

Anwendungen der Lebensfähigkeitsgleichung auf die Lagerung landwirtschaftlichen Saatguts

M. KRUSE

Einleitung

Praktisch alle landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Arten der gemäßigten Breiten werden dem orthodoxen Lagerungstyp zugeordnet. Samen dieser Arten trocknen bereits auf der Mutterpflanze auf Feuchtigkeitsgehalte unter 20 % aus und können bei kühlen, trockenen Bedingungen lange gelagert werden. Dem orthodoxen Lagerungstyp steht der rekalkitrante Lagerungstyp gegenüber. Bei Arten, die diesem Lagerungstyp zugeordnet werden, trocknen die Samen auf der Mutterpflanze nicht aus und reagieren auf die Trocknung und auch auf kühle Temperaturen bei der Lagerung mit einem raschen Verlust der Keimfähigkeit. Beispiele für diesen Lagerungstyp sind Arten aus den feuchten Tropen und Sub-Tropen wie Avocado, Kakao oder Kaffee, Wasserpflanzen wie Wassernuß, Seerose oder wilder Reis und großsamige Forstarten wie Eiche, Roßkastanie oder Walnuß. In dieser Arbeit werden ausschließlich orthodoxe Samen behandelt.

Eine typische Keimfähigkeitsverlustkurve, die den Verlust der Keimfähigkeit von orthodoxem Saatgut im Zeitverlauf darstellt, hat einen sigmoiden Verlauf. In der ersten Phase der Alterung nimmt die Keimfähigkeit nur langsam ab. Dann folgt eine Phase mit beschleunigter Abnahme, die wiederum in eine Phase verzögerter Abnahme übergeht, bis schließlich alle Samen der Partie abgestorben sind (GANE, 1948). Die Steilheit dieser Kurve hängt von den Lagerungsbedingungen ab. Erste Ansätze, den Einfluß der Lagerungsbedingungen zu quantifizieren, lieferten HUKILL (1963) und HARRINGTON (1972), die jeweils einen "Alterungsindex" definierten, der den Einfluß von Feuchtigkeit und Temperatur quantitativ wiedergab. Diese Indices konnten jedoch nur Lagerungsbe-

dingungen relativ zueinander bewerten und keine quantitative Vorhersage der Lagerungsfähigkeit erreichen. Auch konnten sie den sigmoiden Verlauf nicht einbeziehen.

ROBERTS (1960) und ELLIS und ROBERTS (1980) entwickelten eine Lebensfähigkeitsgleichung, die den Keimfähigkeitsverlust während der Lagerung in Abhängigkeit von der Lagerungstemperatur und dem Samenfeuchtigkeitsgehalt quantifiziert. Sie konnten zeigen, daß die für den sigmoiden Verlauf der Keimfähigkeitsverlustkurve ursächliche Häufigkeitsverteilung des Absterbens der Samen sehr häufig einer Normalverteilung entspricht. Sie transformierten deshalb die Keimfähigkeitsverlustkurve mittels der Probittransformation in eine Gerade (ROBERTS, 1960). Dann bestimmten sie jeweils eine Funktion, die die Abhängigkeit der Steigung dieser Geraden von den Faktoren Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG) und Temperatur (T) quantifiziert werden kann. Die Zusammenfassung dieser beiden Modelle ermöglicht die Bestimmung der Keimfähigkeit v nach einer bestimmten Lagerungsdauer p unter Berücksichtigung der Faktoren Ausgangskeimfähigkeit (K_i) Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG) und Temperatur (T) nach der verbesserten Lebensfähigkeitsgleichung (ELLIS und ROBERTS, 1980):

$$v = K_i - \frac{1}{10^{K_E - C_W \log(SFG) - C_H T - C_Q T^2}} P \quad (1)$$

Die artspezifischen Konstanten K_E , C_W , C_H und C_Q in dieser Gleichung müssen durch Alterungsversuche unter kontrollierten Bedingungen experimentell bestimmt werden. Es wird angenommen, daß diese Konstanten artspezifisch, jedoch nicht sorten- oder partiespezifisch sind. Eine Zusammenstellung ergab, daß derzeit für 63 Arten die Konstanten für die verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung in der Literatur verfügbar sind (RÖSCH, 2000). *Tabelle 1* zeigt die für landwirtschaftlich genutzte Arten ermittelten Konstanten. Sind die Konstanten für eine Art bestimmt, können diese für die Berechnung des Keimfähigkeitsverlusts beliebiger Partien dieser Art benutzt werden. In der vorliegenden Arbeit werden drei verschiedene Anwendungen der Lebensfähigkeitsgleichung dargestellt:

⊗ Der Vergleich verschiedener Lagerungsbedingungen mittels Iso-Keimfähigkeitskurven

- Die Überprüfung der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit
- Die Überprüfung der Toleranzen für Temperatur und Samenfeuchtigkeitsgehalt bei der kontrollierten Alterungsprüfung.

