

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung,
Saatgutforschung und Populationsgenetik
der Universität Hohenheim
Fachgebiet Saatgutwissenschaft und –technologie
Prof. Dr. M. Kruse

**Der Einfluss von Ölgehalt und Fettsäuremuster
auf die Lagerfähigkeit
von Saatgut**

**Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften
Vorgelegt der Fakultät Agrarwissenschaften
der Universität Hohenheim**

**von
Dipl. Agr.-Biol.
Kambiz Ghiasvand Ghiasi
aus Qazvin, Iran**

2007

Diese Abhandlung wurde von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Berichterstatter:	Prof. Dr. M. Kruse
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. W. Claupein
3. Prüfer	Prof. Dr. R. Schultze- Kraft

Datum der mündlichen Prüfung:	15.03.2007
-------------------------------	------------

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	2
1.1 EINFÜHRUNG	2
1.2 ZIELSTELLUNG	8
2. MATERIAL UND METHODEN	9
2.1 MATERIAL	9
2.2 METHODEN	9
2.2.1 Bestimmung des Samenfeuchtigkeitsgehaltes	9
2.2.2 Einstellung des Samenfeuchtigkeitsgehaltes	9
2.2.3 Kontrollierte Alterung	11
2.2.4 Bestimmung der Keimfähigkeit	11
2.2.5 Bestimmung der Lebensfähigkeit	12
2.2.6 Bestimmung der Feuchtigkeitsgleichgewichtsisotherme	12
2.2.7 Bestimmung des Ölgehaltes	12
2.2.8 Bestimmung des Fettsäuremusters	13
2.2.9 Statistische Auswertung	13
3. ERGEBNISSE	16
3.1 FEUCHTIGKEITSGLEICHGEWICHTSISOTHERME FÜR SAMEN UND EMBRYONEN VON SONNENBLUME	16
3.2 DER ÖLGEHALT DES ACHSENSYSTEMS UND DIE ALTERUNG DER SAMEN	19
3.3 DER ÖLGEHALT UND DAS ALTERUNGSVERHALTEN DER SAMEN	22
3.3.1 Aufnahme des Ölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung	30
3.3.2 Überprüfung der neuen Vorschläge und Modelle	33
3.3.3 Überprüfung der Genauigkeit der Modelle	39
3.3.4 Validierung der Modelle mit einem neuen Datensatz	42
3.4 FETTSÄUREMUSTER DES SAMENÖLES UND ALTERUNG DER SAMEN	47
4. DISKUSSION	54
4.1 BIOCHEMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE ASPEKTE BEI DER ALTERUNG VON ÖLREICHEN SAMEN	55
4.2 DIE METHODIK DER ALTERUNGSVERSUCHE BEI DER BESTIMMUNG DER KONSTANTEN	57
4.3 DAS GESPEICHERTE ÖL IM ACHSENSYSTEM UND DIE ALTERUNG DER SAMEN	58
4.4 DER ÖLGEHALT UND DIE ALTERUNG DER SAMEN	61
4.5 AUFNAHME DES ÖLGEHALTS IN DIE LEBENSFÄHIGKEITSGLEICHUNG UND ÜBERPRÜFUNG DES AUSSAGEVERMÖGENS DER NEUEN MODELLE	62
4.6 AUSWAHL DES BESTEN MODELLS	64
4.6.1 Vergleich zwischen Modellen	64
4.6.2 Die Auswahl des ausgewählten Vorschlags und die Überprüfung durch Validierungsversuch	67
4.7 FETTSÄUREN UND DIE SAMENALTERUNG	68
5. ZUSAMMENFASSUNG	71
6. LITERATURVERZEICHNIS	75
7. ANHANG	81
DANKSAGUNG	83
LEBENS LAUF	84
ERKLÄRUNG	85

1. Einleitung

1.1 Einführung

Die Lagerung von Saatgut ist an sich eine Investition in die Zukunft. Wie das künftige Leben der Menschen in den nächsten Generationen aussehen wird, hängt davon ab, wie wir heute die noch vorhandenen Ressourcen nachhaltig nutzen und für die nachfolgenden Generationen verfügbar erhalten. Auf unserem Planeten sind nicht nur fossile Rohstoffe durch unkontrollierten Verbrauch von endgültiger Vernichtung bedroht, sondern auch die biologischen Ressourcen, besonders bei Pflanzen, sind einer direkten oder indirekten Gefahr der genetischen Erosion ausgesetzt. Dadurch können die ursprünglichen Eigenschaften der Lebewesen verloren gehen, oder diese durch unüberlegte ökologische Veränderungen ihrer Lebensräume sogar aussterben. Deshalb ist die Konservierung der pflanzlichen genetischen Ressourcen als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion von besonderer Bedeutung. Die Pflanzenmaterialien, die sich am besten für die Lagerung empfehlen, sind die Pflanzensamen. Seit langen Zeiten lagern Menschen in verschiedener Art und Weise die Samen kurz- oder langfristig ein. Allerdings wo und wie man Saatgut gelagert hat, war oftmals willkürlich und erfahrungsgemäß immer mit einem gewissen Risiko verbunden. Mit zunehmender Bevölkerungszahl der Menschen im letzten Jahrhundert gewannen Landwirtschaft und Nahrungsproduktion immer mehr an Bedeutung. Es wurden entsprechend neue ertragreichere und gegen Schädlinge resistenterere Sorten gezüchtet. Die Notwendigkeit einer fachgerechteren und kostengünstigeren Lagerung von Saatgut wurde damit immer größer. Um ideale Lagerungsbedingungen zu erzielen, bedarf es höherer Kosten, besonders bei ständig steigenden Energiepreisen. Dadurch gewinnt eine fachgerechte und sparsame Lagerung immer mehr an Bedeutung. Parallel dazu nimmt das ökonomische und ökologische Interesse an den schwer lagerbaren ölreichen Samenarten z. B. Raps, Sonnenblume, Soja und Lein für die Lebensmittelproduktion und Energiegewinnung zu. Das hat zur Folge, dass immer mehr Sorten mit unterschiedlichen Ölgehalten, Ölzusammensetzungen und anderen biologischen und ökologischen Eigenschaften gezüchtet werden. Damit steigt auch bei diesen Samenarten die Bedeutung der fachgerechten Lagerung der genetischen Ressourcen der neu gezüchteten und alten Sorten. Eine genaue Vorhersage der Lagerfähigkeit von Saatgutpartien und die dafür erforderlichen Lagerungsbedingungen ermöglichen eine effiziente und erfolgreiche Lagerung des Saatgutes. Dank der „verbesserten Lebensfähigkeitsgleichung“ (ELLIS und ROBERTS 1980a) hat die Lagerung des Saatgutes in den letzten Jahrzehnten einen großen

Entwicklungsfortschritt erreicht. Von nun an bekamen Züchter und Genbanken die Möglichkeit, die optimalen Lagerungsbedingungen verschiedener Arten genauer zu bestimmen. So konnten Qualitätsverluste des Saatgutes und damit verbundene wirtschaftliche Verluste reduziert werden. Allerdings hat es lange gedauert, bis man zu der Lebensfähigkeitsgleichung gelang. Zuvor versuchten verschiedene Autoren, die Beziehung zwischen Lagerung und Alterung der Samen mathematisch zu erklären, die hier in Kürze erwähnt werden: Zuerst beschrieb GANE (1948) den Alterungsverlauf einer Samenpartie mit der „Gomperz- Gleichung“, allerdings wurde bei ihr die Beziehung zwischen den Lagerungsfaktoren nicht berücksichtigt. HARRINGTON (1963) stellte folgende „Faustregeln“ auf: in einer Samenfeuchtigkeitsspanne von 5 – 14 % und einer Lagerungstemperaturspanne von 0 – 50 °C, ist die Wirkung einer 1 %igen Zunahme des Samenfeuchtigkeitsgehalts gleichbedeutend mit einer Temperaturzunahme um 5 °C und beide bewirken eine Halbierung der möglichen Lagerungsdauer.

ROBERTS (1960) definierte das Alterungsverhalten der Samen als ein Absterben der Samen entlang einer sigmoiden Kurve, deren Steilheit von den Lagerungsbedingungen abhängt. In der Literatur wurde von einer 2-phasigen, artabhängigen Lebensfähigkeitskurve geschrieben. Das heißt, bei den gleichen Lagerungsbedingungen besitzen manche Arten eine langsamere Anfangsphase, wie Weizen, Mais, und andere eine schnellere Anfangsphase wie Zwiebel und Salat. ELLIS und ROBERTS (1981) fanden heraus, dass der Keimfähigkeitsverlust der Samen während der Lagerung einer Normalverteilung folgt. BRADFORD *et al.* (1993) bestätigten dieses Modell.

ROBERTS (1960) stellte aufbauend auf der Normalverteilungsannahme eine erste mathematische Beziehung zwischen der Alterung der Samen und den Lagerungsfaktoren Feuchtigkeit und Temperatur fest. Die drei „Grund- Lebensfähigkeitsgleichungen“ werden von ROBERTS (1973a) vorgestellt. Basierend auf diesen Gleichungen stellten ELLIS und ROBERTS (1980a) dann die „einfache Lebensfähigkeitsgleichung“ sowie die „verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung“ dar (Abb. 1.1).

a. Die „einfache Lebensfähigkeitsgleichung“

$$v = K_i - p \frac{1}{10^{K_L - C_1(\text{SFG}) - C_2 T}}$$

V = Keimfähigkeit (in probit) nach Lagerung von (P)Tagen

K_i = Ausgangskeimfähigkeit (in probit)

SFG = Samenfeuchtigkeitsgehalt (in %)

T = Temperatur (in °C)

P = Lagerungsdauer (in Tage)

K_L , C_1 und C_2 = artspezifische Konstanten

b. verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung

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

The diagram shows the equation with four arrows pointing to specific parts: arrow 'y' points to 'v', arrow 'b' points to ' K_i ', arrow 'x' points to ' p ', and arrow 'a' points to the entire denominator term $\frac{1}{10^{K_E - C_W \log(\text{SFG}) - C_H T - C_Q T^2}}$.

