

(Aus der Biologischen Bundesanstalt, Institut für Virusforschung, Celle. Direktor: Dr. E. KÖHLER.)

## Zur Virusresistenzzüchtung bei der Kartoffel. Der Einfluß der Resistenz auf Virusbefall und Ertrag.

Von IRMGARD HAUSCHILD.

Mit 3 Textabbildungen.

Das Ziel jeder Züchtungsarbeit ist, neben der größtmöglichen Ertragshöhe auch eine Ertragssicherheit zu garantieren. Für die Ertragssicherheit ist vornehmlich die Resistenz gegen die in Frage kommenden Krankheiten verantwortlich. Diese wird bei den Viruserkrankungen durch das Zusammenspiel von Infektionsresistenz und Toleranz bedingt. Die Reaktion der Gesunden gegenüber der Krankheit wird bestimmt durch ihre Infektionsresistenz, d. h. die Stärke der durch innere Ursachen bedingten Widerstandskraft, die dem Zustandekommen eines Befalls trotz vorhandener Ansteckungsmöglichkeiten entgegengebracht wird. Für die Reaktion der bereits Befallenen dagegen ist die Toleranz maßgebend, von der es abhängt, wie die Krankheit ertragen wird.

Infektionsresistenz und Toleranz sind erblich bedingte, voneinander unabhängige Faktoren, die beide graduell sehr verschieden sein können. Es ist daher möglich, daß in einer Sorte ein beliebiger Grad von Infektionsresistenz mit einem beliebigen Toleranzgrad vereinigt ist (KÖHLER 1937).

Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich mit der Frage, in welcher Weise die genannten beiden Faktoren sich auf Gesundheit und Ertrag einer Vermehrungsfolge von Kartoffeln auswirken können. Sie suchen darzustellen, unter welchen Voraussetzungen es im Laufe der Jahre zu einer Gesundung, unter welchen es zu einem unabwendbaren Niedergang oder — was gleichfalls möglich ist — unter welchen ein gleichbleibender Zustand („Abbauminimum“) zustande kommt.

Die Züchtung ist allgemein bemüht, eine hohe Infektionsresistenz zu erzielen; denn es steht außer Zweifel, daß die Zunahme der Virose um so langsamer fortschreitet, je größer die Infektionsresistenz ist. Neben der Infektionsresistenz hat aber auch die Toleranz der Sorte einen entscheidenden Einfluß auf die Befallszunahme. Das können wir uns besonders gut an Sorten mit geringer Toleranz verdeutlichen. Bei diesen werden die Befallenen stark geschädigt, häufig so stark, daß einige an der Krankheit zugrunde gehen. Dadurch kann ohne Eingreifen des Menschen ein Teil der Infektionsherde bereits im Infektionsjahr beseitigt und somit die Ansteckungsgefahr herabgesetzt werden. Eine natürliche Ausmerzungen von Infektionsherden (im Nachbau) findet statt, wenn die kranken Stauden weniger Knollen ansetzen als die gesunden. In beiden Fällen bewirkt die geringe Toleranz durch Herabsetzung des Krankenanteils eine Verminderung der Infektionsherde und somit eine verlangsamte Krankheitsausbreitung. Äußert sich aber die durch geringe Toleranz erlittene Schädigung bei einer Sorte nur durch Wuchsschwächung und Bildung kleinerer Knollen bei den Befallenen, ohne jedoch die Anzahl der kranken Stauden oder die Zahl der von diesen gebildeten Knollen herabzusetzen, so bleiben alle einmal infizierten Stauden als Infektionsherde erhalten und gehen im gleichen Prozentsatz auf den Nachbau über. Der Befall greift dann in demselben Maße um sich wie bei den durch höchste Toleranz ausgezeichneten Sorten, bei denen sich die Befallenen von den Gesunden in bezug auf den Ertrag überhaupt nicht unterscheiden und im allgemeinen auch keine Symptome zeigen.

Ein hemmender Einfluß der Toleranzfaktoren auf die Befallsausbreitung ist also nur dann vorhanden, wenn eine geringe Toleranz die Anzahl der Befallenen herabsetzt, was entweder durch Ausmerzungen kranker Stauden oder durch einen verminderten Knollenansatz bei ihnen geschehen kann.

Der Einfluß der Toleranzfaktoren auf die Befallsausbreitung ist aber nicht nur quantitativer Art, d. h. die Toleranz wirkt nicht nur auf die Geschwindigkeit der Krankheitsausbreitung ein, sondern sie entscheidet zusammen mit der Infektionsresistenz der Sorte qualitativ über den in langen Zeiträumen „angestrebten“ Befallsgrad einer sich selbst überlassenen Sorte, wie an Hand mathematischer Formeln gezeigt werden konnte (HAUSCHILD, 1950). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen hier im Hinblick auf die Kartoffelzüchtung diskutiert werden, um angeben zu können, welche Kombination beider Faktorengruppen sich für die Kartoffel am günstigsten erweist. Wir müssen dazu die Ausbreitung des Virusbefalls und die Höhe des Ertrags getrennt betrachten. Dabei soll uns hauptsächlich der Abbau-grad interessieren, der sich ohne Eingreifen des Menschen im Laufe vieler Jahre einstellt, denn daran läßt sich am besten der Resistenzwert einer Züchtung erkennen.

