

WIRKUNG VON LICHT UND DUNKELHEIT AUF DIE KEIMUNG VON SAATGUT

Bei den Kulturpflanzen bezeichnet man die der Vermehrung dienenden Keime als *Saatgut*. Bei vegetativer Vermehrung handelt es sich dabei um Knollen, Zwiebeln, Stecklinge usw., bei generativer um Samen oder — falls diese noch von der Fruchtwand umschlossen sind — um Früchte. Unter *Keimung* wird das erste Wachstum der jungen Pflanze verstanden. Dazu sind Feuchtigkeit, Sauerstoff, Temperaturen in einem bestimmten Bereich und zum Teil Licht oder Dunkelheit notwendig. Der Fragenkomplex der Wirkung von Licht und Dunkelheit auf die Keimung von Samen soll unter besonderer Berücksichtigung des Getreides hier behandelt werden.

Lichtbedürfnis des keimenden Samens

Man unterscheidet *Licht-, Dunkel- und Lichtindifferenzkeimer*. Dies richtet sich danach, ob die Samen im Licht oder in Dunkelheit besser keimen oder ob in dieser Beziehung keinerlei Unterschiede festzustellen sind. Benötigt der Same zur Keimung unbedingt Licht, so wird er als *obligater Lichtkeimer* bezeichnet. Keimt er im Licht nur besser als in Dunkelheit, so spricht man von *fakultativem Lichtkeimer*. Analog lassen sich auch die Dunkelkeimer aufgliedern. Werden die angeführten Gruppen nach zunehmendem Lichtbedürfnis des keimenden Samens geordnet, so ergibt sich folgende Reihung:

1. obligate Dunkelkeimer: manche Allium- (Lauch-) Arten, Phacelia, Nigella (Schwarzkümmel),
2. fakultative Dunkelkeimer: zahlreiche Allium-Arten und andere Liliaceen (Liliengewächse),
3. Lichtindifferenzkeimer: Getreide, Trifolium (Klee) und andere Papilionaceen (Schmetterlingsblütler),

4. fakultative Lichtkeimer: viele Gramineen (Gräser) und Loranthaceen (Mistelgewächse), verschiedene Oenothera- (Nachtkerzen-) und Epilobium- (Weidenröschen-) Arten,

5. obligate Lichtkeimer: *Lactuca scariola* (Stachel-lattich), *Lactuca sativa* (Salat), Rasse Hm von *Arabidopsis thaliana*, *Kalanchoë blossfeldiana*.

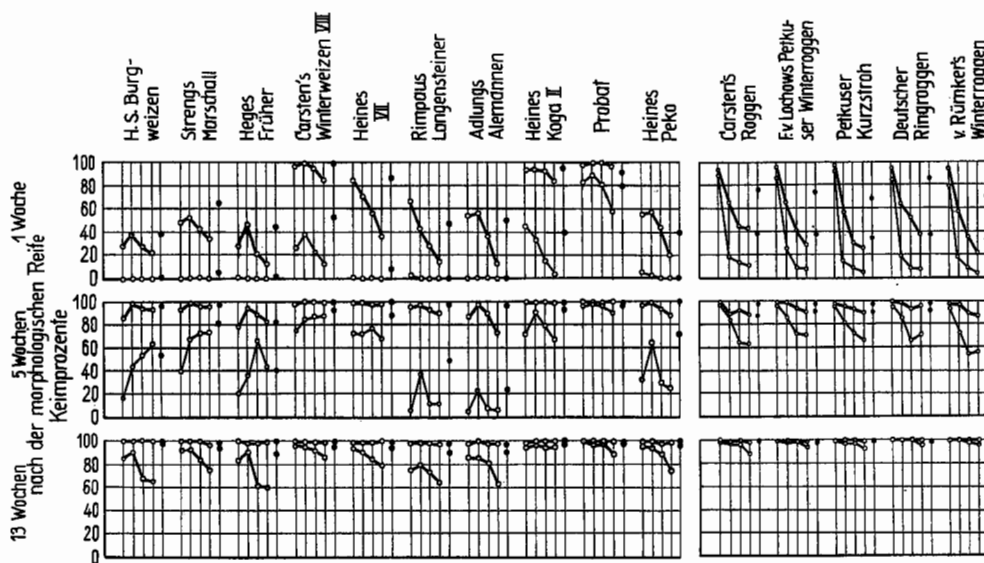
Licht- und Dunkelkeimer werden zum Teil mit zunehmender Aufhebung der primären Keimruhe (Bild 1 a und b) (8) sowie im Verlaufe anschließender längerer Lagerung *Lichtindifferenzkeimer*. Dies trifft z. B. für den Salat (*Lactuca sativa*) zu.