Tabelle 1: Konstanten für die verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung für landwirtschaftlich genutzte Arten der gemäßigten Breiten.

Art	K_E	C_W	C_H	C_Q	Quelle
Gerste	9,983	5,896	0,04	0,000428	ELLIS und ROBERTS 1980b
Weizen	10,08	5,80	0,0465	0,000596	STAHL und STEINER 1998b
Mais	8,579	4,910	0,0329	0,000428	HONG et al. 1996
Erbse	9,860	5,390	0,0329	0,000478	ELLIS et al. 1989
Raps	7,718	4,54	0,0329	0,000478	ELLIS et al. 1989
Sojabohne	7,748	3,979	0,053	0,000228	ELLIS et al. 1982
So'blume	6,74	4,160	0,0329	0,000478	ELLIS et al. 1988
Lein	7,76	4,860	0,0329	0,000478	ELLIS et al. 1988
Beta-Rübe	8,943	4,723	0,0329	0,000478	ELLIS et al. 1990b

Autor: Dr. Michael KRUSE, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Universität Hohenheim, Fruwirthstr. 21, D-70593 STUTTGART



Material und Methoden

1. Der Vergleich verschiedener Lagerungsbedingungen mittels Iso-Keimfähigkeitskurven

Für den Vergleich verschiedener Lagerungsbedingungen im Hinblick auf die Sicherstellung des Erhalts der Keimfähigkeit des Saatguts eignen sich Iso-Keimfähigkeitskurven sehr gut. Alle in einem Samenfeuchtigkeitsgehalts/Temperatur-Diagramm durch eine Iso-Keimfähigkeitskurve miteinander verbundenen Lagerungsbedingungen führen bei gleicher Ausgangskeimfähigkeit der Partien zu der gleichen Keimfähigkeit nach der Lagerung. Sie sind somit als gleichwertig zu betrachten. Für die Berechnung dieser Kurven wurde der Samenfeuchtigkeitsgehalt in Abhängigkeit von der Temperatur unter Vorgabe einer Ausgangskeimfähigkeit, einer Lagerungsdauer und einer Endkeimfähigkeit durch Umstellung der Lebensfähigkeitsgleichung nach folgender Formel berechnet:

(2)

$$SFG = 10 \frac{K_e - C_H T - C_Q T^2 - \log\left(\frac{P}{K_i - v}\right)}{C_W}$$

2. Die Überprüfung der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit

Für die Nachprüfung der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit (ANONYMUS, 1998) wurden zunächst die Keimfähigkeitsverlustkurven für die Lagerung bei den derzeit zulässigen Höchstgehalten an Feuchtigkeit nach Gleichung (1) berechnet. Dann wurden mit Hilfe der Gleichung (2) die Samenfeuchtigkeitsgehalte berechnet, die für eine Lagerung bis zur nächsten und zur übernächsten Aussaat nicht überschritten werden dürfen, damit die gesetzlich vorgeschriebene Mindestkeimfähigkeit zum Zeitpunkt der Aussaat gerade noch eingehalten wird. Als Ausgangskeimfähigkeit wurde hier die durchschnittliche Keimfähigkeit aus der Saatgutenerkennung der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (LUF) Augustenberg und Hannover sowie der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (BLBP) in

Freising verwendet. Die Berechnungen wurden für die drei Lagerungstemperaturen 5, 11 und 15 °C durchgeführt.