V = Keimfähigkeit (in probit) nach Lagerung von P Tagen

K_i = Ausgangskeimfähigkeit (in probit)

SFG = Samenfeuchtigkeitsgehalt (in %)

T = Temperatur (in °C)

P = Lagerungsdauer (in Tage)

K_E , C_W , C_H und C_Q = artspezifische Konstanten

Abbildung 1.1: a. Einfache Lebensfähigkeitsgleichung b. verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung (Ellis und Roberts 1980a)

Sie erzielten durch die verbesserte Version eine bessere Anpassung an verschiedene Samenfeuchtigkeitsgehalte, indem sie anstelle des Feuchtigkeitsterms $C_1(\text{SFG})$ den logarithmischen Feuchtigkeitsterm $C_w \log(\text{SFG})$ eingesetzt haben. Eine bessere Anpassung durch den logarithmischen Feuchtigkeitsterm berichteten bereits ROBERTS und ABDALLA (1968). Eine bessere Anpassung an verschiedenen Temperaturen erreichten sie, indem sie anstelle des Temperaturterms $-C_2 T$ den quadratischen Temperaturterm $-C_H T - C_Q T^2$

berücksichtigen. Seitdem verwendet man für die Vorhersage der Lagerfähigkeit der Samen die verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung. Ein genauerer Blick auf die Komponenten der Gleichung und deren Zusammenhänge hilft, die Funktion dieser Gleichung besser zu verstehen. Die Lebensfähigkeitsgleichung ist eine lineare Gleichung des Typs $y = b - ax$ (Abb. 1.1b). In der Gleichung ist $10^{K_E - C_w \log(\text{SFG}) - C_H T - C_Q T^2} = \sigma$ die Standardabweichung der normalverteilten Streuung der Lebensdauer der Samen und $a = 1/\sigma$ ist die Steigung der zugehörigen Probitgerade. Sie kann durch Transformation der während der Lagerung ermittelten Keimfähigkeitsprozentwerte in das Probit-Netz erhalten werden (ELLIS und ROBERTS 1980a) (siehe auch Abb. 2.1). „a“ selbst ist eine Exponentialfunktion. Der Exponent besteht aus dem Summanden K_E (der allgemeinen Artkonstanten), dem Feuchtigkeitsterm $C_w \log(\text{SFG})$ und dem Temperaturterm $(C_H T - C_Q T^2)$. Die artspezifische Feuchtigkeitskonstante C_w gewichtet im Feuchtigkeitsterm den logarithmischen Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG). Im Temperaturterm sind C_H und C_Q die Temperaturkonstanten und gewichten die Temperatur, die einmal linear und einmal quadratisch eingeht. Der Zusammenhang zwischen den Summanden im Exponenten ist rein additiv und drückt damit eine Unabhängigkeit der Faktoren voneinander und deren komplementäre Wirkung aus. Auch beinhaltet die Gleichung, dass die Samen, die unter idealen Lagerungsbedingungen gelagert würden und für die der Term $C_w \log(\text{SFG}) + C_H T + C_Q T^2$ einen Wert von 0 aufweist, einen Lebensfähigkeitsverlust erleiden, der durch K_E bestimmt würde. Der Anwendungsbereich der Lebensfähigkeitsgleichung ist begrenzt und die Grenzen werden in erste Linie durch die Temperatur bestimmt. DICKIE *et al.* (1990) beschrieben bei der quadratischen Berücksichtigung der Temperatur $(C_H T + C_Q T^2)$ eine effektive Verwendung der Gleichung bei Temperaturen zwischen -20 °C bis 90 °C, die direkt von dem Samenfeuchtigkeitsgehalt abhängig ist. ELLIS und HONG (2006) beobachteten eine Temperaturabhängigkeit der unteren Feuchtigkeitsgrenze. SINICIO (2004) untersuchte den Einfluss der Temperatur auf die Genauigkeit der Vorhersage und fand, dass die Lebensfähigkeitsgleichung bei Anwendung innerhalb der Spannweite für die Temperatur zwischen -20 bis 70 °C und für Samenfeuchtigkeitsgehalt von 5 bis 25 % besonders bei hohen Temperaturen und Feuchtigkeitsgehalten signifikante Fehler produzierte. Er führte dies auf die große Anzahl an „Artkonstanten“ in der Lebensfähigkeitsgleichung zurück.

Seit Bestehen der verbesserten Lebensfähigkeitsgleichung war die Bestimmung der artspezifischen Konstanten K_E , C_W , C_H und C_Q der verschiedenen Arten die Aufgabe zahlreicher wissenschaftlicher Studien. Bei den untersuchten Arten handelte es sich um orthodoxe Samenarten, die in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden, wie verschiedene Getreidearten, z.B.: Weizen (*Triticum aestivum* L.) (STAHL und STEINER 1998b), Hülsenfrüchte, z. B.: Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris* L.) (HONG et al. 1996), aber auch wichtige Forstarten, z. B.: Kiefern (*Pinus olliotti* Engelm.) (BONNER 1994). Für die untersuchten ölreichen Arten dieser Arbeit wurden die artspezifischen Konstanten für Raps (*Brassica napus* L.) durch ELLIS et al. (1989), für Sonnenblumen (*Helianthus annuus* L.) und Lein (*Linum usitatissimum* L.) durch ELLIS et al. (1988), und für Mais (*Zea mays* L.) durch HONG et al. (1996) ermittelt (siehe auch Tab. 3.7). Mittlerweile wurden für mehr als 80 Arten die Konstanten bestimmt.

Wie schon aus den Komponenten der Lebensfähigkeitsgleichung zu erkennen ist, wird in der Lebensfähigkeitsgleichung der Ölgehalt der Samen nicht explizit berücksichtigt. Wohl werden Unterschiede zwischen den Werten für die Konstanten (vor allem C_W) verschiedener Arten auf unterschiedliche mittlere Ölgehalte der Arten zurückgeführt (ELLIS 1988) und eine signifikante Beziehung konnte von SMITH et al. (2003) auch anhand einer Auswahl von Arten aufgezeigt werden, eine Aufnahme des Ölgehaltes in die Gleichung erfolgte bislang aber nicht. Das hatte zur Folge, dass die ölreichen Samenarten wie die anderen Arten behandelt wurden und dabei ein für eine Art einheitlicher Ölgehalt angenommen wurde. Durch die Züchtungsarbeit nun wurde aber eine weitere Steigerung des Ölgehaltes erreicht und dadurch auch die Spannweite des Ölgehaltes innerhalb der Arten deutlich vergrößert. Bei Sonnenblume erreichen die Sorten mittlerweile Ölgehalte zwischen 25 und über 50 % (Anonymus 2002). Zudem wurde das Fettsäurespektrum des Öls weiter verändert. Die derzeitige Lebensfähigkeitsgleichung geht davon aus, dass bei der Saatgutlagerung alle Sorten und alle Partien einer Art gleich behandelt werden können. Dieses wird in dieser Arbeit in Frage gestellt. Wenn dies nicht zutreffen würde, könnten die mit der Lebensfähigkeitsgleichung erstellten Vorhersagen der Lagerfähigkeit nur für die Partien zutreffen, die den gleichen Ölgehalt haben, der für die Bestimmung der Konstanten seinerzeit verwendet wurde. Die Aufnahme des Ölgehaltes in die Gleichung würde diese Begrenzung aufheben und eine Anwendung auch auf neue Sorten mit veränderten Eigenschaften ermöglichen. Diese Überlegung und die damit verbundenen ökologischen und wirtschaftlichen Interessen an sachgerechter Lagerung des ölreichen Saatgutes sind die Grundlage, auf der die Zielsetzung dieser Arbeit basiert.

Für das bessere Verständnis der Rolle des Samenöles bei der Alterung der Samen ist eine genauere Ortung des Öles im Samengewebe erforderlich. ROBERTS (1979), GORECKI und HARMAN (1986), FERGUSON *et al.* (1990a,b), TRAWATHA *et al.* (1995), PRICHARD *et al.* (1995) sowie PERDOMO und BURRIS (1998) untersuchten den Zusammenhang zwischen verschiedenen histochemischen, physiologischen und ultrastrukturellen Änderungen in den Achsensystemen verschiedener Samenarten und deren Alterung. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Achsensystem der Ort innerhalb des Embryos ist, der für den Erhalt der Lebensfähigkeit während der Lagerung von besonderer Bedeutung ist. Das Öl, das sich im Speichergewebe des Samenembryos (Kotyledonen) und vor allem im Achsensystem, befindet, ist für die Alterung der Samen entscheidend. Man geht davon aus, dass das Öl im Endosperm, Perisperm oder Fruchtgewebe nicht direkt für das Alterungsverhalten der Samen relevant ist, bei der Bestimmung des Ölgehaltes aber dennoch mit erfasst wird. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, zu prüfen, ob der für den gesamten Samen bestimmte Ölgehalt und auch der ebenso bestimmte Samenfeuchtigkeitsgehalt für diese Betrachtungen geeignet ist, oder nicht eher die Gehalte in den relevanten Geweben, d. h. dem Achsensystem heranzuziehen sind.

Das natürlich vorkommende Pflanzenöl setzt sich ausnahmslos aus Gemischen der freien Fettsäuren mit zahlreichen verschiedenen Triglyceriden zusammen. Die Frage erhebt sich, ob die Veränderung in der Zusammensetzung dieses Gemisches vor oder auch während der Lagerung mit dem Alterungsverhalten in Verbindung steht. Hierfür gibt es bereits einige Indizien. Bereits ANDERSON (1973) zitierte aus unterschiedlichen Studien auftretende Änderungen während der Alterung in den Samen verschiedener Arten wie z. B. eine Zunahme der freien Fettsäuren und anorganischem Phosphat und eine Abnahme der natürlichen Fette und Phospholipide. FERGUSON *et al.* (1990a) stellten bei Soja (*Glycine max* (L.) Merr.) keine signifikante Änderung der gesamten Anzahl der Fettsäuren des Samenöles während der Alterung sondern eine Änderung der Anteile der einzelnen Fettsäuren fest. PRIESTLEY und LEOPOLD (1983) stellten den Zusammenhang zwischen der Änderung der Fettsäurezusammensetzung durch Lipidperoxidation und der Alterungsgeschwindigkeit bei Soja fest. TRAWATHA *et al.* (1995) beschrieben einen Zusammenhang zwischen Lipidperoxidation, freien Radikalen in der Embryoachse und der Alterungsgeschwindigkeit. ROBERTS (1979) zitierte die Peroxidation der ungesättigten Fettsäuren durch freie Radikale als den grundlegenden Schädigungsmechanismus der Zellalterung. HALDER *et al.* (1983) berichteten über unterschiedliche Änderungen des Gesamtgehaltes an Phospholipiden bei unterschiedlichen relativen Luftfeuchtigkeiten.