Bestimmte *Chemikalien* vermögen das Lichtbedürfnis des keimenden Samens hauptsächlich während der Nachreife zu ersetzen. Besonders wirksam sind Lösungen von Nitraten, Nitriten, Ammoniumsalzen, Harnstoff, Thioharnstoff und schwachen Säuren.

Gibberelline, Ausscheidungsprodukte des Schlauchpilzes *Gibberella fujikuroi*, die auch in Samen von *Phaseolus multiflorus* (Feuerbohne) nachgewiesen wurden, mindern ebenfalls das Lichtbedürfnis während der Keimruhe der Samen. Obligate Lichtkeimer keimen dann bereits bei einer täglichen Belichtungszeit von wenigen Stunden, so etwa *Kalanchoë blossfeldiana* (Bild 2) (2), oder sogar im Null-Stunden-Tag (*Lactuca scariola*, *Lactuca sativa*, Rasse Hm von *Arabidopsis thaliana* — Literatur bei BÜNSOW und v. BREDOW, 2).

Auch durch die *Temperatur* kann das Lichtbedürfnis stark abgeändert werden. Die einzelnen Lichtkeimer reagieren dabei in verschiedener Weise (7): Keimen die Samen bestimmter Arten im Licht

a) bei niedriger Temperatur, so erfolgt Keimung im Dunkeln bei manchen Arten sowohl in hoher



a: fünf Winterweizensorten (links) und fünf Sommerweizensorten (rechts) (nach 8).

b: fünf Winterroggensorten.

Bild 1: Beeinflussung der Keimschnelligkeit (jeweils die unteren Kurven bzw. Punkte) und der Keimfähigkeit (obere Kurven bzw. Punkte) durch die Tageslänge; bei jeder einzelnen Sorte sind von links nach rechts angegeben: 0-, 8-, 16-, 24-Stunden- und Normal-Tag.

als auch in Wechseltemperatur, bei anderen nur bei Wechseltemperatur,

b) bei niedriger und Wechseltemperatur, so tritt bei ihnen im Dunkeln weder in hoher noch in Wechseltemperatur Keimung ein,

c) bei Wechseltemperatur, wird die Lichtkeimung des Saatgutes, das nach anfänglichem Aufenthalt im Keimbett rückgetrocknet wird, temperaturunabhängig.

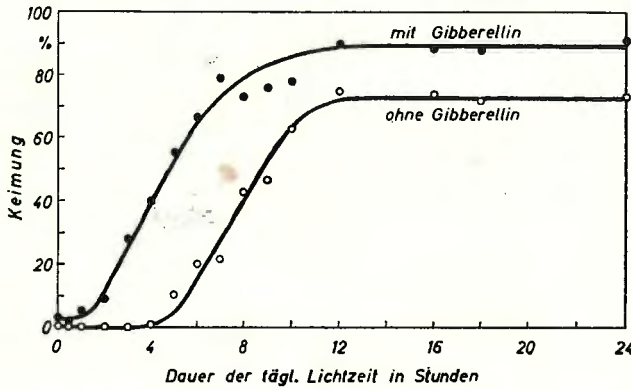


Bild 2: Keimprozent von Kalanchoë blossfeldiana ohne und mit Gibberellin in Abhängigkeit von der Tageslänge (nach Bünsow und v. Bredow, 2).

Weiterhin gibt es Arten, deren Samen bei hoher Temperatur wie Licht-, bei mittlerer wie Lichtindifferenz- und bei niedriger wie Dunkelkeimer reagieren.

Auf die Keimung fakultativer Dunkelkeimer im Licht wirkt niedrige Temperatur günstiger als hohe.

Tageslänge — Beleuchtungsstärke — Lichtqualität und Keimung

Durch Variieren der Tageslänge wird die Keimung in starkem Maße beeinflusst. Es können dabei Kurz- und Langtagkeimer unterschieden werden. Saatgut von Kurztagkeimern keimt im Kurztag (z. B. Wintergerste „Mahndorfer“; Bild 3) (5), das von Langtagkeimern dagegen im Langtag besser (Kalanchoë blossfeldiana; Bild 2) (2).