3. Die Überprüfung der Toleranzen für Temperatur und Samenfeuchtigkeitsgehalt bei der kontrollierten Alterungsprüfung

Im ISTA Handbook of Vigour Test Methods (HAMPTON und TEKRONY, 1995) ist für die artspezifisch vorgeschriebenen Temperaturen während der Alterung von 40 bzw. 45 °C eine Toleranz von jeweils $\pm 0,2$ °C angegeben. Für den Samenfeuchtigkeitsgehalt, der artspezifisch auf einen Wert zwischen 18 und 22 % einzustellen ist, ist eine Toleranz von ± 1 % als gut, eine Toleranz von ± 2 % als noch hinreichend angegeben. Mit Hilfe der Gleichung (1) wurden für die jeweiligen Toleranzgrenzen der Temperatur und des Samenfeuchtigkeitsgehalts (± 1 %) Keimfähigkeitsverlustkurven berechnet und die Spannweiten der Keimfähigkeit nach der 24stündigen Alterung verglichen.

Ergebnisse und Diskussion

1. Der Vergleich verschiedener Lagerungsbedingungen mittels Iso-Keimfähigkeitskurven

Verschiedene Iso-Keimfähigkeitskurven für die einjährige Lagerung von Weizen-saatgut mit einer Ausgangskeimfähigkeit von 98% sind in *Abbildung 1* dargestellt. Es wurden Keimfähigkeiten nach der Lagerung von 90, 92, 94, 96, 97 und 97,8 % vorgegeben. Die Kurven zeigen deutlich, daß zwischen Samenfeuchtigkeits-

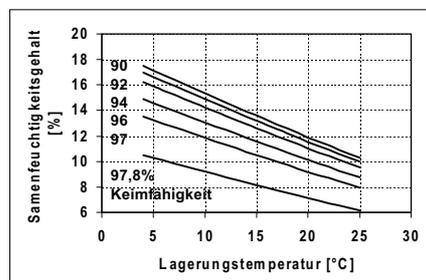


Abbildung 1: Iso-Keimfähigkeitskurven für die einjährige Lagerung von Weizen mit einer Ausgangskeimfähigkeit von 98% und Keimfähigkeiten nach der Lagerung von 90, 92, 94, 96, 97 und 97,8%.

gehalt und Temperatur Kompensationswirkungen bestehen. Hohe Temperaturen können durch niedrige Samenfeuchtigkeitsgehalte ausgeglichen werden sowie auch hohe Samenfeuchtigkeitsgehalte durch niedrige Temperaturen. Allerdings zeigt der Vergleich der sechs Iso-Keimfähigkeitskurven, daß bei höheren Keimfähigkeiten nach der Lagerung die Iso-Keimfähigkeitskurven flacher verlaufen. Das bedeutet, daß mit zunehmend höheren Anforderungen an die Qualität einer Partie nach der Lagerung niedrige Samenfeuchtigkeitsgehalte unabdingbar notwendig werden. Denn hier ist eine Kompensation zu hoher Samenfeuchtigkeitsgehalte durch niedrige Temperaturen nicht mehr möglich. So muß beispielsweise der Samenfeuchtigkeitsgehalt unter 11 % liegen, um den während der einjährigen Lagerung bei den üblichen Lagerungstemperaturen über 5 °C auftretenden Keimfähigkeitsverlust unter 0,2 % halten, was praktisch einem Erhalt der Ausgangsqualität entspricht.

In *Abbildung 2* sind die Iso-Keimfähigkeitskurven sechs verschiedener Arten dargestellt. Sie wurden berechnet für Saatgut mit einer Ausgangskeimfähigkeit von 98 % und einer Keimfähigkeit nach einer einjährigen Lagerung von 90 %. Die Iso-Keimfähigkeitskurven zeigen deutliche Unterschiede im Lagerungsverhalten der Arten. Die Getreidearten einschließlich Mais zusammen mit der Leguminose Erbse können bei noch vergleichsweise ungünstigen Lagerungsbedingungen gelagert werden, wohingegen die Arten Raps und Sonnenblume nur bei kühlen und zugleich trockenen Bedingungen gelagert werden können. Diese Unterschiede können vornehmlich auf

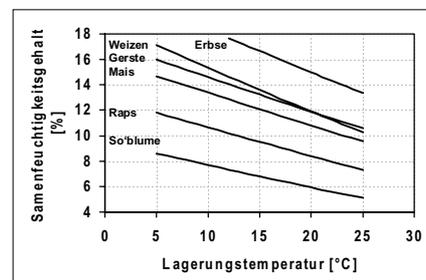


Abbildung 2: Iso-Keimfähigkeitskurven für die einjährige Lagerung von Saatgut sechs verschiedener Arten mit einer Ausgangskeimfähigkeit von jeweils 98% und einer Keimfähigkeit nach der Lagerung von 90%.