ROBERT und BEWLEY (1980) berichteten bei ähnlichen Bedingungen über Änderungen von einigen Fettsäuren. Diese beobachteten Effekte, besonders die Änderungen der Fettsäurezusammensetzung und die Produktion freier Radikale, sind Vorgänge, die die Samenalterung offensichtlich entscheidend mit beeinflussen. Neben den Fragen zu physiologischen Ursachen stellte sich in dieser Arbeit die Frage, ob die Berücksichtigung der Fettsäurezusammensetzung oder gar die Änderung der Fettsäurezusammensetzung während der Alterung die Alterungsgeschwindigkeit derartig beeinflusst, dass die Aufnahme in die Lebensfähigkeitsgleichung angezeigt erscheint.

1.2 Zielstellung

Die steigende Nachfrage nach Pflanzenöl in vielen Bereichen und die daraus folgende Vielfalt der Sorten von ölreichen Arten, die an verschiedene ökologische und ökonomische Ansprüche angepasst sind, verleihen der Lagerung der ölreichen Samen umso größere Bedeutung. Anhand der Untersuchungen in dieser Arbeit wird versucht, bessere Lagerungsbedingungen für die ölreichen Samen zu schaffen. Um dieses Ziel zu erreichen, standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Beeinflusst der Ölgehalt die Lagerfähigkeit von Saatgut der derzeit zugelassenen oder in Entwicklung befindlichen Sorten?
- Sind die Unterschiede im Alterungsverhalten zwischen den Sorten innerhalb der Arten signifikant?
- Wenn ja, kann die Aufnahme des Ölgehaltes in die Lebensfähigkeitsgleichung eine präzisere Vorhersage der Lagerungsdauer ermöglichen?
- Wenn ja, ist der Einfluss des Ölgehaltes auf das Alterungsverhalten artspezifisch oder artunspezifisch und damit wohl allein auf der Tatsache beruhend, dass Öl hydrophob ist?
- Könnten über den Ölgehalt hinausgehende Art- oder Sortenunterschiede im Alterungsverhalten auf Unterschieden im Fettsäuremuster beruhen, dessen Bestimmung dann eine weitere Präzisierung der Vorhersage der Lagerfähigkeit erlauben könnte?

2. Material und Methoden

2.1 Material

Die Alterungsversuche wurden mit insgesamt 28 Partien der vier Arten Sonnenblume, *Helianthus annuus* L. (9 Partien), Raps, *Brassica napus* L. emend. Metzg. (11 Partien), Lein, *Linum usitatissimum* L. (5 Partien) und Mais, *Zea mays* L. (3 Partien) durchgeführt. Bei der Sortenwahl wurde darauf geachtet, dass die gewählten Sorten möglichst das gesamte Sortenspektrum hinsichtlich des Ölgehaltes innerhalb der jeweiligen Art repräsentierten. Je Sorte wurde eine Saatgutpartie verwendet. Die Namen der Sorten sind der Tabelle 2.1 zu entnehmen.

Für die Validierungsversuche und auch für die Versuche zur Bestimmung des Einflusses des Fettsäuremusters wurden weitere Partien verwendet, die im Ergebnisteil aufgeführt sind.

Vor Versuchsbeginn wurde das vorgesehene Saatgut der verschiedenen Arten und Partien jeweils hermetisch verschlossen und zur Equilibrierung bei 6 °C gelagert. Nach frühestens zwei Wochen wurde mit den Versuchen begonnen.

2.2 Methoden

2.2.1 Bestimmung des Samenfeuchtigkeitsgehaltes

Die Bestimmung des Samenfeuchtigkeitsgehaltes erfolgte nach den Vorschriften der „International Seed Testing Association“ (ISTA- Vorschriften, ISTA 2003) mit der Ausnahme, dass abweichende Probengrößen verwendet wurden. Für die kleinsamigen Arten Raps und Lein wurden je Wiederholung etwa 500 Samen und für die großsamigen Arten Mais und Sonnenblume wurden je Wiederholung etwa 250 Samen verwendet.

2.2.2 Einstellung des Samenfeuchtigkeitsgehaltes

Für die Einstellung der für die jeweiligen Versuche erforderlichen Samenfeuchtigkeitsgehalte wurde zunächst der Samenfeuchtigkeitsgehalt nach 2.2.1 bestimmt. Mittels des Ergebnisses und der Masse der vorliegenden Probe wurde die Zielmasse berechnet, die dem Ziel-Samenfeuchtigkeitsgehalt entspricht. Dieser wurde dann durch Lagerung der Probe in relativ trockener Luft über Kieselgel oder relativ feuchter Luft über Wasser abgesenkt bzw. angehoben, bis der Ziel-Samenfeuchtigkeitsgehalt erreicht war. Dann wurden die Samen in

Aluminiumfolien-Tüten eingeschweißt und eine Woche lang im Kühlschrank bei 6 °C gelagert, damit sich die Feuchtigkeit zwischen den Samen in den Tüten austauschen und vereinheitlichen kann.

Tabelle 2.1: Informationen über die verwendeten Partien der vier Arten für die Alterungsversuche. Rauten zeigen die Samenfeuchtigkeitsgehalte (SFG) an, mit denen in Kapitel 3.3 Alterungs- und Validierungsversuche durchgeführt wurden. H: Hybridsorten, L: Liniensorten (* = gemessener Ölgehalt der gesamten Samen auf den Embryoanteil bezogen). (-) : unbekannte Maissorte

	Sortentyp	Ausgangs- keimfähigkeit (%)	Ölgehalt (%)	Alterungsversuche			
				mit 6 % SFG	mit 8 % SFG	mit 9 % SFG	mit 10 % SFG
Raps							
AHR 2426	H	96	38,9	#	#	#	#
Pronto	H	94	39,9	#	#		
THR 2470	H	86	43,2	#	#	#	#
Wotan	L	94	43,9	#	#	#	#
AHR 2422 A	H	92	44,0	#	#	#	#
AHR 2411	H	97	45,1	#	#	#	#
Licolly	L	89	45,2	#	#	#	#
Maplus	L	98	45,4	#	#	#	#
THR 2373	H	94	46,7	#	#	#	#
THR 2417	H	80	47,3	#	#	#	#
Licosmos	L	97	48,1	#	#	#	#
SLM 1647/03	L	94	48,4	#	#	#	#
Evita	L	97	49,5	#	#	#	#
Express	L	94	50,6	#	#	#	#
NPZ 0416	L	85	50,7	#	#	#	#
La 821/ 03	L	96	51,7	#	#	#	#
Oase	L	99	52,1	#	#	#	#
SLM 0314(+o)	L	94	52,3	#	#	#	#
Sonnenblume							
Cadasol	H	80	28,2	#	#		
Candisol	H	97	37,4	#	#		
Barolo	H	97	39,0	#	#		
Sweet	H	97	39,5	#	#		
Heliabel	H	95	40,5	#	#		
Heliasun	H	97	41,0	#	#		
Salut	H	74	42,0	#	#		
KW3306	H	98	42,5	#	#		
Sunny	H	90	48,3	#	#		
Lein							
Liflax	L	67	35,5		#	#	#
Liviola	L	86	35,9		#	#	#
Gold	L	95	41,6		#	#	#
Livia	L	75	41,7		#	#	#
Lirina	L	90	43,3		#	#	#
Mais							
Iho	H	86	25,5*		#		#
Haus	-	95	36,0*		#		#
Ilo	H	91	56,0*		#		#

2.2.3 Kontrollierte Alterung

Für die Alterungsversuche wurde die Methode „kontrollierte Alterung“ in Anlehnung an das „ISTA Handbook of Vigour Test Methods“ (HAMPTON und TEKRONY 1995) verwendet. Die auf den Zielfeuchtigkeitsgehalt bereits eingestellten Samen wurden, sofern noch nicht geschehen, in 10 – 15 Teilproben zufallsgemäß aufgeteilt und diese jeweils in Aluminiumfolien-Tüten wasserdicht eingeschweißt. Die Alterung erfolgte im Wasserbad (Haake, Modell DC3) bei einer konstanten Temperatur von 45 °C (+/- 0,03 °C, Regelgenauigkeit). Die Dauer eines Alterungsversuchs wurde mittels der „verbesserten Lebensfähigkeitsgleichung“ (ELLIS und ROBERTS 1980a) so bestimmt, dass die Ausgangskeimfähigkeit mindestens halbiert wird. Während der Alterung wurde in zeitlich festgelegten Abständen je eine Aluminiumfolien-Tüte entnommen, aufgeschnitten und die enthaltenen Samen wurden unmittelbar in einem Keimversuch angesetzt. Die Gesamtdauer, die Anzahl der Teilproben und die Zeitabstände zwischen den Entnahmen sind jeweils versuchsspezifisch angegeben.