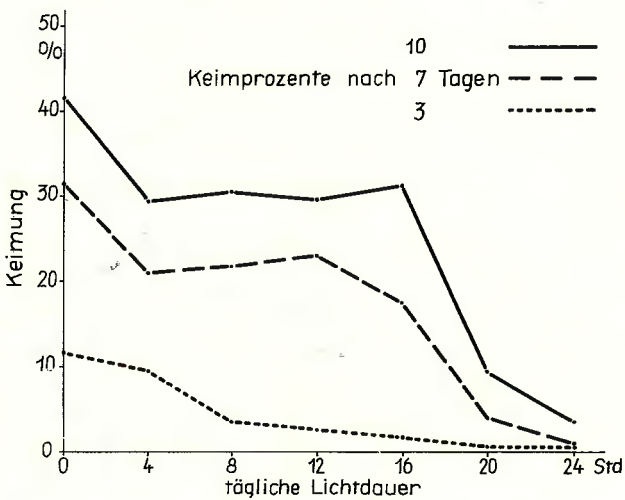
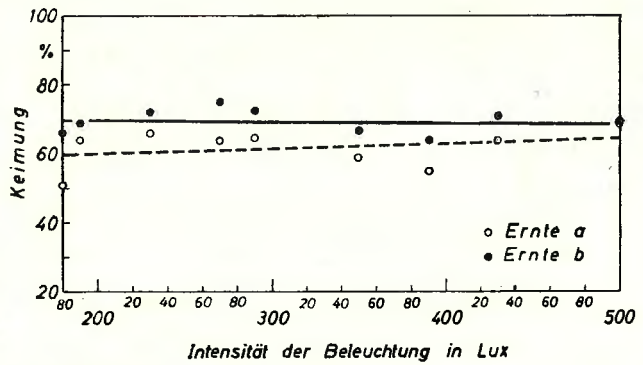
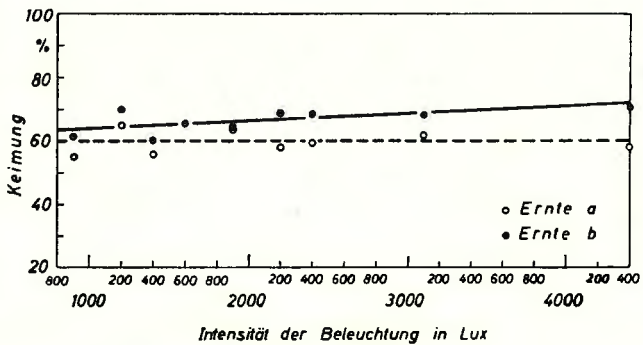


Bild 3: Wirkung der täglichen Lichtdauer auf die Keimprozent der Wintergerste „Mahndorfer“ während der Keimruhe (nach 5).



a: im Bereich von 80 bis 500 Lux



b: im Bereich von 800 bis 4400 Lux

Bild 4: Einfluß der Beleuchtungsstärke auf die Keimung von Kalanchoë blossfeldiana (nach Bünsow und v. Bredow, 2).

Auch von der Beleuchtungsstärke kann die Keimung von Lichtkeimern in beträchtlichem Ausmaße abhängen. Daß dies nicht immer der Fall ist, zeigten aber die Keimungsprozente bei einem obligaten Lichtkeimer (Kalanchoë blossfeldiana), die zwischen 80 und 4 400 Lux¹⁾ mehr oder weniger konstant bleiben (Bild 4 a und b) (2).

Die einzelnen Wellenlängen des Lichtes²⁾ wirken sehr unterschiedlich auf die Keimung. Im allgemeinen fördern Rot und Orange (520 bis 700 m μ) die Keimung. Bei den Früchten von Lactuca sativa wurden die Verhältnisse eingehend untersucht. Bereiche, in denen eine Förderung stattfindet, liegen im Rot und Orange. Violett und Blau sowie der Grenzbereich zwischen Infrarot und Rot hemmen, während Ultraviolett und ferneres Infrarot sich indifferent verhalten (Bild 5) (4).

Die fördernde Wirkung des Rotlichtes (neuerdings als „Hellrot“ bezeichnet) auf die Keimung der Früchte von Lactuca sativa kann durch Infrarot („Dunkelrot“, etwa 700 bis 760 m μ) aufgehoben werden. Die Samen werden zunächst mit Hellrot bestrahlt, um sie keimungsbereit zu machen, danach kurze Zeit mit Dunkelrot. Dies führt zu einer

1) Die gesamte in 1 sec von einer Lichtquelle ausgehende Lichtmenge (= Energiestrom) nennt man Lichtstrom. 1 Lumen ist derjenige Lichtstrom, den eine punktförmige Lichtquelle von 1 N.K. (Neue Kerze) aussendet. Dies entspricht einem Energiestrom von etwa 0,0016 Watt. 1 Lux (Einheit der Beleuchtungsstärke) ist 1 Lumen pro m².