### Der Einfluß von Infektionsresistenz und Toleranz auf die Ausbreitung des Virusbefalls.

Wir betrachten zuerst die Befallsausbreitung bei den Sorten mit der höchsten Toleranz und wollen dabei zunächst die Ertragshöhe unberücksichtigt lassen. Da sich die Toleranzfaktoren, wie erwähnt, auf die Befallsausbreitung nur dann auswirken, wenn sie die Anzahl der Befallenen herabsetzen, gehören hierher alle Sorten, bei denen die infizierten Stauden eine unveränderte Vitalität und eine unverminderte Knollenproduktion aufweisen.

Auf Feldern, auf denen als Infektionsherde nur die Befallenen innerhalb des Feldes selbst in Frage kommen, wird stets die Anzahl der zustandekommenden Infektionen von dem Anteil der Kranken innerhalb des Bestandes abhängen, so daß zunächst beim Vorhandensein von nur wenigen Kranken auch nur wenige Infektionen stattfinden. Mit dem Ansteigen des Krankenanteils wächst dann aber auch die Anzahl der Infektionsherde und damit die Geschwindigkeit der Krankheitsausbreitung, bis schließlich die Hälfte aller Stauden krank ist. Dann muß sich die Geschwindigkeit der Krankheitsausbreitung wieder verlangsamen, weil die Krankheitsüberträger beim Wechsel ihrer Wirtspflanzen oft nicht mehr auf eine gesunde, sondern auf eine bereits infizierte Staude treffen, was um so häufiger geschieht, je stärker der Verseuchungsgrad des Feldes fortgeschritten ist, so daß sich die Krankheitsaus-

breitung bei zunehmender Verseuchung immer mehr verlangsamt, wobei es aber doch schließlich zu einer vollständigen Durchseuchung des Bestandes kommt. Das Anwachsen des Krankenanteils im Laufe der Zeit geschieht also in einer S-förmigen Kurve (Abb. 1a) und kann sich über viele Jahre erstrecken, wobei der Übergang von einer Generation zur nächsten das Fortschreiten der Krankheitsausbreitung nicht behindert, wenn die Kranken die gleiche Knollenanzahl produzieren wie die Gesunden; denn wegen der Übertragung des Virus mit der Knolle gehen die Kranken mit demselben Anteil auf die neue Generation über, mit dem sie in der alten enthalten waren.

Die Ausbreitung des Virusbefalls bei einer Sorte geht um so langsamer vor sich, je größer die Infektionsresistenz der Sorte ist, vgl. Abb. 1a und b Kurve I für eine niedrige, Kurve II für eine größere Infektionsresistenz der Sorte.

In allen Fällen, in denen keine Ausschaltung von Kranken durch natürliche oder künstliche Selektion stattfindet, ergibt sich, wenn als Infektionsherde nur die Befallenen innerhalb des Feldes selbst in Frage kommen, folgender Zusammenhang:

Unter der Annahme einer gleichen Infektionswahrscheinlichkeit für alle Stauden des Feldes<sup>1</sup> ist die Änderungsgeschwindigkeit des Verhältnisses von Befallenen zu Nichtbefallenen proportional dem jeweils vorhandenen Verhältnis beider und umgekehrt proportional der Infektionsresistenz. Das bedeutet: der Logarithmus des Verhältnisses von Kranken zu Gesunden steigt von seinem Anfangswert mit dem Fortschreiten der Zeit umgekehrt proportional der Infektionsresistenz an. Die auf Abb. 1a S-förmigen Befallsausbreitungskurven I und II lassen sich also auf einseitig logarithmisch geteiltem Papier mit linearer Zeitachse und logarithmischer Skala für das Verhältnis von Kranken zu Gesunden als Geraden darstellen (Abb. 1b), wobei die Steigung umgekehrt proportional der Infektionsresistenz ist.

Kommen nun aber als Infektionsherde nicht nur die Befallenen innerhalb des Feldes selbst in Frage, sondern werden auch von außen noch Infektionen herangetragen, so kommt zu den innerhalb des Feldes vorhandenen Infektionsherden noch eine weitere Ansteckungskomponente hinzu, die der Größe der außerhalb befindlichen Infektionsherde proportional ist. Die Infektionszunahme unter dem Einfluß solcher von außen herangetragenem Infektionen ist auf den Abb. 1a und 1b gleichfalls dargestellt (Kurve I A für

geringe, Kurve II A für höhere Infektionsresistenz bei gleicher Größe des außerhalb des Feldes befindlichen Infektionsherdes).

In allen bisher besprochenen Fällen, in denen keine Selektion zur Ausschaltung von Befallenen führt, kommt es also in jeder Vermehrungsfolge von Kartoffeln im Laufe der Jahre zu einer vollständigen Durchseuchung, die — unter sonst gleichen Bedingungen — je nach der Größe der Infektionsresistenz verschieden schnell fortschreitet, also um so

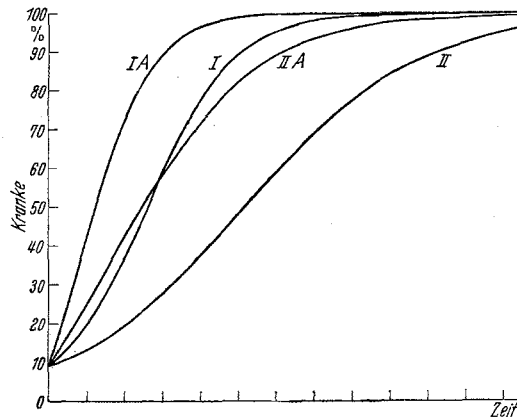


Abb. 1a.