2.2.4 Bestimmung der Keimfähigkeit

Die Keimfähigkeit wurde nach den ISTA- Vorschriften (ISTA 2003) bestimmt. Sofern nicht anders angegeben, erfolgte die Bestimmung allerdings mit 200 Samen je Probe. Samen von Sonnenblume und Mais wurden in Keimpapierrollen eingekeimt, Raps und Lein in Keimdosen (Stapelboxen Fa. Reinhold). Bei Raps und Lein erfolgte eine 48 Stunden lange Vorkühlung bei 6 °C im Kühlschrank. Die Keimversuche wurden dann in einem Keimschrank (Persival, Modell G12-36L) bei einer Keimtemperatur von 20 °C gestellt. Während der ersten 24 Stunden wurden die Samen dabei nicht beleuchtet, während sie die restlichen 7 Tage unter Dauerlicht standen. Die Lichtstärke betrug etwa 1000 Lux und wurde durch Fluoreszenz – Leuchtstoffröhren erzeugt.

Die Auswertung der Keimversuche erfolgte nach den ISTA- Vorschriften (ISTA 2003). Blieben mehr als 2 % der Samen frisch, so wurde entweder eine Lebensfähigkeitsbestimmung durchgeführt oder den Samen wurde eine weitere Keimdauer von bis zu 7 Tagen gegeben, bevor der Versuch abgeschlossen wurde.

2.2.5 Bestimmung der Lebensfähigkeit

Die Lebensfähigkeit wurde an den Samen bestimmt, die am Ende der Keimfähigkeitsbestimmung frisch blieben. Die Bestimmung erfolgte mittels des topographischen Tetrazolium (TTC) Tests nach den ISTA- Vorschriften (ISTA 2003). Beim TTC- Test wurde die Schale der betreffenden Samen mit einem Skalpell leicht angeschnitten, damit die Tetrazolumlösung in die Samen eindringen konnte. Dann wurden die Samen 24 Stunden lang im Dunkeln in einer 0,5 % igen TTC- Lösung (2,3,5-Triphenyltetrazoliumchlorid) bei einer Temperatur von 35 °C aufbewahrt. Danach wurden die Samen geschält und anhand der Rotfärbung bewertet. Als lebensfähig wurden diejenigen Samen eingestuft, die in den für das Hervorbringen eines normalen Keimlings wichtigen Geweben eine Rotfärbung aufwiesen. In allen anderen Fällen wurden die Samen als nicht lebensfähig bewertet.

2.2.6 Bestimmung der Feuchtigkeitsgleichgewichtsisotherme

Die Feuchtigkeitsgleichgewichtsisothermen wurde bei Sonnenblume an vollständigen Achänen (im Folgenden zur Vereinfachung als Samen bezeichnet) sowie an Samen, die in die Bestandteile Achsensystem des Embryos, Kotyledonen und Fruchtschale (Pericarp) zerlegt wurden, bestimmt. Es wurden hierfür drei Partien mit sehr unterschiedlichen Ölgehalten ausgewählt. (Cadasol: 28,2 %, Candisol: 37,4 % und Sunny: 48,3 %). Je Sorte wurden in zwei Wiederholungen je 120 Samen in die drei Bestandteile Achsensystem, Kotyledonen und Pericarp zerlegt. Diese sowie jeweils 120 intakte Samen wurden dann bei einer konstanten Temperatur von 20 °C in drei verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten (r. H.) eine Woche lang gelagert. Die rel. Luftfeuchtigkeiten wurden durch gesättigte Lösungen von $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (55 % r. H.), MgCl_2 (32 % r. H.) und NaCl (76 % r. H.) eingestellt. Nach dieser Lagerung wurde der Feuchtigkeitsgehalt der Proben entsprechend 2.2.1 bestimmt.

2.2.7 Bestimmung des Ölgehaltes

Der Ölgehalt der Samen von Sonnenblume, Mais und Lein wurde von der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim nach dem Verfahren der „Direkt-Extrahierung“ (Anonymus 1998) und der von Raps von der Norddeutschen Pflanzenzucht

(NPZ) mit der „Nah- Infrarot- Spektroskopie“ nach der Methode REINHART (1992) durchgeführt.

Es ist anzumerken, dass bei den drei dikotylen Arten (Sonnenblume, Raps und Lein) das Bestimmungsergebnis unverändert verwendet wurde, da hier der Embryo, der das Öl enthält, den größten Anteil am Gesamtsamen ausmacht. Bei Mais hingegen wurde der Ölgehalt auf den Embryoanteil korrigiert, da sich bei Mais das Öl fast ausschließlich im Embryo befindet (POMERANZ und MACMASTERS 1968). Dies führt z. B. dazu, dass ein Messergebnis von 16,5 % Öl für das Gesamtkorn bei einem Embryoanteil von 29,4 % zu einem berechneten Ölgehalt im Embryo von 56,2 % führt. Für die Bestimmung des Ölgehaltes der Embryonen von Mais wurden in zwei Wiederholungen aus jeweils 120 Mais Samen die Embryonen präpariert und deren Trockenmasseanteil bestimmt. Der für den Gesamtsamen gemessene Ölgehalt wurde dann auf den Embryoanteil umgerechnet.

2.2.8 Bestimmung des Fettsäuremusters

Die Bestimmung des Fettsäuremusters an Raps und Lein wurde dankenswerterweise von der Norddeutschen Pflanzenzucht (NPZ) mit der gaschromatographischen Bestimmungsmethode (THIES 1991) durchgeführt. Die Bestimmungen bei Sonnenblume, Mais und Lein wurden dankenswerterweise von der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim mittels Gaschromatographie nach der Methode von NEUMANN und BASSLER (1997) durchgeführt.

2.2.9 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der Keimfähigkeitsbestimmungen wurden im „Statistical Analysis System“ (SAS) mit der Prozedur „Probit“ in Probit- Einheiten umgerechnet. Mittels derer wurden für die einzelnen Alterungsversuche Probitgeraden berechnet, deren Steigungen wiederum entsprechend dem Modell der Lebensfähigkeitsgleichung die Alterungsgeschwindigkeiten beschreiben (Abb. 2.1).

Um aus der Vielzahl der Lagerungsexperimente und den daraus resultierenden Steigungen der Probitgeraden neue Konstanten für die Lebensfähigkeitsgleichung nach Aufnahme des Ölgehaltes zu berechnen, wurde ein nichtlineares Regressionsmodell erstellt. Hier werden anhand gewichteter kleinster Quadrate in einem iterativen Verfahren die Regressionskoeffizienten (=Konstanten) bestimmt. Hierdurch konnte einerseits die bei der Bestimmung der Konstanten nichtlineare Lebensfähigkeitsgleichung und andererseits die

nicht konstante Varianz der Prozentzahlen und der transformierten Probit- Werte in einem gemischten Modell berücksichtigt werden. Die Modelle wurden mit der Prozedur „NLIN“ in SAS erstellt und berechnet. Die Prozedur benötigt für die Berechnung der Konstanten Startwerte bzw. Intervalle, innerhalb derer in ebenfalls vorzugebenden Schrittweiten optimale Regressionskoeffizienten gesucht werden. Hierdurch ist das Ergebnis der Regression nicht frei von den Vorgaben. Da die iterative Berechnung der Konstanten durch die NLIN-Prozedur mittels Personalcomputer ein sehr zeitaufwendiger Prozess ist, wurden die Iterationen schrittweise durchgeführt und nach einem einheitlichen Schema zunächst mit der Intervalllänge 1 begonnen. Es wurden dann die 2 Intervalle, die offensichtlich die Werte mit den niedrigsten Fehlerquadraten enthalten, im nächsten Schritt mit einer Schrittweite von 0,1 geprüft. So wurde weiter verfahren bis hin zur Schrittweite von 0,001. Die Werte mit der niedrigsten Fehlerquadratsumme wurden dann als Ergebnis der Regressionsanalyse verwendet.

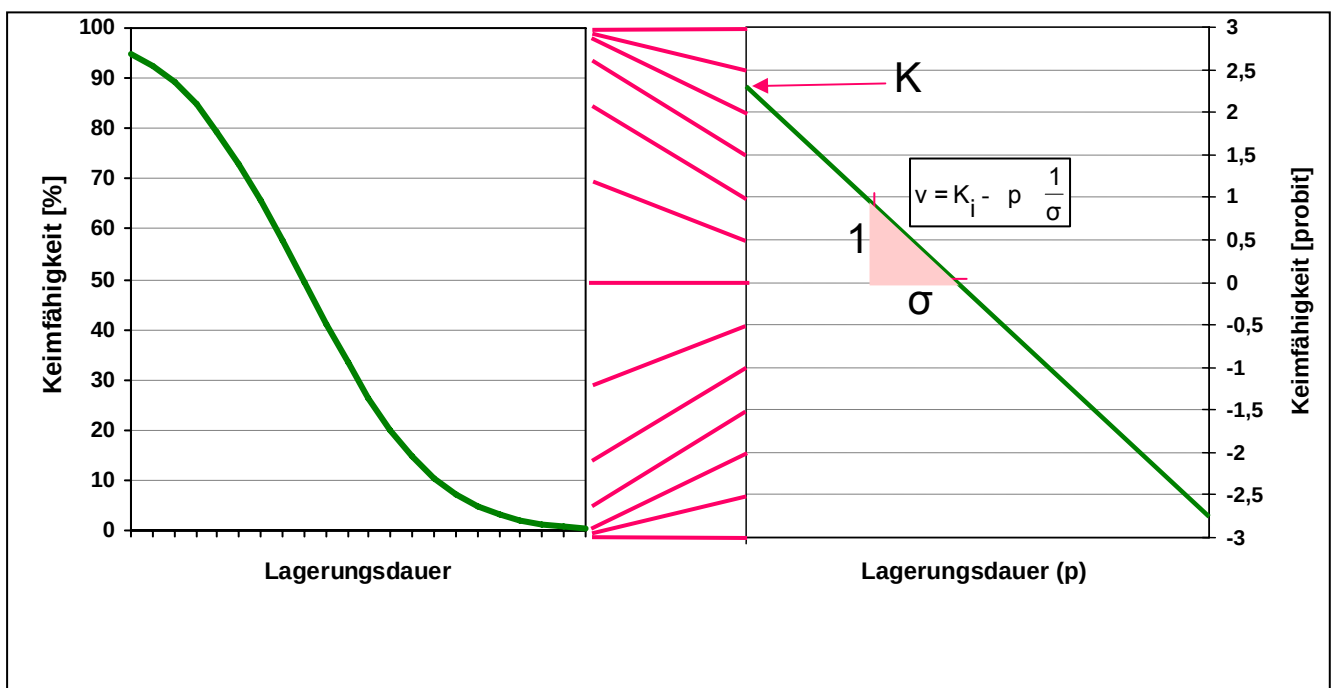


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung einer Transformation der prozentualen Keimfähigkeitswerte in das Probit- Netz.