2) Die Wellenstrahlen (elektromagnetische Wellen) werden nach ihrer Wellenlänge (λ) eingeteilt. Das sichtbare Licht liegt etwa im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 m μ .

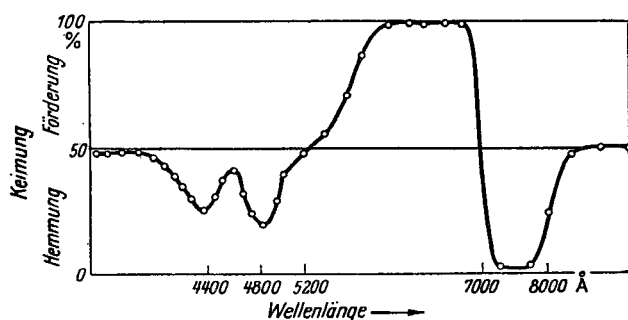


Bild 5: Keimprozent der Früchte von *Lactuca sativa* (Salat) in Abhängigkeit von der Wellenlänge (nach FLINT und McALISTER, 4).

starken Keimhemmung. Das Maximum liegt bei 730 m μ . Dabei wirken wahrscheinlich Hellrot und Dunkelrot auf das gleiche Pigment: die „Dunkelrot-Hemmung“ der Keimung wird durch neuerliche Hellrot-Bestrahlung eliminiert. Die Umkehrung der „Hellrot-Förderung“ durch Dunkelrot sowie die der Dunkelrot-Wirkung durch Hellrot ist mehrmals wiederholbar (Übersicht 1) (1).

Dabei ist

1. die Wirkung der Hellrot- und Dunkelrot-Bestrahlung von der Temperatur während der Behandlung unabhängig,
2. die benötigte Energie sehr gering („Niederenergiereaktion“), im einzelnen aber 20mal mehr Energie für die Aufhebung der „Hellrot-Förderung“ im Dunkelrot als für die der Dunkelrot-Wirkung durch Hellrot erforderlich,
3. die Empfindlichkeit der Früchte für beide Strahlungen im Verlaufe der Quellung nicht konstant und
4. eine Aufhebung der Hellrot-Wirkung durch Dunkelrot nur möglich, wenn die zwei Behandlungen im Zeitraum von mehreren Stunden verabfolgt werden.

Mechanismus der Lichtwirkung

Die Kausalität der Keimungsbeeinflussung durch Licht ist trotz zahlreicher Befunde noch keineswegs geklärt.

Hauptsächlich bieten die Ergebnisse über die Wirkung der einzelnen Wellenlängenbereiche Ansatzpunkte für eine Kausalanalyse. Licht kann chemisch oder physikalisch wirksam werden, wenn es von bestimmten Farbstoffen absorbiert wird. So

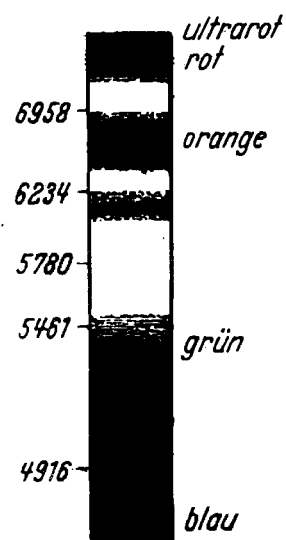
Übersicht 1

Die Keimung von *Lactuca sativa* in Abhängigkeit von alternierender Hellrot- (HR-) und Dunkelrot- (DR-) Bestrahlung

(nach BORTHWICK u. a. (1), verändert)

Bestrahlung	Keimung in %
keine (Dunkelkontrolle)	8,5
HR	98
HR + DR	54
HR + DR + HR	100
HR + DR + HR + DR	43
HR + DR + HR + DR + HR	99
HR + DR + HR + DR + HR + DR	54
HR + DR + HR + DR + HR + DR + HR	98

Bild 6: Absorptionsspektrum des Acetonextraktes aus Früchten von *Lactuca sativa* (Salat) (nach FLINT und McALISTER, 4).



