.8	3.6	12.4	\pm	2.0
	95 rad	15.7	± 0.5	74.6	474	22	7442	59	4.6	7.9	16.9	\pm	2.7
	114 rad	12.6	± 0.5	59.9	498	39	6275	91	7.8	14.5	20.2	\pm	2.2
	142 rad	12.0	± 0.5	57.0	477	29	5724	61	6.1	10.7	23.3	\pm	2.8
	163 rad	12.1	± 0.5	57.5	494	38	5977	90	7.8	15.1	22.8	\pm	2.0
20 ^h Wasser + 4 ^h Cystein	Kontrolle	18.8	± 0.4	89.3	100	0	1880	0	0	0	—		
	57 rad	15.5	± 0.4	73.6	478	13	7409	21	2.7	2.8	13.9	\pm	2.8
	95 rad	14.5	± 0.4	68.9	500	25	7250	73	5.0	10.1	21.8	\pm	2.7
	114 rad	12.4	± 0.5	58.9	496	29	6150	73	5.8	11.9	23.3	\pm	2.5
	142 rad	11.6	± 0.4	55.1	500	33	5800	73	6.6	12.6	21.3	\pm	2.3
	163 rad	11.8	± 0.4	56.1	488	35	5758	76	7.2	13.2	21.0	\pm	2.8
12 ^h Wasser +12 ^h Cystein	Kontrolle	20.0	± 0.2	95.0	100	0	2000	0	0	0	—		
	57 rad	14.2	± 0.5	67.5	500	15	7100	29	3.0	4.1	16.6	\pm	3.1
	95 rad	13.4	± 0.5	63.7	500	31	6700	77	6.2	11.5	19.1	\pm	2.6
	114 rad	12.6	± 0.5	59.9	500	19	6300	49	3.8	7.8	19.7	\pm	3.2
	142 rad	11.2	± 0.5	53.2	500	33	5600	66	6.6	11.8	20.6	\pm	2.4
	163 rad	12.3	± 0.4	58.4	431	23	5301	46	5.4	8.7	18.6	\pm	2.3
24 ^h Cystein	Kontrolle	19.6	± 0.4	93.0	100	0	1960	0	0	0	—		
	57 rad	15.1	± 0.5	71.7	500	13	7550	27	2.6	3.6	14.4	\pm	2.5
	95 rad	14.8	± 0.4	70.3	500	18	7400	47	3.6	6.4	16.0	\pm	2.0
	114 rad	12.8	± 0.9	60.8	500	24	6400	52	4.8	8.2	18.6	\pm	3.0
	142 rad	13.2	± 0.4	62.7	500	23	6600	55	4.6	8.3	18.9	\pm	2.5
	163 rad	12.5	± 0.4	59.4	500	37	6250	103	7.4	16.5	23.2	\pm	2.6

Tabelle XXXI : Die Wirkung verschiedener Quellbedingungen in Wasser und/oder 0.1 M Cystein auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis gammabestrahlter Gerstensamen.