Für die Untersuchung des Einflusses des Fettsäuremusters auf die Alterung wurden multiple lineare Regressionsanalysen durchgeführt. Hierfür wurde aus dem SAS Programmpaket die Prozedur „REG“ mit der Option „STEPWISE“ verwendet. Es wurden verschiedene abhängige Variablen und unabhängige Variablen in verschiedenen Modellen verwendet.

Die Korrelationsrechnungen wurden mittels der Prozedur „Corr“ aus dem gleichen Programmpaket berechnet. Wenn nicht anders angemerkt wurden alle Signifikanzprüfungen auf dem Signifikanzniveau von $\alpha = 5 \%$ für den Fehler 1. Art durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Feuchtigkeitsgleichgewichtsisotherme für Samen und Embryonen von Sonnenblume

Die Feuchtigkeitsgleichgewichtsisotherme gibt diejenigen Feuchtigkeitsgehalte an, mit denen die Samen sich mit bestimmten rel. Luftfeuchtigkeiten der Umgebungsluft bei einer gegebenen Temperatur im Gleichgewicht befinden. Hier war die Frage zu klären, welchen Einfluss der Ölgehalt auf die Feuchtigkeitsgleichgewichtsisothermen hat und ob für die verschiedenen Bestandteile der Samen unterschiedliche Feuchtigkeitsgleichgewichtsisothermen bestehen.

Zunächst wurden die Feuchtigkeitsgleichgewichtsisothermen für drei Partien Sonnenblumen mit unterschiedlichen Ölgehalten bestimmt. Wie Abbildung 3.1 zeigt, liegen die Feuchtigkeitsgleichgewichtsisothermen mit zunehmendem Ölgehalt niedriger. Die Spannweite im Samenfeuchtigkeitsgehalt ist je Messstelle stets größer als 2 %. Nun wurden zusätzlich die Feuchtigkeitsgehalte des Achsensystems und der Kotyledonen der Embryonen sowie des Pericarps bestimmt und zu dem Samenfeuchtigkeitsgehalt in Beziehung gesetzt (Tab. 3.1).

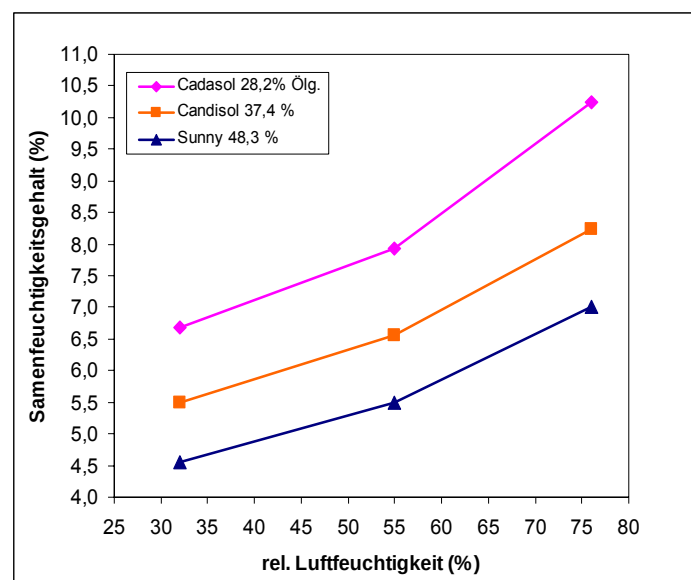


Abbildung 3.1: Feuchtigkeitsgleichgewichtsisotherme für die gesamten Samen dreier Partien Sonnenblume mit unterschiedlichen Ölgehalten (Ölg.).

Tabelle 3.1: a. Die prozentualen Masseanteile der Bestandteile der Samen der 3 Sonnenblumensorten mit verschiedenen Ölgehalten. b. Die berechneten Samenfeuchtigkeitsgehalte der gesamten Samen bei 6 % Feuchtigkeitsgehalt in der Samenschale, den Kotyledonen bzw. dem Achsensystem.

a. Masseanteil der Bestandteile (%)				
Sorte	Ölgehalt (%)	Pericarp	Kotyledonen	Achsensystem
Cadasol	28,2	34,7	60,5	4,8
Candisol	37,4	29,0	66,3	4,7
Sunny	48,3	21,6	72,8	5,5

b. Feuchtigkeitsgehalt der Samen (%)				
Sorte	Ölgehalt (%)	bei Pericarp = 6 %	bei Kotyledonen = 6 %	bei Achsensystem = 6 %
Cadasol	28,2	4,1	8,3	6,4
Candisol	37,4	3,7	7,6	6,6
Sunny	48,3	3,3	7,4	5,6

Abbildung 3.2 zeigt die Relation zwischen einerseits dem Feuchtigkeitsgehalt des Achsensystems, den Kotyledonen bzw. dem Pericarp und andererseits dem Samenfeuchtigkeitsgehalt, wenn sich die Samen mit bestimmten relativen Luftfeuchtigkeiten im Gleichgewicht befinden. Hieraus ergeben sich zwei wichtige Ergebnisse:

1. Die Feuchtigkeitsgehalte des Pericarps stehen im positiven, und die von Kotyledonen und Achsensystem in negativem Zusammenhang mit deren Massenanteilen.
2. Je höher der Ölgehalt der Samen, desto höher ist der Feuchtigkeitsgehalt im Achsensystem bei einheitlichem Samenfeuchtigkeitsgehalt.

In Tab. 3.1 wies die Sorte Sunny mit dem höchsten Ölgehalt im Vergleich zu Cadasol und Candisol einen um etwa 12 % bzw. 5,7 % geringeren Pericarp- Anteil, einen um 12 % bzw. 6,5 % höheren Kotyledonen- Anteil und einen um 0,7 % bzw. 0,8 % höheren Achsensystem- Anteil auf. Somit bestehen auch bezüglich der Zusammensetzung der Samen und so auch bezüglich des Anteils des Achsensystems Unterschiede zwischen den Sorten. Deshalb wurde für die drei Partien nun anhand der Abbildung 3.2a derjenige Samenfeuchtigkeitsgehalt bestimmt, bei welchem die Achsensysteme einheitlich einen Feuchtigkeitsgehalt von 6 % besitzen. Hierfür musste ein Samenfeuchtigkeitsgehalt von 6,4 % für die Sorte Cadasol (Ölgehalt 28,2 %), 6,6 % für die Sorte Candisol (Ölgehalt 37,4 %) und 5,6 % für die Sorte Sunny (Ölgehalt 48,3 %) eingestellt werden. Für die Kotyledonen und das Pericarp sind die entsprechenden Werte in Tabelle 3.1 dargestellt. Hieraus wird deutlich, dass die Samen ölhaltiger Sorten bis zu 1 % weniger Feuchtigkeit enthalten dürfen, um im

Achsensystem den gleichen Feuchtigkeitsgehalt zu haben. Dies zeigt bereits, dass der Ölgehalt in seiner Wirkung auf das Alterungsverhalten nicht vernachlässigbar ist.