den Ölgehalt der Samen zurückgeführt werden. Je höher der Ölgehalt, desto niedriger der notwendige Samenfeuchtigkeitsgehalt für eine erfolgreiche Lagerung. Auch hier wird nochmals deutlich, daß bei notwendigen guten Lagerungsbedingungen bei Raps und Sonnenblume zu hohe Samenfeuchtigkeitsgehalte nicht durch niedrige Temperaturen kompensiert werden können, da die Iso-Keimfähigkeitskurven sehr flach verlaufen.

2. Die Überprüfung der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit

Zuerst wurden die Keimfähigkeitsverlustkurven der 10 untersuchten landwirtschaftlich genutzten Arten beim jeweils zulässigen Höchstgehalt an Feuchtigkeit, bei einer Temperatur von 11 °C und einer Ausgangskeimfähigkeit von 95 % berechnet. Es sollte eigentlich erwartet werden können, daß die für diese Bedingungen berechneten Keimfähigkeitsverlustkurven in etwa denselben Verlauf zeigen und die Einhaltung der geforderten Mindestkeimfähigkeit bei einer Lagerung zumindest bis zur nächsten Aussaat möglich ist. Aus *Abbildung 3* wird jedoch deutlich, daß erhebliche Unterschiede zwischen den Arten bestehen, und die zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit somit nicht gleichwertig sind. Sehr rasch verliert Leinsaatgut die Keimfähigkeit. Bereits nach einer Lagerung von 2-3 Monaten ist bei einem zulässigen Höchstgehalt an Feuchtigkeit von 13 % die Keimfähigkeit auf unter 80 % zurückgegangen. Bei Sonnenblume

mensaatgut liegt die Keimfähigkeit bei einem zulässigen Höchstgehalt von 10 % bereits nach vier Monaten unter 80 %. Sehr gut lagerungsfähig beim jeweiligen zulässigen Höchstgehalt ist dagegen Saatgut von Futtererbse, Raps und Beta-Rübe. Bei diesen Arten ist auch nach einer zweijährigen Lagerung beim zulässigen Höchstgehalt von 15 % die Keimfähigkeit noch über bzw. bei 90 %. Der Keimfähigkeitsverlust der übrigen Arten liegt zwischen diesen Extremen.

Mit Hilfe der Gleichung (2) wurde der Samenfeuchtigkeitsgehalt berechnet, der erforderlich ist, um zum Zeitpunkt der nächsten oder übernächsten Aussaat die Mindestkeimfähigkeit noch einzuhalten. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 2* dargestellt. Bei Lagerungstemperaturen von 5 °C ist bei einjähriger Lagerung der gesetzlich zulässige Höchstgehalt bei den meisten Arten ausreichend um die Mindestkeimfähigkeit zur Aussaat sicherzustellen. Nur bei Sommergerste, Lein und Sonnenblume ist ein Samenfeuchtigkeitsgehalt von 2, 3 bzw. 2 % unterhalb des gesetzlich zulässigen Höchstgehaltes erforderlich. Wenn die Lagerungstemperatur auf 15 °C ansteigt, reichen die gesetzlich zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit nur bei Erbse, Ackerbohne, Sojabohne, Raps, Beta-Rübe aus, um die Mindestkeimfähigkeit sicherzustellen. Bei den anderen Arten sind Werte erforderlich, die 2 bis 5 % unterhalb der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte lie-

gen. Wird das Saatgut bis zur übernächsten Aussaat bei 5 °C überlagert, sind generell niedrigere Samenfeuchtigkeitsgehalte erforderlich. Nur bei den großkörnigen Leguminosen, bei Raps und der Beta-Rübe sind die gesetzlich zulässigen Höchstgehalte noch ausreichend. Erfolgt die Überlagerung bei 15 °C, reichen nur bei Winter-raps und Beta-Rübe die gesetzlich zulässigen Höchstgehalte noch aus. Bei den anderen Arten sind Samenfeuchtigkeitsgehalte erforderlich, die 1 bis 6 %, bei den Getreidearten im Mittel 5 %, unterhalb der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte liegen. Detailliertere Berechnungen sind bei RÖSCH (2000) zu finden. Die für Beta-Rübe berechneten ausreichenden Samenfeuchtigkeitsgehalte sind sehr hoch. Bei diesen Samenfeuchtigkeitsgehalten ist eine sichere Lagerung wegen der Gefahr von Pilzbefall nicht möglich. Deshalb sollten diese Werte nicht für die Lagerung verwendet werden. Entsprechende Überprüfungen bei Gemüsesaatgut wurden ebenfalls vorgenommen (RÖSCH, KRUSE und STEINER, 2000).