Quellbe- dingung	Dosis	Samen pro Ähre		Ferti- lität	Anzahl Ähren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ - Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis	
		\bar{x}	$\pm \frac{s}{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ähren	je 1000 M ₂ - Keimlinge ^c	\bar{x}	$\pm \frac{s}{\bar{x}}$
24 ^h Wasser	Kontrolle	23.1	± 0.3	109.7	100	0	2310	0	0	0	---	
	0.5 krad	17.6	± 0.4	83.6	480	4	8448	13	0.8	1.5	17.2	± 7.6
	1.0 krad	16.3	± 0.5	77.4	480	14	7824	31	2.9	4.0	18.3	± 3.9
	1.5 krad	16.1	± 0.5	76.5	479	9	7712	20	1.9	2.6	14.0	± 4.4
	2.0 krad	13.9	± 0.5	66.0	408	10	5671	31	2.5	5.5	20.7	± 3.8
	2.5 krad	69.4	± 0.5	69.4	272	18	3971	48	6.6	12.1	18.9	± 3.3
23 ^h Wasser + 1 ^h Cystein	Kontrolle	20.6	± 0.4	97.9	100	0	2060	0	0	0	---	
	1.0 krad	17.4	± 0.5	82.9	500	11	8720	28	2.2	3.2	14.6	± 2.8
	1.5 krad	18.0	± 0.5	85.5	500	9	9000	17	1.8	1.9	12.5	± 2.6
	2.0 krad	15.5	± 0.5	73.6	360	12	5583	35	3.3	6.3	14.7	± 2.9
	2.5 krad	13.4	± 0.7	63.8	178	7	2388	34	3.9	14.2	18.4	± 5.9
21.5 ^h Wasser + 2.5 ^h Cystein	Kontrolle	20.6	± 0.3	97.9	100	0	2060	0	0	0	---	
	1.0 krad	19.7	± 0.4	93.4	500	6	9850	20	1.2	2.0	16.8	± 6.0
	1.5 krad	16.4	± 0.5	77.8	459	13	7513	32	2.8	4.3	14.3	± 2.6
	2.0 krad	13.8	± 0.5	65.7	360	12	4978	25	3.3	5.0	19.0	± 3.5
	2.5 krad	13.5	± 0.5	64.1	220	12	2967	44	5.5	14.8	31.3	± 4.6
	3.0 krad	17.6	± 0.5	83.8	120	0	2115	0	0	0	---	

Tabelle X(XI) : Fortsetzung

Quellbe- dingung	Dosis	Samen pro Ahre		Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ - Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis
		\bar{x}	$\pm s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	
20 ^h Wasser	Kontrolle	18.8	± 0.4	89.3	100	0	1880	0	0	0	---
+ 4 ^h Cystein	1.0 krad	17.1	± 0.4	81.0	500	4	8525	10	0.8	1.2	20.2 \pm 6.0
	1.5 krad	15.6	± 0.4	74.1	500	11	7800	32	2.2	4.1	18.1 \pm 2.9
	2.0 krad	15.3	± 0.5	72.6	392	11	5993	25	2.8	4.2	11.5 \pm 3.0
	2.5 krad	14.1	± 0.4	67.0	218	10	3073	24	4.6	7.8	21.7 \pm 4.2
12 ^h Wasser	Kontrolle	20.0	± 0.2	95.0	100	0	2000	0	0	0	---
+ 12 ^h Cystein	1.0 krad	16.6	± 0.4	78.9	500	8	8300	18	1.6	2.2	15.4 \pm 2.5
	1.5 krad	16.5	± 0.5	78.1	490	12	8061	36	2.4	4.5	18.3 \pm 2.3
	2.0 krad	16.3	± 0.5	77.5	472	19	7698	72	4.0	9.4	22.0 \pm 3.9
	3.0 krad	15.4	± 0.6	73.0	191	8	2935	26	4.2	8.9	24.0 \pm 4.9
	3.5 krad	16.4	± 0.5	77.9	134	5	2196	13	3.7	5.9	19.0 \pm 4.0
24 ^h Cystein	Kontrolle	19.6	± 0.4	93.0	100	0	1960	0	0	0	---
	1.0 krad	17.9	± 0.5	85.0	500	8	8945	18	1.6	2.0	17.1 \pm 4.2
	2.0 krad	17.1	± 0.5	81.2	279	3	4770	9	1.1	1.9	22.9 \pm 13.9
	3.0 krad	14.5	± 0.8	68.9	31	0	451	0	0	0	---

Tabelle XXXII : Die Wirkung verschiedener Quellbedingungen in Wasser und/oder 0.1 m Cystein auf das Keimblattwachstum rückgetrockneter, gamma-bestrahlter Gerstensamen.