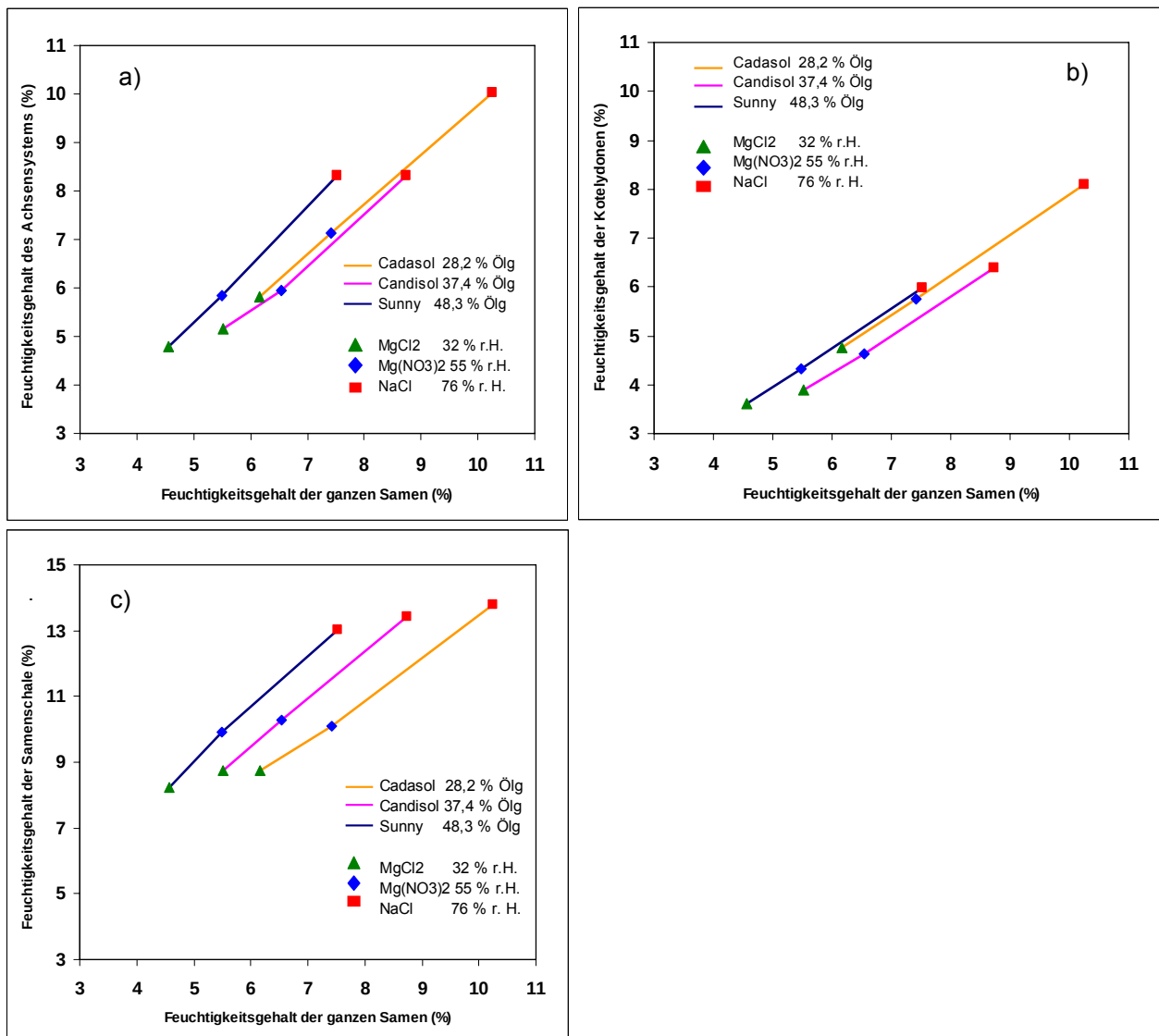


Abbildung 3.2: Beziehung zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt a: des Achsensystems, b: der Kotyledonen, und c: des Pericarps und dem Samenfeuchtigkeitsgehalt der gesamten Samen von drei verschiedenen Partien der Sonnenblume mit unterschiedlichen Ölgehalten (Ölg.). Zusätzlich sind die relativen Luftfeuchtigkeiten angegeben, bei denen die Werte ermittelt wurden.

Es wurden nachfolgend je 20 Proben pro Sorte mit jeweils 200 Samen auf diese Feuchtigkeitsgehalte eingestellt und für die Alterungsversuche in Aluminiumfolie- Tüten luftdicht eingeschweißt.

3.2 Der Ölgehalt des Achsensystems und die Alterung der Samen

Ziel der Untersuchungen mit Sonnenblume in diesem Versuchsteil war, die Zusammenhänge zwischen dem Ölgehalt der Samen, dem Samenfeuchtigkeitsgehalt, dem Feuchtigkeitsgehalt des Achsensystems und dem Alterungsverlauf während der Lagerung zu beschreiben.

Hierfür wurde einerseits Saatgut der drei Sonnenblumenpartien Cadasol, Candisol und Sunny auf einen einheitlichen Samenfeuchtigkeitsgehalt von 6 % - bezogen auf den ganzen Samen - eingestellt und andererseits auf diejenigen Feuchtigkeitsgehalte, bei denen der Feuchtigkeitsgehalt im Achsensystem 6 % beträgt. Die Proben wurden in Aluminiumfolien-Tüten im Wasserbad gealtert und ihre Keimfähigkeitsverluste im Prozent während der Alterung erfasst. Die Keimfähigkeitsergebnisse wurden in das Probit-Netz übertragen und die Steigung der Probitgeraden wurde bestimmt. Zusätzlich wurde die erwartete Steigung nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung mit Konstanten aus der Literatur für die jeweiligen Alterungsbedingungen berechnet. Aus Abbildung 3.3 können die Ergebnisse der Alterungsversuche in Probit- Einheiten entnommen werden.

Die Unterschiede zwischen den Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung und den Versuchsergebnissen sind deutlich zu erkennen. Während der 20tägigen Alterung nahm bei der Sorte Sunny die Keimfähigkeit um 50 % ab, bei der Sorte Cadasol um 20 % und bei der Sorte Candisol um 30 %. Bereits hieran wird deutlich, dass eine einzelne Probitgerade für Sonnenblume bei den großen Unterschieden zwischen den Sorten nicht ausreicht, um das Alterungsverhalten für praktische Anwendungen hinreichend zu beschreiben.

Beim Vergleich der Keimfähigkeitsabnahmen bei Samen mit 6 % Samenfeuchtigkeitsgehalt und solchen mit 6 % Feuchtigkeitsgehalt im Achsensystem wurde kein großer Unterschied hinsichtlich der Mittelwerte beobachtet. Die Steigungen der Probitgeraden sind in Tabelle 3.2 aufgeführt. Zwischen den Sorten hingegen wurden große Unterschiede festgestellt. Die Sorte Sunny zeigte einen drei mal schnelleren Keimfähigkeitsverlust als die Sorte Cadasol. Auffällig ist, dass die Ergebnisse bei 6 % Feuchtigkeitsgehalt im Achsensystem deutlich einheitlicher sind als bei 6 % Samenfeuchtigkeitsgehalt. Während die Spannweite der Steigungen bei Alterung mit einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 6 % noch 0,073 Probit/Tag beträgt, liegt sie bei der Alterung bei 6 % im Achsensystem nur noch bei 0,023 Probit/Tag. Außerdem fällt auf, dass die Vorhersagen der Lebensfähigkeitsgleichung für die Sorte Sunny mit 48,3 % Öl besser passen als für die Sorte Cadasol mit nur 28,2 % Öl.

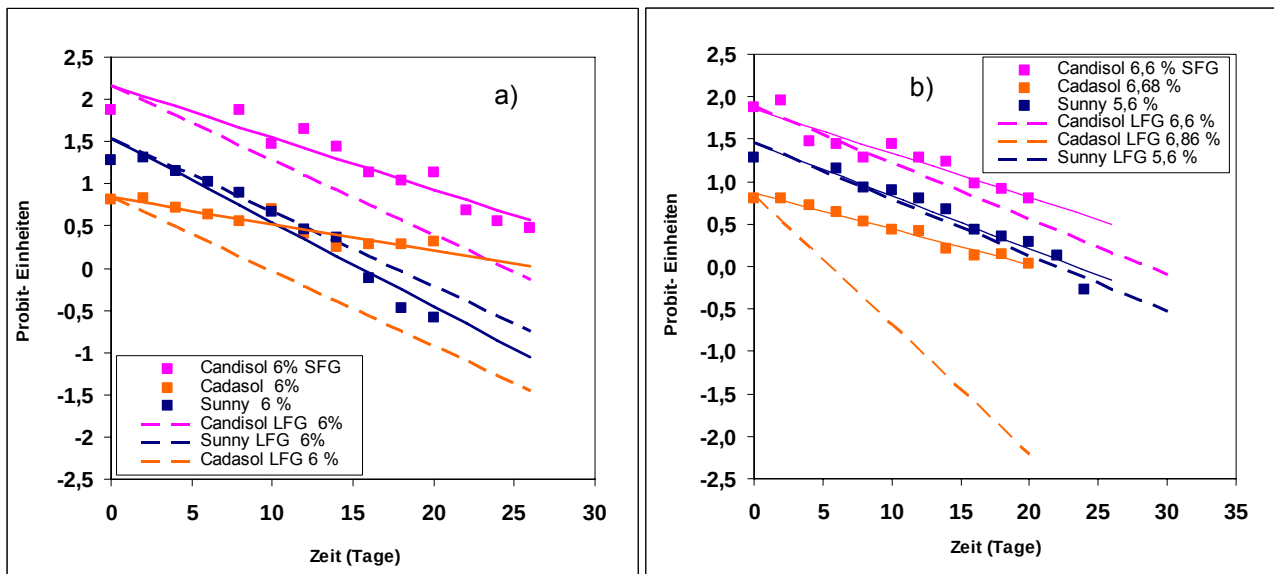


Abbildung 3.3: Keimfähigkeitsverlust von Saatgut von drei Sonnenblumenpartien mit unterschiedlichen Ölgehalten (Ölg.) a: bei 6 % Samenfeuchtigkeitsgehalt und b: bei Samenfeuchtigkeitsgehalten, bei denen der Feuchtigkeitsgehalt im Achsensystem 6 % beträgt. Mit durchgezogenen Linien sind die Probitgeraden, mit gestrichelten Linien die Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (LFG) gekennzeichnet.

Tabelle 3.2: Steigung der Probitgeraden für Saatgut von drei Sorten Sonnenblume bei 6 % Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG) und bei 6 % Feuchtigkeitsgehalt (FG) des Achsensystems sowie die jeweilige Vorhersage nach der Lebensfähigkeitsgleichung (LFG).

Partie	Ausgangs- keimfähigkeit (%)	Ölgehalt (%)	6 % SFG		6 % FG im Achsensystem	
			Steigung (Probit/Tag)	LFG (Probit/Tag)	Steigung (Probit/Tag)	LFG (Probit/Tag)
Cadasol	80	28,2	-0,031	-0,088	-0,042	-0,115
Candisol	97	37,4	-0,068	-0,088	-0,050	-0,131
Sunny	90	48,3	-0,104	-0,088	-0,065	-0,066

Für die beiden anderen Arten Raps und Lein wurden aufgrund der kleinen Samengröße und des damit sehr schwierigen Präparationsverfahrens die Samenbestandteile nicht getrennt, sondern die Feuchtigkeitsgehalte eingestellt, die mit 65,5 % relativer Luftfeuchtigkeit (verwendetes Salz NaNO_3) im Gleichgewicht stehen. Die relative Luftfeuchtigkeit von 65,5 % wurde an Hand der Gleichgewichtsisothermen ausgewählt, da hier die Samen für eine hinreichend schnelle Alterung ausreichende Feuchtigkeit besitzen. In Abbildung 3.4 sind die Ergebnisse dieser Alterungsversuche in Probit- Einheiten dargestellt.