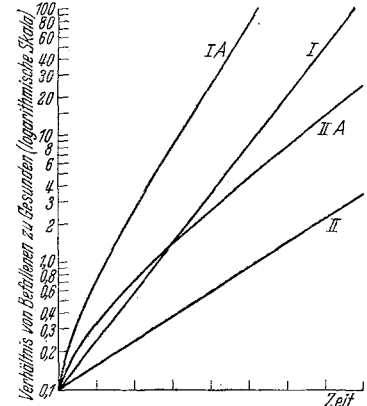


Abb. 1b.

Abb. 1a und b. Die Infektionsausbreitung der Kartoffelvirosen in Abhängigkeit von der Infektionsresistenz bei höchster Toleranz, d. h. ohne Benachteiligung der Befallenen. I und IA für eine Sorte mit kleiner Infektionsresistenz, II und IIA für eine Sorte mit großer Infektionsresistenz, I und II ohne Infektionsherde außerhalb des Feldes, IA und IIA mit von außen herangetragenem Infektionen, wobei für die Größe des Infektionsherdes  $\frac{1}{4}$  der Größe des Feldes gewählt ist.

Auf der Abszisse die Zeit, auf der Ordinate bei Abb. 1a der Krankenanteil in Prozent des gesamten Bestandes; bei Abb. 1b das Verhältnis von Kranken zu Gesunden in logarithmischer Skala. Anfangswert 9% Kranke.

langsamer erreicht wird, je größer die Infektionsresistenz der Sorte ist.

Bei Sorten mit einer geringen Toleranz, die eine Ausmerzung von infizierten Stauden oder eine verminderte Knollenproduktion bei diesen bedingt, wirkt die der Toleranz umgekehrt proportionale Ausmerzung von Kranken der Infektionsausbreitung entgegen. Die durch eine geringe Toleranz bedingte Abnahme der Geschwindigkeit des Verhältnisses von Befallenen zu Nichtbefallenen ist proportional dem vorhandenen Verhältnis von Befallenen zu Gesunden, aber umgekehrt proportional der Toleranz (punktierte Kurven I, II, III in Abb. 2a und b), so daß sich für die resultierende Ausbreitungsgeschwindigkeit folgendes ergibt:

In einem von Außeninfektionen abgeschlossenen Bestande ändert sich das Verhältnis von Kranken zu Gesunden mit dem Fortschreiten der Zeit proportional dem jeweils vorhandenen Verhältnis mal der Differenz aus Ansteckung minus Ausmerzung, wobei die Ansteckung umgekehrt proportional der Infektionsresistenz, die Ausmerzung umgekehrt proportional der Toleranz ist. D. h. der Logarithmus des Verhältnisses von Befallenen zu Nichtbefallenen wächst mit fortschreitender Zeit proportional der Differenz aus Ansteckung minus Ausmerzung. Daraus ergibt sich, daß es beim Überwiegen der Ansteckung über die Ausmerzung allmählich zu einer völligen Durchseuchung der Vermehrungsfolge kommt (Abb. 2, Resultierende I). Bei Gleichheit von Ansteckung und Ausmerzung stellt sich ein Gleichgewicht ein, welches ohne Infektionsherde von außen bei jedem beliebigen Anfangswert des Verhältnisses

<sup>1</sup> Diese ist durch die Beweglichkeit der Virusüberträger für die durch Blattläuse verschleppten Kartoffelvirosen weitgehend realisiert, nicht dagegen für das X-Virus, dessen Ausbreitung auf dem Felde in einer Vergrößerung lokal begrenzter Infektionsherde besteht.

von Kranken zu Gesunden erhalten bleibt (Abb. 2, Resultierende II). In beiden Fällen bewirkt eine zusätzliche Ansteckungsquelle von außen eine noch schneller als bei der Resultierenden I eintretende vollständige Durchseuchung der Sorte (Resultierende IA und IIA). Überwiegt aber die Ausmerzung über die Ansteckung, so wird beim Fehlen von Außeninfektionen im Laufe der Zeit eine völlige Gesundung der Sorte angestrebt (Abb. 2, Resultierende III). Sind dagegen in der Nachbarschaft kranke Bestände als Infektionsherde vorhanden, so kann es niemals zu einer vollständigen Gesundung der Vermehrungsfolge kommen. Falls die Ausmerzung im

Größe liegt. Diese umweltbedingte Größe ist vornehmlich von der Zahl und Aktivität der virusübertragenden Blattläuse (in erster Linie *Myzus persicae*) abhängig, und zwar ist sie dem mittleren Überträgerinfluß proportional. Die Schwankungen der Überträgerzahl und Aktivität spielen für den in langen Zeiträumen erreichten Befallsgrad der Sorte keine Rolle; für ihn ist nur der Überträger-

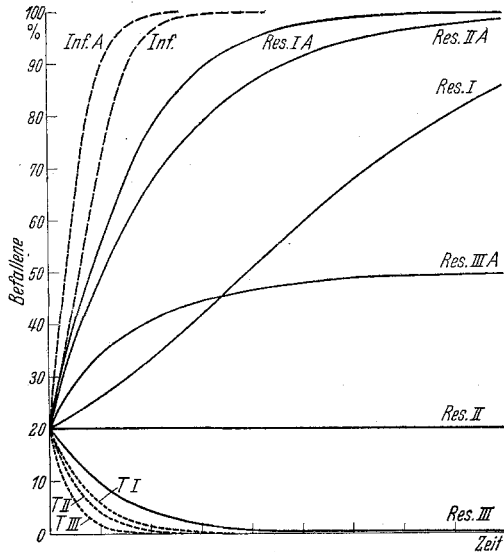


Abb. 2 a.