könnte die „Blau-Hemmung“ einer Absorption in Carotinoiden, die „Hellrot-Förderung“ der Keimung aber einer solchen im Chlorophyll entsprechen. Die Substanz, die für die „Dunkelrot-Hemmung“ die Voraussetzung schafft, ist noch unbekannt. Sie ist aber, wie oben ausgeführt, mit der für die „Hellrot-Absorption“ verantwortlichen vermutlich identisch. Es entspricht also jedem Förderungs- und Hemmbereich ein Absorptionsmaximum (Bild 6) (4) in bestimmten Substanzen, deren Vorkommen in dem betreffenden Saatgut nachweisbar ist. Der Unterschied zwischen Licht- und Dunkelkeimern würde auf Grund dieser Befunde nur im weißen Licht auftreten, indem bei Dunkelkeimern die Hemmung im Blau, bei Lichtkeimern die Förderung durch Hellrot überwiegt.

Lichtbedürfnis des keimenden Getreidekornes

Nachgereifte Körner (Karyopsen) des Getreides sollen bezüglich der Keimfähigkeit Lichtindifferenz- (3, 6) bzw. fakultative Lichtkeimer, im Hinblick auf die Keimschnelligkeit aber fakultative Dunkelkeimer sein — weitere Literatur bei GRAHL und THIELEBEIN (5). Für die amtliche Keimprüfung von Getreide ist weder Licht noch Dunkelheit vorgeschrieben (3, 6).

Während der Keimruhe erwies sich die Wintergerste „Mahndorfer“ als fakultativer Dunkelkeimer (5). In photoperiodischer Hinsicht kann diese Sorte eventuell als Kurztagkeimer (vgl. BÜNSOW und v. BREDOW, 2) mit hoher kritischer Tageslänge angesehen werden (Bild 3) (5).

Auf Grund dieses Befundes wurden weitere 41 zugelassene deutsche Getreidesorten eine Woche, fünf und dreizehn Wochen nach der morphologischen Reife untersucht. Die geprüften Winter- und Sommergersten, Winterroggen (Bild 1 b) und Hafer reagierten wie fakultative Dunkelkeimer. Je höher die Tageslänge, um so stärker waren die Keimprozent herabgesetzt. Normaltag-Behandlung führte zu Werten, die im allgemeinen zwischen denen des Null- und Acht-Stunden-Tages lagen. Im Gegensatz dazu sind die Winterweizen fakultative Lichtkeimer (Bild 1 a, links). Bezüglich der Keimschnelligkeit verhielten sich die Sommerweizen (Bild 1 a, rechts) entsprechend. Im Hinblick auf die Keimfähigkeit besitzen die Sorten mit geringer Keimruhe gleiche Tendenz. Die mit ausgeprägter Keimruhe neigen zum fakultativen Dunkelkeimer. Wie aus dem Vergleich zwischen

Bild 1 a und 1 b zu ersehen ist, verhält sich die Keimung der Weizen gegenüber der der Winterroggen (und anderer Getreidearten) in Abhängigkeit von der Tageslänge sehr uneinheitlich.

Mit zunehmender Lagerungsdauer nach der morphologischen Reife der Körner, auch über die Beendigung der Nachreife hinaus, wurden alle Getreidesorten mehr und mehr Lichtindifferenzkeimer (siehe oben; Bild 1 a und b).

Ausblick

Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen über das Lichtbedürfnis der Samen bei der Keimung haben vor allem dort Bedeutung, wo Samen oder Früchte für ihre weitere Nutzung einen Keimungsvorgang durchlaufen müssen. Das trifft in der Land-, Forst- und Gartenbauwirtschaft zu, desgleichen in den Mälzereien. Von besonderem Wert sind die Erkenntnisse für die Saatgutuntersuchungsanstalten, die zur Prüfung des Saatgutwertes u. a. die Keimfähigkeit ermitteln. Laut Vorschriften (3, 6) ist bei Lichtkeimern Tages- oder Kunstlicht anzuwenden, wobei eine Präzisierung dieser Begriffe wünschenswert wäre.

Für die Keimung der Hauptgetreidearten wird in den Anweisungen (3, 6) weder Licht noch Dunkelheit vorgeschrieben: EGGBRECHT (3) kennzeichnet licht- und dunkelbedürftige Arten. Da für Getreide nichts Besonderes vermerkt ist, kann das nur so gedeutet werden, daß sie als Lichtindifferenzkeimer betrachtet werden sollen. Die internationalen Regeln (6) heben dagegen nur Lichtkeimer besonders hervor, während alle anderen Arten, worunter auch die Getreidearten fallen,

mit der Anmerkung versehen sind, daß es unbekannt ist, ob sie Licht für die Keimung benötigen. Ehe eine Berücksichtigung der beschriebenen Ergebnisse bei den vier Hauptgetreidearten in der amtlichen Keimprüfung möglich ist, müssen weitere Sorten, besonders solche des Weizens, auf ihr Lichtbedürfnis während der Keimung untersucht werden.