Aufgrund der Ergebnisse der Berechnungen bedürfen die zulässigen Höchstgehalte für die Arten Erbse, Ackerbohne, Sojabohne, Raps und Beta-Rübe keiner Änderung. Für die anderen untersuchten Arten werden in *Tabelle 3* Empfehlungen für eine Änderung der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte an Feuchtigkeit gegeben. Insbesondere bei den öl-

Tabelle 2: Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG), bei dem durchschnittliche, anerkannte Saatgutpartien nach einer Lagerung bei 3 verschiedenen Temperaturen die Mindestkeimfähigkeit (KF min.) zum Zeitpunkt der nächsten bzw. übernächsten Aussaat noch erfüllen.

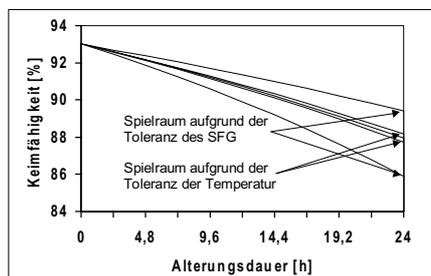


Abbildung 3: Keimfähigkeitsverlustkurven für Beta-Rüben unter den Bedingungen der kontrollierten Alterungsprüfung. Die mittlere Kurve wurde für die vorgeschriebenen Bedingungen (24% SFG und 45 °C) berechnet, die äußeren jeweils für die Toleranzgrenzen der Temperatur und des Samenfeuchtigkeitsgehaltes.

Art	Ø KF in der Anerkennung	KF min. (%)	zulässiger Höchstgehalt an Feuchtigkeit (%)	erforderlicher SFG* (%) für eine Lagerung bis zur					
				nächsten Aussaat bei Temperaturen (° C) von:		übernächsten			
				5	11	15	5	11	15
S-Gerste	95	92	16	14	13	12	12	11	10
S-Weizen	95	92	16	16	14	13	13	12	11
Mais	96	90	14	16	14	13	12	11	10
Erbse	88	80	15	19	17	16	16	14	13
Ackerbohne	89	85	15	19	17	15	15	13	11
W-Raps	96	85	9	19	17	15	11	10	9
S-Raps	95	85	9	12	11	10	10	9	8
Sojabohne	91	80	12	17	14	12	13	11	9
So'blume	92	85	10	8	7	7	7	6	5
Lein	92	92/85**	13	10	9	8	8	7	7
Beta-Rübe	97	80	15	23	21	19	19	17	15

* Die Samenfeuchtigkeitsgehalte, die unterhalb des zulässigen Höchstgehalts an Feuchtigkeit liegen, sind fett und kursiv gedruckt.

** Der Wert von 92 % bezieht sich auf Faserlein; der Wert von 85 % auf Öllein.

Tabelle 3: Konsequenzen für die Saatgutverordnung

Art	bisheriger Höchstgehalt an Feuchtigkeit (%)	Vorschlag für einen neuen Höchstgehalt an Feuchtigkeit (%)
Lein	13	9
Sonnenblume	10	9
S-Gerste	16	14
W-Gerste	16	15
S-Weizen	16	14
W-Weizen	16	15
Mais	14	13

reichen Körnerfruchtarten Lein und Sonnenblume werden deutlich niedrigere Werte vorgeschlagen, um die Einhaltung der gesetzlichen Mindestkeimfähigkeit bis zur Aussaat sicherzustellen. Diese Empfehlungen sollten einer weiteren Überprüfung unterzogen werden, in welche auch die praktischen Erfahrungen der Pflanzenzüchter und des Saatguthandels mit einbezogen werden sollten.