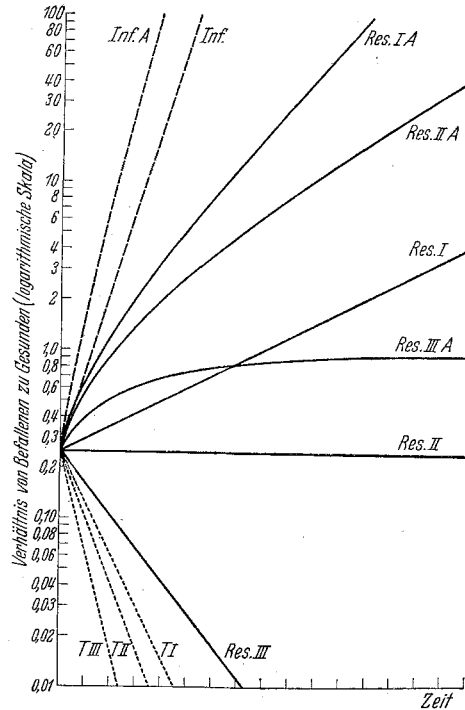


Abb. 2 b.

Abb. 2a und b. Das Zusammenwirken von Infektionsresistenz und Toleranz auf die Virusbefallsausbreitung. Abb. 2 a mit linearer Skala für den Prozentsatz der Befallenen, Abb. 2b mit logarithmischer Skala für das Verhältnis von Befallenen zu Gesunden.

Gestrichelt Kurven der Infektionsausbreitung für gleiche Lebensfähigkeit und Nachkommenproduktion bei Befallenen und Gesunden. Inf. ohne, Inf. A mit Ansteckungsherd außerhalb des Feldes.

Punktiert Kurven der Krankenausmerzung für verminderte Toleranz in bezug auf die Anzahl der Befallenen, also erhöhte Sterblichkeit oder verminderte Knollenproduktion bei den Befallenen ohne gleichzeitige Infektionsausbreitung: T I für große, T II für mittlere, T III für geringe Toleranz.

Res I, Res II, Res III, Res IA, Res II A, Res III A Befallsausbreitungskurven als Resultierende aus den gestrichelten Infektionsausbreitungskurven und den punktierten Krankenausmerzungskurven T I, T II, T III.

Res I, Res IA und Res II A: Die Infektionsresistenz ist klein im Vergleich zur Toleranz; die Ansteckung überwiegt die Ausmerzung; die Kurven streben einer völligen Durchseuchung zu.

Res II: Ansteckung und Ausmerzung halten sich die Waage; das Gleichgewicht zwischen Kranken und Gesunden kann bei jedem beliebigen Anfangswert erhalten bleiben, da keine Infektionen von außen herangetragen werden.

Res IIIA: es kommt zu einem Gleichgewicht zwischen Kranken und Gesunden, welches unter dem Einfluß eines Ansteckungsherdes von außen entsteht, ohne welchen diese Sorte eine völlige Gesundung anstreben würde (Kurve. Res III), da die Infektionsresistenz im Vergleich zur Toleranz groß ist.

Res III: Die Ausmerzung von Kranken ist stärker als die Ansteckung; die Sorte strebt einer völligen Gesundung zu.

Vergleich zu der erhöhten Ansteckung stark genug ist, spielt sich schließlich ein Gleichgewicht zwischen Befallenen und Gesunden ein (Resultierende III A), dessen Lage nicht nur von der Wirksamkeit dieser außerhalb des Feldes befindlichen Infektionsherde, sondern in entscheidendem Maße auch von Infektionsresistenz und Toleranz der betrachteten Sorte abhängt.

Bei einer Kombination von höchster Infektionsresistenz mit möglichst geringer Toleranz kann es durch natürliche Auslese in Feldern, die gegen Außeninfektionen abgeschlossen sind, zu einer vollständigen Gesundung der Sorte kommen bzw. beim Vorhandensein von Ansteckungsherden außerhalb des Feldes zu einem Gleichgewicht zwischen Kranken und Gesunden. Das ist dann und nur dann der Fall, wenn der Quotient aus Infektionsresistenz und Toleranz bei der betreffenden Sorte oberhalb einer bestimmten umweltabhängigen (für konstante Ansteckungsbedingungen als konstant anzusetzenden)

mittelwert maßgebend. — Es ist daher möglich, daß eine Sorte, die in einer Gegend mit geringem Blattlausvorkommen der Bedingung zur selbsttätigen Gesundung genügt, in einer anderen Gegend mit starkem Überträgerauftreten u. U. einer sehr schnellen Durchseuchung und damit einem sehr starken Abbau anheimfällt. Je weiter der Quotient aus Infektionsresistenz und Toleranz einer Sorte die zur Selbstgesundung notwendige Mindestgröße überschreitet, um so größer werden die Anbaugelände sein, in denen diese Sorte die von Viruskrankheiten Befallenen durch natürliche Auslese selbst ausmerzt. Es empfiehlt sich daher für die Züchtung, eine möglichst weit über die notwendige Mindestgröße hinausgehende Vergrößerung des Quotienten aus Infektionsresistenz und Toleranz anzustreben, was erreicht werden kann entweder durch immer weitere Vergrößerung der Infektionsresistenz oder durch immer weitere Verminderung der Toleranz, aber wirksamer durch beides gleichzeitig. Gelingt es da-

gegen trotz großer Infektionsresistenz und geringer Toleranz nicht, die notwendige Mindestgröße des Quotienten aus beiden zu überschreiten, dann kommt es wohl zu einer stark verlangsamten Krankheitsausbreitung, aber ohne Eingreifen des Menschen doch zu einem ständig zunehmenden Befall, womit wegen der geringen Toleranz ein dauerndes starkes Absinken der Erträge verbunden ist.