Schrifttumsnachweis

1. BORTHWICK, H. A. u. a.: A Reversible Photoreaction Controlling Seed Germination. — Proc. nat. Acad. Sci. (USA) 38 (1952) S. 662—666.
2. BÜNSOW, R. u. K. v. BREDOW: Wirkung von Licht und Gibberellin auf die Samenkeimung der Kurztagpflanze *Kalanchoë blossfeldiana*. — Biol. Zbl. 77 (1958) S. 132—141.
3. EGGBRECHT, H.: Die Untersuchung von Saatgut. Neubearb. der Techn. Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. — Radebeul u. Berlin: Neumann 1949. S. 49 ff.
4. FLINT, L. H. and E. D. McALISTER: Wave Lengths of Radiation in the Visible Spectrum promoting the Germination of Light-sensitive Lettuce Seed. — Smithsonian Misc. Coll. 96,2 (1937) S. 1—8.
5. GRAHL, A. u. M. THIELEBEIN: Einfluß von Licht auf die Keimung der Gerste. — Naturwiss. 46 (1959) S. 336—337.
6. International Rules for Seed Testing. — Proc. Int. Seed Testing Assoc. 24 (1959) S. 475—584.
7. STILES, W.: An Introduction to the Principles of Plant Physiology. — 2nd Ed. London: Methuen 1950, p. 373—374.
8. THIELEBEIN, M. u. A. GRAHL: Lichtbedürfnis des keimenden Getreidekornes. — Naturwiss. 47 (1960) S. 190.

Martin Thielebein, Institut für Pflanzenbau und Saatguterzeugung

FROSTSCHÄDEN AN ZUCKERRÜBENKEIMPFLANZEN

Die Erkenntnis, daß frühe Aussaat bei Zuckerrüben eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Erzielung eines hohen Ertrages ist, hat sich seit den grundlegenden Veröffentlichungen von ROEMER in der Praxis allgemein durchgesetzt (2). Die Bestellung zum frühestmöglichen Termin, den Bodenzustand und Witterung erlauben, birgt allerdings in manchen Jahren die Gefahr einer Frostschädigung der Rübenkeimpflanzen in sich.

In dem für die Außenarbeiten günstigen Frühjahr 1959, das die Rübenbestellung bereits ab Mitte März gestattete, konnten wir mehrfach frostgeschädigte Bestände feststellen.

Von den vielfältigen Erscheinungsbildern der Frosteinwirkung, die in der Vergangenheit beobachtet wurden, soll hier erstmalig über ein Schadbild berichtet werden, das auf den Schlägen des Versuchsgutes der Forschungsanstalt für Landwirtschaft auftrat und worüber in der Literatur bisher noch keine Angaben vorliegen.

Die erste Rübensaat des Betriebes wurde am 31. März 1959 als piliertes Monogerm-Saatgut mit

Einzelkornsäegeräten ausgebracht. Die Pflanzen liefen zwischen dem 10. und 15. April auf und bildeten einen lückenlosen Bestand. Einige Tage später, unmittelbar vor der ersten Maschinenhacke, wurden die bis dahin gut sichtbaren Reihen zunehmend undeutlicher und der Bestand lückiger. Eine Auszählung der Pflanzen ergab, daß etwa 40 % der Pflanzen umgefallen waren. Sie zeigten noch grüne Blätter und eine Einschnürung am Hypokotyl unmittelbar über dem Boden. Die geschädigte Stelle war turgorlos und glasig. Zum Teil war sie mit einem grauen bis graublauen Überzug bedeckt. Bei den stehengebliebenen Pflanzen zeigte eine große Zahl gleichfalls diese als Band um das Hypokotyl laufende Einschnürung. Bei diesen war durch die äußere, glasige Zellschicht ein Leitbündelstrang zu erkennen, der die Pflanzen noch aufrecht erhielt.

Als sich die vermutete Ursache (Schädigung durch eine zu hohe Düngerkonzentration in der obersten Bodenschicht infolge des anhaltenden trockenen Wetters) nicht bestätigte (die Leitfähigkeit wies