Quellbedingung	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
24 ^h Wasser	Kontrolle	8.27	100.0
	10 krad	2.77	29.6
	15 krad	2.07	22.1
	20 krad	1.44	15.4
20 ^h Wasser + 4 ^h Cystein	Kontrolle	6.87	83.1
	10 krad	3.76	45.5
	15 krad	2.40	29.0
	20 krad	1.43	17.3
16 ^h Wasser + 8 ^h Cystein	Kontrolle	7.63	92.3
	10 krad	4.74	57.3
	15 krad	3.50	42.3
	20 krad	1.78	21.5
12 ^h Wasser + 12 ^h Cystein	Kontrolle	8.25	99.8
	10 krad	5.78	69.9
	15 krad	3.37	40.7
	20 krad	2.12	25.6
8 ^h Wasser + 16 ^h Cystein	Kontrolle	7.94	96.0
	10 krad	5.63	68.1
	15 krad	4.17	50.4
	20 krad	2.27	27.4
4 ^h Wasser + 20 ^h Cystein	Kontrolle	9.03	109.2
	10 krad	5.98	72.3
	15 krad	4.06	49.1
	20 krad	2.44	29.5
24 ^h Cystein	Kontrolle	9.58	115.8
	10 krad	6.79	82.1
	15 krad	4.83	58.4
	20 krad	2.61	31.6

Tabelle XXXIII : Die Wirkung 24-stündiger Quellung in Wasser oder 0.1 M Cystein auf das Keimblattwachstum rückgetrockneter, neutronenbestrahlter Gerstensamen.

Quellbedingung	Dosis	Wachstum cm	Wachstum %
24 ^h Wasser	Kontrolle	11.91	100.0
	500 rad	9.38	78.8
	700 rad	8.05	67.6
	900 rad	5.64	47.4
	1100 rad	4.22	35.5
24 ^h Cystein	Kontrolle	11.64	97.6
	500 rad	9.29	78.2
	700 rad	7.69	64.6
	900 rad	5.70	47.9
	1100 rad	4.53	38.1

Tabelle XXXIV : Die Wirkung verschiedener Quellbedingungen in Wasser und/oder C.1 M Cystein auf die Chlorophyllmutationsrate, die Fertilität und das Aufspaltungsverhältnis rückgetrockneter, gammabestrahlter Gerstensamen.

Quellbe- dingung	Dosis	Samen pro Ahre			Ferti- lität	Anzahl Ahren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ - Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis	
		\bar{x}	\pm	$s_{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ahren	je 1000 M ₂ - Keimlinge ²	\bar{x}	\pm
24 ^h Wasser	Kontrolle	20.4	\pm	0.3	96.7	100	0	2040	0	0	0	---	
	5 krad	15.9	\pm	0.3	75.5	500	14	7828	41	2.8	5.2	17.5	\pm 2.8
	10 krad	17.2	\pm	0.3	81.0	500	19	8615	49	3.8	5.7	15.4	\pm 2.6
	15 krad	16.1	\pm	0.4	76.5	500	26	8055	54	5.2	6.7	13.2	\pm 2.1
	20 krad	16.2	\pm	0.5	77.1	460	25	7461	70	5.4	9.4	16.6	\pm 2.0
	25 krad	17.1	\pm	0.5	81.0	300	32	5127	82	10.7	16.0	17.4	\pm 1.9
23 ^h Wasser	Kontrolle	21.5	\pm	0.3	102.1	100	0	2150	0	0	0	---	
+ 1 ^h Cystein	5 krad	17.5	\pm	0.4	83.2	500	9	8760	17	1.8	1.9	11.1	\pm 2.4
	10 krad	18.5	\pm	0.5	88.0	500	18	9260	50	3.6	5.4	18.4	\pm 3.0
	15 krad	18.2	\pm	0.4	86.2	500	30	9075	85	6.0	9.4	18.2	\pm 2.4
	20 krad	15.6	\pm	0.5	74.0	500	30	7785	69	6.0	8.9	17.3	\pm 2.3
	25 krad	18.0	\pm	0.5	85.4	337	14	6059	41	4.2	6.8	17.3	\pm 3.2
21.5 ^h Wasser	Kontrolle	23.0	\pm	0.3	109.2	100	0	2300	0	0	0	---	
+ 2.5 ^h Cystein	5 krad	18.0	\pm	0.4	85.5	500	9	8995	22	1.8	2.4	12.5	\pm 2.4
	10 krad	18.0	\pm	0.5	85.5	500	19	8995	81	3.8	9.0	24.6	\pm 2.6
	15 krad	17.8	\pm	0.5	84.5	500	25	8890	65	5.0	7.3	17.1	\pm 3.1
	20 krad	16.6	\pm	0.5	79.0	500	30	8315	98	6.0	11.8	18.7	\pm 2.2