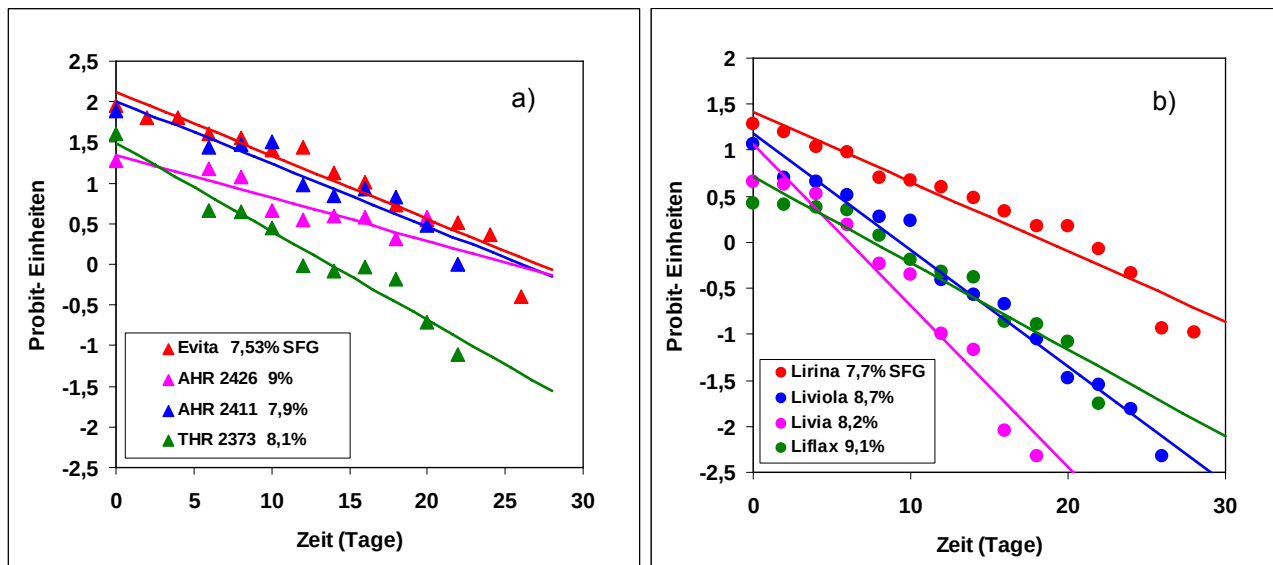


Abbildung 3.4: Keimfähigkeitsverlust in Probit-Einheiten während der Alterung bei Feuchtigkeitsgehalten, die mit einer rel. Luftfeuchtigkeit von 65,5 % im Gleichgewicht stehen. a: Raps, b: Lein.

Die Alterung der ölreichen Samen bei einer einheitlichen relativen Luftfeuchtigkeit hat zur Folge, dass die Samen jeder Partie entsprechend ihres Samenölgehaltes unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte beinhalten. Diese liegen bei Raps zwischen 7,4 und 9,0 % und bei Lein zwischen 7,7 und 9,0 %. Dies erfordert für die Beurteilung der jeweiligen Alterungsgeschwindigkeit, dass neben dem Ölgehalt auch die Feuchtigkeitsgehalte berücksichtigt werden. Für einen besseren Überblick sorgen die Steigungen der Probitgeraden in Tabelle 3.3.

Es konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Ölgehalt und der Steigung der Probitgeraden in Abbildung 3.4 gefunden werden. Dies bedeutet, dass trotz der fallweise großen Unterschiede im Samenfeuchtigkeitsgehalt, die umgekehrt proportional zum Ölgehalt liegen, die Alterung der Samen doch noch ähnlich schnell verlief. Da nach der Lebensfähigkeitsgleichung der Ölgehalt und die sich daraus ergebenden Sorptionseigenschaften der Samen nicht berücksichtigt werden, zeigt die Güte der Vorhersage der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung eine deutliche Abhängigkeit vom Ölgehalt. Im Bereich mittlerer Ölgehalte stimmen die Vorhersagen noch am besten mit den experimentellen Ergebnissen überein.

Aus diesen Ergebnissen ergibt sich, dass ein fester Samenfeuchtigkeitsgehalt von beispielsweise 8 % bei ölarmen Sorten gute Lagerfähigkeit bedeutet, bei ölreichen Sorten hingegen für eine gute Lagerfähigkeit bereits zu hoch sein kann. Dies wird in der bisherigen

Lebensfähigkeitsgleichung nicht berücksichtigt, so dass deren Vorhersagen systematische Fehler beinhalten.

Tabelle 3.3: Steigung der Probitgeraden für Saatgut von Raps und Lein, welches mit 65,5 % relativer Luftfeuchtigkeit im Gleichgewicht steht. Zusätzlich ist der Gleichgewichts-Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG), die Ausgangskeimfähigkeit, die Keimfähigkeit nach 20 Tagen sowie die Vorhersage nach der Lebensfähigkeitsgleichung (LFG) angegeben (Alterungstemperatur 45 °C).

Art / Partie	Ölgehalt (%)	SFG (%)	Ausgangs-keimfähigkeit (%)	Keimfähigkeit nach 20 Tagen (%)	Steigung (Probit/Tag)	LFG (Probit/Tag)
Raps						
AHR2426	38,9	9,0	96	72,0	-0,044	-0,116
Pronto	39,9	8,3	97	11,0	-0,151	-0,078
THR2470	43,2	8,3	86	33,0	-0,074	-0,078
Wotan	43,9	8,0	94	18,5	-0,060	-0,068
AHR2422A	44,0	7,9	93	59,5	-0,070	-0,064
AHR2411	45,1	7,9	97	68,5	-0,093	-0,064
Licolly	45,2	7,4	89	38,5	-0,090	-0,048
THR2373	46,7	8,1	95	24,0	-0,127	-0,072
THR2417	47,3	7,5	80	13,0	-0,083	-0,050
Licosmos	48,1	7,5	97	53,5	-0,104	-0,050
Evita	49,5	7,5	98	71,0	-0,086	-0,050
Lein						
Liflax	35,5	9,0	67	14,0	-0,089	-0,212
Liviola	35,9	8,7	86	7,0	-0,123	-0,180
Livia	41,7	8,2	75	0,0	-0,159	-0,135
Lirina	43,3	7,7	90	57,0	-0,076	-0,099

3.3 Der Ölgehalt und das Alterungsverhalten der Samen

Die Ergebnisse von Kapitel 3.2 haben unter anderem gezeigt, dass die Berücksichtigung des Ölgehaltes des Embryos im Alterungsprozess keine deutlichen Präzisierungen zu den Untersuchungen zeigt, in denen man den Ölgehalt im ganzen Samen betrachtet. In diesem Kapitel nun wird der Einfluss des Ölgehaltes der ganzen Samen auf die Alterung bei einer konstanten Alterungstemperatur von 45 °C und den Samenfeuchtigkeitsgehalten von 6, 8 und 10 % untersucht. Es ist zu erwähnen, dass bei Mais, der als Same einer monokotylen Grasart Öl ausschließlich im Embryo und nicht im Endosperm enthält, der für den gesamten Samen ermittelte Ölgehalt über das Gewichtsverhältnis des Embryos zum ganzen Samen korrigiert wurde.

Die gewonnenen Daten sollten zwei Zwecken dienen:

1. Der Überprüfung der Vorhersagegenauigkeit der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung
2. Der Aufnahme des Ölgehaltes in die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung und der hierfür erforderlichen Berechnung der notwendigen Konstanten.

Proben der zur Verfügung stehenden Sorten wurden wie in Tabelle 2.1 angegeben auf drei Samenfeuchtigkeitsgehalte eingestellt, in Aluminiumfolie-Tüten eingeschweißt und im Wasserbad bei 45 °C gealtert. Während der Alterung wurden Proben entnommen und deren Keimfähigkeit bestimmt. In den Abbildungen A1-9 im Anhang sind die Keimfähigkeitsverluste der Samen der verschiedenen Partien in Prozent dargestellt. In den Abbildungen 3.5 bis 3.8 sind einige Auszüge aus den Ergebnissen in Probit- Einheiten dargestellt.

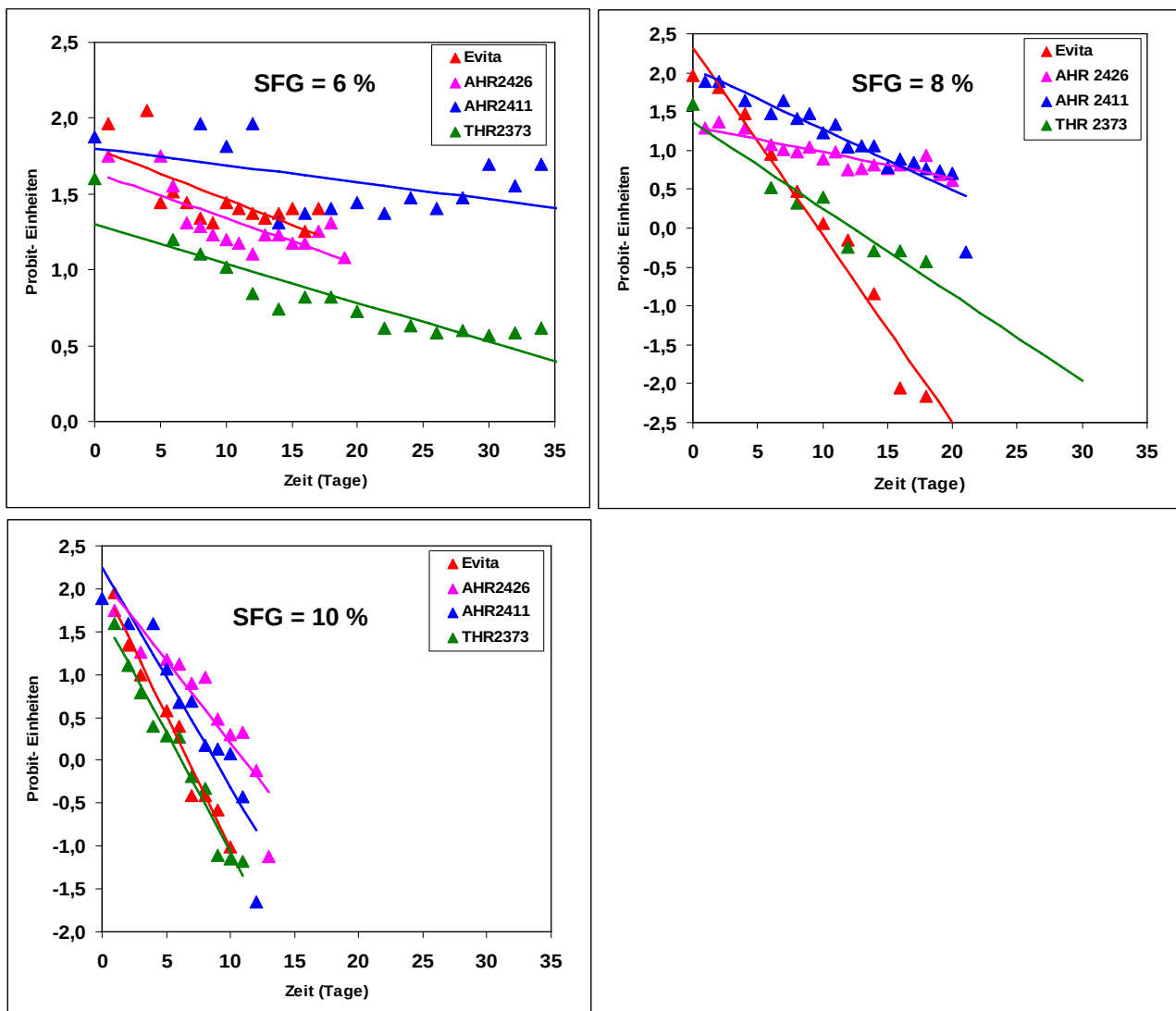


Abbildung 3.5: Keimfähigkeitsverlust von Saatgutproben von Raps bei unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten in Probit- Einheiten (ein Auszug aus den Versuchsergebnissen).