#### Der Einfluß von Infektionsresistenz und Toleranz auf den Ertrag.

Die Infektionsresistenz wirkt sich auf den Ertrag einer Sorte nur insofern aus, als sie deren Befallsgrad weitgehend beeinflusst. Die Toleranz dagegen ist direkt für den Ertrag der Befallenen verantwortlich; denn sie ist ein Maß für die von den Befallenen erlittenen Schädigungen. Ertragsausfälle können entstehen durch Ausmerzung von kranken Stauden, durch Verminderung der Knollenzahl bei ihnen, oder durch Herabsetzung der Knollengröße bei den Befallenen. Von den genannten Faktoren können je nach der Sorte entweder nur einer oder zwei oder alle drei wirksam sein. Somit bestimmt die Toleranz zusammen mit dem Befallsgrad den Ertrag des ganzen Feldes. Da die Toleranzfaktoren aber, wie erwähnt, durch Herabsetzung der Anzahl der Befallenen auch auf die Ausbreitung des Befalls einen entscheidenden Einfluß haben, was im allgemeinen übersehen wird, ist ihr Einfluß auf den Ertrag ein doppelter.

Die Bedeutung der Infektionsresistenz und Toleranz für den Ertrag läßt sich am besten an Hand einiger Kurven veranschaulichen. Wir haben dazu verschiedene Befallsausbreitungskurven, deren Verlauf bei gleichen Ansteckungsbedingungen von Infektionsresistenz und Toleranz abhängt, mit den dazugehörigen Ertragskurven, deren Werte erstens von dem jeweiligen Befallsgrad und zweitens von der Größe der Toleranz bestimmt werden, graphisch dargestellt (Abb. 3). Dabei ist zur Vereinfachung der Konstruktion angenommen, daß die Toleranzfaktoren nur bei der Knollenbildung der Kranken angreifen, und zwar daß nur die Anzahl der angesetzten Knollen, nicht aber ihre Größe herabgesetzt wird. In unseren Kurven haben daher die Krankenausmerzungen bei der Befallskurve und der Ertragsausfall pro kranke Staude bei der Ertragskurve den gleichen Wert. Die möglichen Abweichungen der Ertragskurven von den gezeichneten, die bei Herabsetzung der Knollengröße durch die Krankheit bzw. bei Ausmerzungen von infizierten Stauden während der Vegetationsperiode zustandekommen, werden später diskutiert. Den sechs Beispielen der Abb. 3 ist eine gleich große Infektionsresistenz zu Grunde gelegt, während die Toleranz verschiedene Grade annimmt, beginnend mit ihrem höchsten Wert ( $T = \infty$ ), bei dem die Befallenen dieselbe Knollenzahl und -größe haben wie die Gesunden, also unverminderte Erträge liefern, bis herunter zu  $T = 5$  mit einem Knollenausfall von 80% bei den Kranken, dem in unserem Beispiel ein Ertragsausfall bei den Kranken von ebenfalls 80% entspricht. Die für die Kurven gewählten Toleranzwerte verhalten sich wie  $\infty : 40 : 20 : 10 : 8 : 5$ .

Besitzt eine Sorte eine so hohe Toleranz, daß die Befallenen sich von den Gesunden in ihrer Lebens-

fähigkeit und Nachkommenproduktion überhaupt nicht unterscheiden ( $T = \infty$ ), so wird die Sorte, auch wenn sie eine noch so hohe Infektionsresistenz besitzt, schließlich doch nach und nach durchweg befallen werden, da die infizierten Stauden nicht durch natürliche Auslese ausgeschaltet werden und somit von Jahr zu Jahr einen größeren Anteil einnehmen. Weisen die Befallenen nicht nur in Bezug auf die Anzahl der von ihnen gebildeten Knollen,

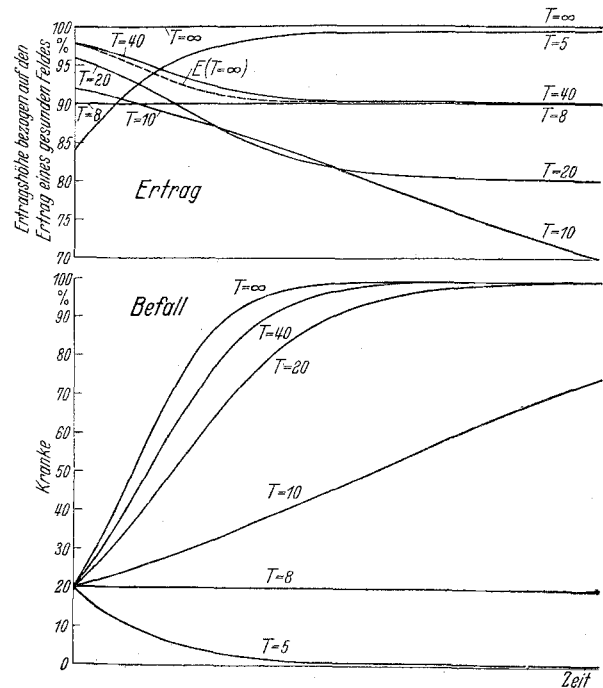


Abb. 3. Virusbefall und Ertrag für verschiedene Toleranzgrade ( $= \infty$ ,  $T = 40$ ,  $T = 20$ ,  $T = 10$ ,  $T = 8$ ,  $T = 5$ ) bei gleicher Infektionsresistenz. Die dick ausgezogenen Ertragskurven sind konstruiert unter der Annahme, daß die Ertragsausfälle nur durch Verminderung der Knollenzahl ohne Beeinflussung der Knollengröße bei den infizierten Stauden zustande kommen. Die gestrichelte Ertragskurve E zeigt den Ertrag einer Sorte, bei der nur die Knollengröße, nicht aber die Knollenzahl durch den Befall herabgesetzt wird; Befallsausbreitung wie bei  $T = \infty$ .