3. Die Überprüfung der Toleranzen für Temperatur und Samenfeuchtigkeitsgehalt bei der kontrollierten Alterungsprüfung

Für die Überprüfung wurde die Beta-Rübe beispielhaft ausgewählt. Nach dem ISTA Hand-book of Vigour Test Methods (HAMPTON und TEKRONY, 1995) erfolgt die Alterung bei einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von $24\% \pm 1\%$ und einer Temperatur von $45\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$. Es wurden Keimfähigkeitsverlustkurven für die Sollbedingungen 24%

SFG und 45 °C sowie für folgende Bedingungen berechnet: 24% SFG und $44,8\text{ °C}$, 24% SFG und $45,2\text{ °C}$, 23% SFG und 45 °C sowie 25% und 45 °C . Einheitlich für alle Varianten wurden eine Ausgangs-keimfähigkeit von 93% und die vorgeschriebene Alterungsdauer von 24 Stunden den Berechnungen zugrunde gelegt. *Abbildung 3* zeigt die Ergebnisse. Die Keimfähigkeit nach der Alterung bei Sollbedingungen betrug $88,0\%$. Die Toleranz für die Alterungstemperatur von $\pm 0,2\text{ °C}$ führte zu Keimfähigkeiten von $87,7$ und $88,2\%$, was eine Spannweite von $0,5\%$ ergibt. Diese Spannweite ist angesichts der Untersuchungsprobengröße in der Keimfähigkeitsbestimmung von 200 Samen und der damit verbundenen Standardabweichung durch den Probenahmefehler von $sd=2,3\%$ praktisch vernachlässigbar. Die Toleranz für den Samenfeuchtigkeitsgehalt von $\pm 1\%$ führte dagegen zu Keimfähigkeiten nach der Alterung von $85,9$ und $89,4\%$, was eine Spannweite von $3,5\%$ ergibt. Diese Spannweite ist zum einen größer als der Probenahmefehler und sollte deshalb Gegenstand intensiver Bemühungen zur weiteren Standardisierung der Methodik sein. Zum anderen aber ist diese Spannweite 6fach größer als die Spannweite die sich aufgrund der Toleranz für die Temperatur ergibt. Dieses Mißverhältnis verdeutlicht, daß die im Vergleich zum Samenfeuchtigkeitsgehalt und zur Präzision der Keimfähigkeitsbestimmung engen Toleranzen für die Temperatur nicht gerechtfertigt sind. Da zudem diese enge Toleranz die Verwendung von

Standard-Alterungsschranken mit Toleranzen von $\pm 0,5\text{ °C}$ ausschließt und aufwendigere und teurere Alterungsschranke notwendig macht, ist diese Toleranz dringend einer experimentellen Nachprüfung zu unterziehen. Und da hierdurch diese enge Toleranz auch die Akzeptanz der kontrollierten Alterungsprüfung als Triebkraftprüfung insgesamt negativ betroffen sein dürfte, sollte hiermit unmittelbar begonnen werden.

Literatur

- ANONYMUS, 1998: Verordnung über den Verkehr mit Saatgut landwirtschaftlicher Arten und von Gemüsearten (Saatgutverordnung). In: Sorten- und Saatgutrecht (Hrsg. H.-W. Rutz), 119-206. Buchedition Agrimedia, Bergen.
- ELLIS, R. H. and E. H. ROBERTS, 1980: Improved equations for the prediction of seed longevity. *Ann. Bot.*, 45, 13-30.
- GANE, R., 1948: The effect of temperature, humidity and atmosphere on the viability of chewing's fescue grass seed in storage. *J. agric. Sci.*, 38, 90-92.
- HAMPTON, J. and D. TEKRONY, 1995: ISTA Handbook of vigour test methods. The International Seed Testing Association, Zürich.
- HARRINGTON, J. F., 1972: Seed storage and longevity. In: *Seed biology* (Hrsg. T. T. Kozlowski), volume 3, 145-245. Academic Press, New York.
- HUKILL, W. V., 1963: Storage of seeds. *Proc. Int. Seed Test. Ass.*, 28, 871-883.
- ROBERTS, E. H., 1960: The viability of cereal seung zur Sicherstellung einer sachgerechten Lagerung. VDLUFA-Schriftenreihe, 53, im Druck.
- STAHL, M. and A. M. STEINER, 1998b: Germination and vigour loss of non-sprouted and sprouted wheat seeds during storage - testing the viability constants. *Seed Sci. Res.*, 8, 123-128.