Tabelle XXXIV : Fortsetzung

Quellbe- dingung	Dosis	Samen pro Ähre		Ferti- lität	Anzahl Ähren	Anzahl Mutationen	Anzahl M ₂ - Keimlinge	Anzahl M ₂ - Mutanten	Mutationsrate		Aufspaltungs- verhältnis	
		\bar{x}	$\pm \frac{s}{\bar{x}}$						je 100 M ₁ - Ähren	je 1000 M ₂ - Keimlinge	\bar{x}	$\pm \frac{s}{\bar{x}}$
20 ^h Wasser	Kontrolle	20.2	± 0.5	96.1	100	0	2020	0	0	0	---	
+ 4 ^h Cystein	5 krad	16.7	± 0.5	79.2	500	10	8335	22	2.0	2.6	15.9	± 3.5
	10 krad	16.2	± 0.4	76.7	500	20	8075	64	4.0	7.9	20.8	± 2.1
	15 krad	17.3	± 0.4	82.0	500	24	8630	61	4.8	7.1	13.9	± 2.1
	20 krad	17.5	± 0.4	82.9	500	33	8730	95	6.6	10.9	19.9	± 2.7
	25 krad	15.7	± 0.4	74.4	500	19	7835	34	3.8	4.3	10.6	± 1.6
12 ^h Wasser	Kontrolle	20.6	± 0.3	98.0	100	0	2060	0	0	0	---	
+ 12 ^h Cystein	5 krad	17.4	± 0.4	82.7	500	15	8700	26	3.0	3.0	9.4	± 0.9
	10 krad	17.2	± 0.4	81.7	500	17	8619	49	3.4	5.7	20.0	± 3.8
	15 krad	17.7	± 0.4	84.1	500	30	8865	81	6.0	9.1	17.1	± 2.2
	20 krad	16.7	± 0.5	79.3	500	32	8325	76	6.4	9.1	15.5	± 2.3
	25 krad	15.7	± 0.4	74.7	500	26	7860	36	5.2	10.9	20.2	± 2.3
24 ^h Cystein	Kontrolle	21.0	± 0.3	100.0	100	0	2100	0	0	0	---	
	5 krad	18.2	± 0.4	86.5	469	6	8526	13	1.3	1.5	11.1	± 2.1
	10 krad	16.6	± 0.3	78.9	500	17	8283	47	3.4	5.7	15.6	± 2.9
	15 krad	16.1	± 0.4	76.5	500	14	8050	35	2.8	4.3	12.3	± 2.3
	20 krad	18.0	± 0.5	85.5	500	29	8980	57	5.8	6.3	13.0	± 2.0
	25 krad	17.8	± 0.4	84.6	500	34	8887	92	6.4	10.4	15.2	± 1.6

Tabelle XXXV : Die varianzanalytische Auswertung des Mikroertragsversuches.

Sorten	Wiederholungen				Summe	\bar{x}
Union	880	839	914	916	3549	887
Erectoid I	770	878	966	893	3507	877
Erectoid II	844	757	826	831	3258	815
Summe	2494	2474	2706	2640	10314	
\bar{x}	831	825	902	880		859

Streuungsursache	FG	SQ	MQ	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
Gesamt	11	40501				
Sorten	2	12370	6185	2.40	5.14	10.9
Wiederholungen	3	12699	4233	1.64	4.76	9.8
Rest	6	15432	2572			

nicht signifikant