sondern darüber hinaus auch in der Knollengröße keine Benachteiligung gegenüber den Gesunden auf, dann spielt es für den Ertrag des Feldes keine Rolle, wie groß der Anteil der Befallenen ist. Die Befallskurve für  $T = \infty$  (Abb. 3) zeigt den im Laufe der Zeit ständig zunehmenden Krankenanteil und die dazugehörige waagerechte Ertragskurve den stets gleichbleibenden Ertrag einer solchen Sorte, der dem vollen Ertrag eines 100%ig gesunden Feldes gleicht. Wenn auch die Sorte selber durch den Befall keine Ertragseinbuße erleidet, so bringt sie doch für ihre Umgebung eine große Infektionsgefahr mit sich, die unter allen Umständen vermieden werden sollte.

Eine etwas geringere Toleranz, die eine schwache Benachteiligung der Befallenen im Kampf ums Dasein bewirkt, wird im allgemeinen in Kombination mit der höchstmöglichen Infektionsresistenz doch noch eine vollständige Durchseuchung der Sorte zulassen, wenn nicht der Mensch durch „Bereinigen“ der Felder die kranken Stauden ständig entfernt. Wir beobachten auf unbereinigten Feldern ein allmähliches Absinken der Erträge von Jahr zu Jahr, bis schließlich die völlige Durchseuchung erreicht ist mit ihrem im Vergleich zu einem gesunden Feld nur schwach verminderten Ertrag. Bei allen Sorten, bei denen für die gegebenen Umweltfaktoren der

Quotient aus Infektionsresistenz und Toleranz unterhalb der zur Selbstgesundung notwendigen Grenze bleibt, d. h. in allen Fällen, in denen die Sorte schließlich ganz befallen wird, werden die Erträge nach langen Jahren um so weiter unter denen eines gesunden Feldes liegen, je geringer die Toleranz ist. Die Geschwindigkeit, mit der die Erträge absinken, hängt von der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Befalls und von der Toleranz ab. Die Kurven für  $T = 40$ ,  $T = 20$  und  $T = 10$  zeigen drei solche Beispiele, bei denen wegen einer Benachteiligung der Befallenen die Krankheitsausbreitung gegenüber  $T = \infty$  verlangsamt ist. Bei der hohen Toleranz  $T = 40$  gehen die Erträge selbst bei vollständiger Durchseuchung des Feldes nur bis zu 90% des Höchstertes eines gesunden Feldes herunter. Die Erträge bei  $T = 20$  und  $T = 10$  fallen für lange Zeit in etwa gleichem Maße ab. Bei  $T = 20$  ist die Ursache für den nur langsam fortschreitenden Abbau in einer relativ hohen Toleranz zu erblicken. Trotz schnell zunehmender Verseuchung sinken die Erträge nur mäßig ab, um schließlich bei einem vollständig viruskranken Feld noch 80% des Ertrages eines gesunden Feldes zu liefern. Bei  $T = 10$  dagegen liegt eine weit geringere Toleranz vor. Die doppelt so starke Ausmerzung der Kranken verlangsamt die Befallsausbreitung bedeutend. Aber der geringere Befallsgrad setzt trotz einem doppelt so großen Ertragsausfall bei den Kranken die Erträge für lange Zeit in die gleiche Höhe wie bei  $T = 20$ . Nähert sich dann aber nach vielen Jahren das Feld der vollständigen Durchseuchung, so liegen die Erträge der kranken Felder um so niedriger, je geringer die Toleranz der Sorte ist, nämlich für  $T = 10$  bei 60% des Knollenertrages eines gesunden Feldes gegenüber 80% bei  $T = 20$  und 90% bei  $T = 40$ .

Bei dem Toleranzwert  $T = 8$  halten sich Ansteckung und Ausmerzung die Waage. Es bleiben immer gleich viele Kranke (in unserem Beispiel 20%) erhalten, und damit bleibt auch der Ertrag immer in derselben Höhe (hier bei 90% des Höchstertes).

Der letzte Toleranzwert  $T = 5$  ist so klein gewählt, daß der Quotient aus Infektionsresistenz und Toleranz die zur Selbstgesundung des Feldes notwendige Grenze überschreitet. Der Befallsgrad des Feldes wird in diesem Beispiel immer weiter herabgesetzt; es wird also allmählich eine völlige Gesundung der Sorte angestrebt. Der Ertrag, der hier bei einem Anfangsbefall von 20% weit niedriger liegt, als bei den bisher besprochenen Beispielen, nämlich bei 84% des Ertrages eines gesunden Feldes, steigt mit der fortschreitenden Ausmerzung der Kranken immer weiter an und strebt im Laufe der Zeit dem vollen Ertrag eines gesunden Feldes zu.

In allen Fällen, in denen der Quotient aus Infektionsresistenz und Toleranz, wie für  $T = 5$ , die zur Selbstgesundung der Sorte notwendige Grenze überschreitet, werden die wenigen Stauden, die überhaupt infiziert werden, bald wieder ausgemerzt. Die natürliche Auslese läßt keinen nennenswerten Befall der Sorte zu, und deshalb werden die Erträge trotz der geringen Toleranz stets nur wenig hinter dem Ertrag eines völlig gesunden Feldes zurückbleiben.

Abweichungen der Erträge von den auf den Kurven dargestellten Werten sind ebenso nach oben wie nach unten möglich.

Um die Abweichungen nach unten zu erklären, lassen wir die zur Vereinfachung der Konstruktion der Ertragskurven gemachte Einschränkung fallen, daß die Ertragsausfälle bei den Kranken nur durch Verminderung der Anzahl der von ihnen gebildeten Knollen entstehen, während die Knollengröße unverändert bleibt. In der Regel liegt nämlich die Knollengröße und damit das Knollengewicht bei den infizierten Stauden unter dem der gesunden. Wir knüpfen an das erste Beispiel ( $T = \infty$ ) an, bei dem unter der Annahme eines unverminderten Knollengewichts bei den Befallenen der 100%ige Ertrag eines gesunden Feldes auch bei zunehmendem Befallsgrad erhalten bleibt. Sind nun aber die Knollen der Befallenen kleiner als die der Gesunden, ohne daß ihre Anzahl herabgesetzt wird, dann hat die Toleranz bei unverminderter Knollenzahl der Befallenen zwar keinen hemmenden Einfluß auf die Krankheitsausbreitung, bestimmt aber zusammen mit dem Befallsgrad das Ausmaß der Ertragsminderung. Das allmähliche Absinken der Erträge — unter der Annahme, daß das mittlere Knollengewicht bei den infizierten Stauden 90% des Wertes der gesunden beträgt — ist durch eine gestrichelte, mit  $E$  bezeichnete Kurve (Abb. 3) dargestellt. Hier erreicht der Ertrag bei vollständiger Durchseuchung 90% des Ertrages eines gesunden Feldes. Die dazugehörige Befallsausbreitungskurve ist identisch mit der für  $T = \infty$ , da bei beiden die hohe Toleranz keine Herabsetzung der Anzahl der Kranken bedingt. Die Toleranz bei der Kurve  $E$  ist bezüglich der Anzahl der Befallenen unendlich, bezüglich des Ertrages jedoch kleiner. Es ist daher bei der Kurve  $E$  der dazugehörige Toleranzwert  $T = \infty$  in Klammern gesetzt, weil hier anders als bei den übrigen Beispielen die Toleranz bezüglich des Ertrages von der Toleranz bezüglich der Anzahl der Befallenen abweicht. Während für die Ausbreitung des Befalls die Toleranz nur insoweit eine Rolle spielt, als sie die Anzahl der Befallenen beeinflußt, ist für den Ertrag darüber hinaus der Gewichtsverlust pro infizierte Knolle in Rechnung zu stellen. Da in den allermeisten Fällen die an den infizierten Stauden angesetzten Knollen kleiner sind als die an den Gesunden, haben wir im allgemeinen niedrigere Erträge zu erwarten als in unseren durch angezogene Kurven dargestellten Beispielen, in denen der Ertragsausfall dem Anteil der ausgefallenen Knollenzahl gleichgesetzt wurde. Die dadurch bedingte Abweichung der Ertragskurve nach unten wächst mit zunehmender Verseuchung des Feldes, wie der Vergleich der Ertragskurve für  $T = \infty$  mit  $E$  zeigt. — Den Ertragskurven für  $T = 40$  und  $E$  ist gemeinsam, daß bei beiden der Ertragsausfall bei den kranken Stauden 10% ausmacht. Bei gleichem Befallsgrad liefern also beide Sorten denselben Ertrag, gemessen in Prozent des Höchstertes eines ganz gesunden Feldes. Das zeigen auch die Anfangs- und Endwerte der Kurven bei 20% bzw. 100% Befall mit einer Ertragshöhe von 98% bzw. 90% des Höchstertes. Bei der Sorte  $T = 40$  geht mit dem Ertragsausfall eine Ausmerzung von Kranken einher, die bei  $E$  unterbleibt. Deshalb schreitet die zu  $E$  gehörige Befallsausbreitung schneller voran als bei  $T = 40$ , und damit sinken auch die Erträge schneller ab, bis schließlich bei vollständiger Durch-

seuchung beide Sorten wieder den gleichen Ertrag, nämlich 90% des Höchstwertes liefern.

Umgekehrt kann man aber auch mit höheren Erträgen rechnen, als sie unsere Kurven zeigen, nämlich dann, wenn einige Kranke schon während der Vegetationsperiode ausfallen und dadurch den gesunden Nachbarstauden eine üppigere Entwicklung ermöglichen. Die aus viruskranken Knollen hervorgegangenen „sekundär kranken“ Stauden sind häufig derartige Kümmerer, die in sich selbst überlassenen Feldern, wo sie nicht vom Menschen beseitigt werden, oft nicht mehr zum Knollenansatz gelangen, da sie von den gesunden Nachbarstauden überwuchert werden, die ihrerseits einen größeren Ertrag liefern.

#### Schl u ß b e t r a c h t u n g.

Die Abhängigkeit des Ertrages einer Kartoffelsorte von ihrem Virusbefallsgrad und ihrer Toleranz erweist sich als eine in zwei Richtungen gehende Wirkung der Toleranz. Eine Beeinflussung der Befallsausbreitung durch die Toleranz, und zwar eine Verlangsamung kommt dann zustande, wenn bei einer geringen Toleranz die Kranken in dem Sinne geschädigt werden, daß die Anzahl der Befallenen durch Absterben von kranken Stauden oder Bildung einer niedrigeren Knollenanzahl herabgesetzt wird. Die Verminderung der Anzahl der Kranken kann bei sehr geringer Toleranz so weit gehen, daß bei Sorten, bei denen der Quotient aus Infektionsresistenz und Toleranz eine gewisse umweltabhängige Größe überschreitet, eine völlige Gesundung angestrebt wird. Andere Wirkungen der Toleranzfaktoren, wie z. B. gehemmtes Größenwachstum und vermindertes Knollengewicht bei den Kranken, beeinflussen nicht die Befallsausbreitung, sind aber von Bedeutung für den Ertrag.

Für die Beurteilung der Wirkung der Toleranz auf den Ertrag ist neben dem Befallsgrad des Feldes der Ertragsausfall pro kranke Staude maßgebend, wobei

es keine Rolle spielt, ob die kranken Stauden sich durch ihre Knollenanzahl oder -größe oder in beidem von den Gesunden unterscheiden.

Da bei gleichem Befallsgrad die Sorten mit der größten Toleranz die besten Erträge liefern, andererseits aber bei geringer Toleranz die Befallsausbreitung verlangsamt wird, ist es in vielen Fällen schwer zu entscheiden, ob man der hohen oder niedrigen Toleranz den Vorzug geben soll. Gelingt es aber, den Quotienten aus Infektionsresistenz und Toleranz so groß zu machen, daß die Sorte durch natürliche Auslese ihre Kranken größtenteils selbst ausmerzt und somit einer Gesundung zustrebt, so bietet diese Kombination von großer Infektionsresistenz mit geringer Toleranz unzweifelhaft die größeren Vorteile gegenüber einer Kombination derselben Infektionsresistenz mit einer hohen Toleranz, weil im ersten Falle kein nennenswerter Befall und damit keine nennenswerten Ertragsausfälle zustandekommen können, während bei hoher Toleranz mit zunehmender Verseuchung im allgemeinen auch ein weiteres Absinken der Erträge eintritt und außerdem unerwünschte Infektionsherde geschaffen werden.

#### L i t e r a t u r.

1. HAUSCHILD, I.: Zur Beurteilung des Pflanzgutwertes von Saatkartoffelfeldern unter Berücksichtigung des Auftretens der Überträger der Kartoffelvirosen. *Züchter* 17/18, 241—247 (1947). — 2. HAUSCHILD, I.: Epidemiologische Studien. Mathematische Untersuchungen über die Bedeutung der Infektionsresistenz und Toleranz für die Ausbreitung von Infektionskrankheiten und den Befallsgrad natürlicher Populationen unter besonderer Berücksichtigung der Kartoffelvirosen. *Biol. Zbl.* 69 103—147 (1950). — 3. KÖHLER, E.: Die Resistenzzüchtung gegen den Kartoffelabbau im Lichte der Virusforschung. *Züchter* 9, 13—15 (1937). — 4. KÖHLER, E.; BODE, O. u. HAUSCHILD, I.: Vergleichende Untersuchungen über die Blattroll-Resistenz von fünf mittelspäten Kartoffelsorten. *Nachr. Bl. Biol. Zentralanst.*, 81—82 (1949). — 5. MÜLLER, K. O.: Über die Abbauresistenz der Kartoffel und die Züchtung abbaufester Kartoffelsorten. *Z. Pflanzenzüchtg.* 23, 1—19 (1939).

## Personelle Mitteilung.

### KURT STÖRMER †.

In der Nacht vom 8. zum 9. Juni 1950 verstarb in Göttingen im 72. Lebensjahr der Mitbegründer, Züchtleiter und Geschäftsführer der Pommerschen Saatzucht G. m. b. H. Mit seinem Tode verliert die deutsche Kartoffelzüchtung einen ihrer führenden Köpfe, dessen Name weit über Deutschlands Grenzen hinaus bekannt gewesen ist. Schon sehr frühzeitig hatte STÖRMER, der damals an der Landwirtschaftskammer in Stettin wirkte, erkannt, daß die deutsche Kartoffelzüchtung auf eine neue Grundlage zu stellen war. Die Erzeugung von hochwertigem Pflanzgut und die Züchtung neuer Sorten waren die wichtigsten Aufgaben, die der von ihm gegründeten Saatzuchtgesellschaft gestellt wurden. Wer Gelegenheit hatte, einen der von ihm geleiteten Zuchtbetriebe kennenzulernen, weiß, daß STÖRMER die Erhaltungszüchtung zu einem hohen Grade der Vollkommenheit entwickelte, wobei er den ackerbaulichen Belangen

stets große Beachtung schenkte. Daß seine Liebe auch der Serradella galt, erklärt sich aus seiner Überzeugung, daß gerade diese Pflanze eine besonders gute Vorfrucht für Pflanzkartoffelflächen darstellt. Er war einer der ersten deutschen Kartoffelzüchter, der erkannte, daß dem Pflanzgutwert größte Aufmerksamkeit zu schenken war. Aus dieser Überlegung heraus war es zwangsläufig, daß er sich schon sehr frühzeitig dem Studium des Kartoffelabbaues zuwandte und in Wort und Schrift immer wieder auf die Bedeutung dieser Fragen hinwies. Später wurde er einer der eifrigsten Verfechter der Forderung, die Erkenntnisse der Virusforschung auf die Pflanzgutproduktion und die Kartoffelzüchtung zu übertragen. Hierfür hat er sich bis in die jüngste Zeit mit seinem ganzen Temperament und seiner ganzen Beredsamkeit eingesetzt und fand in seiner Tochter, Frau Dr. INGE v. BERNUTH, eine ebenso eifrige und wertvolle