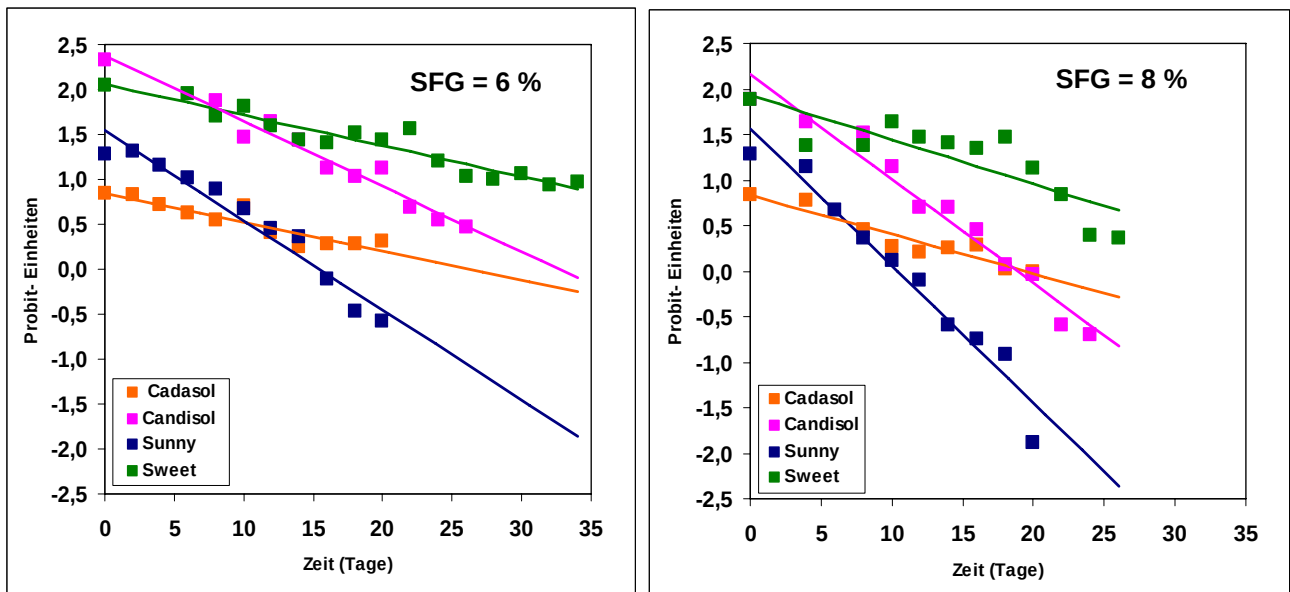


Abbildung 3.6: Keimfähigkeitsverlust von Saatgutproben von Sonnenblume bei unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten in Probit-Einheiten (ein Auszug aus den Versuchsergebnissen).

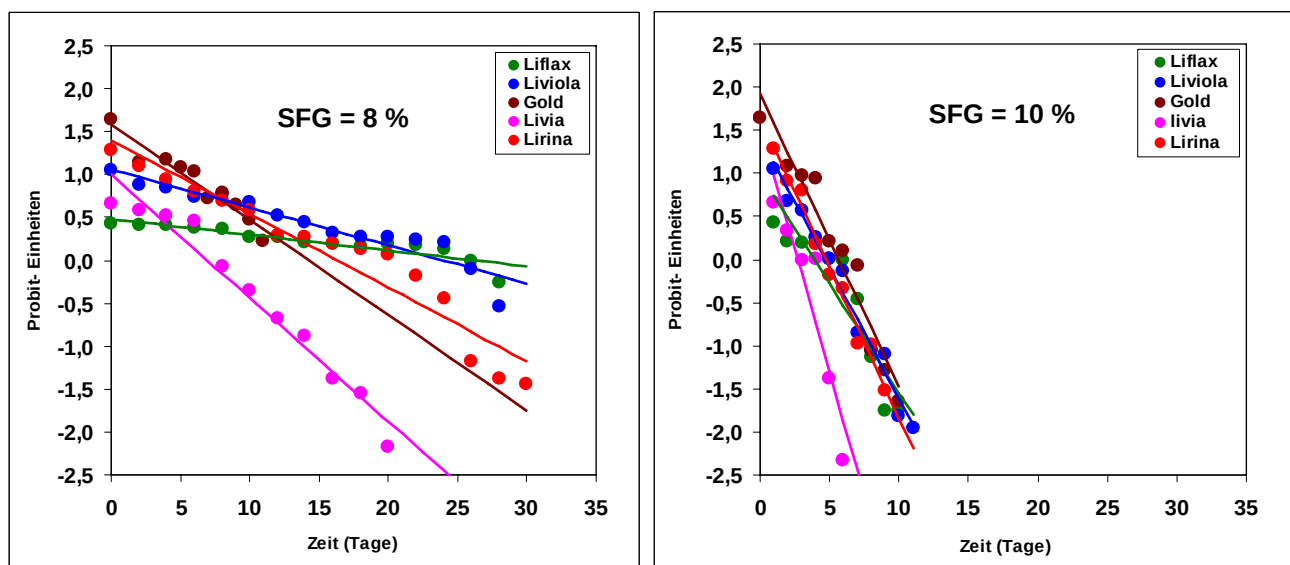


Abbildung 3.7: Keimfähigkeitsverlust von Saatgutproben von Lein bei unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten in Probit-Einheiten (ein Auszug aus den Versuchsergebnissen).

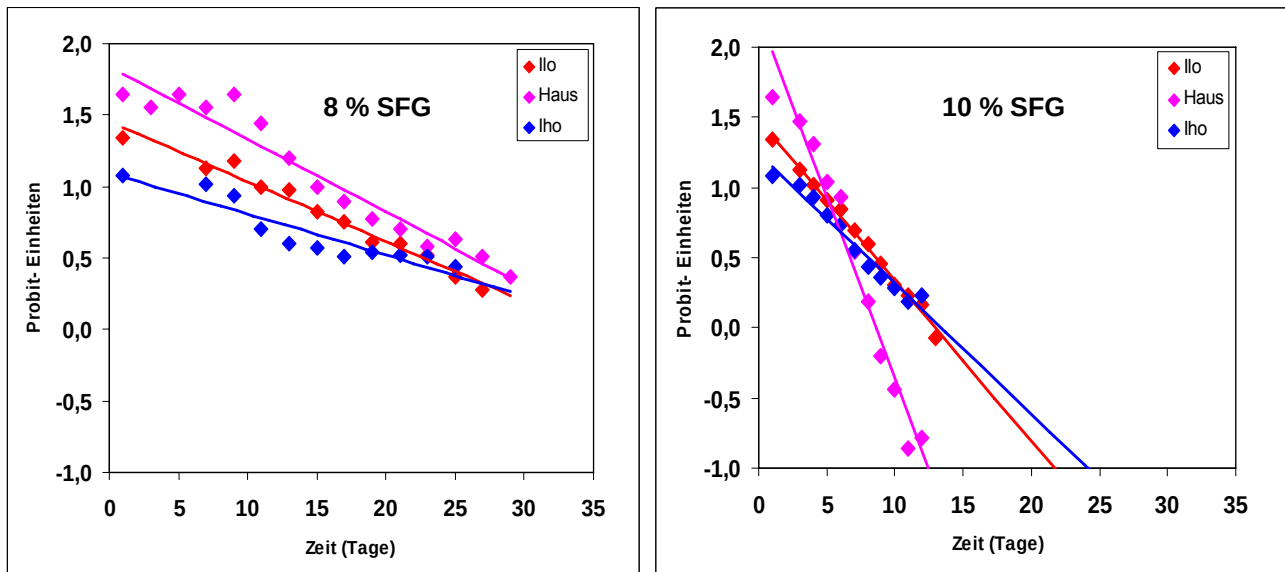


Abbildung 3.8: Keimfähigkeitsverlust von Saatgutproben von Mais bei unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten in Probit- Einheiten (ein Auszug aus den Versuchsergebnissen).

In den Tabellen 3.4 und 3.5 sind die Werte für die Steigung der Probitgeraden der jeweiligen Partien bei verschiedenen Samenfeuchtigkeitsgehalten neben den Vorhersagen nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung aufgeführt. Die Tabellen 3.4 und 3.5 zeigen, dass innerhalb einer Art die Partien mit niedrigeren Ölgehalten einen geringeren Keimfähigkeitsverlust aufweisen, als die Partien mit den höheren Ölgehalten.

Tabelle 3.4: Steigung der Probitgeraden (Steig.) für Saatgut der vier Arten bei der Alterung mit 6 und 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG). Zusätzlich ist der 95 % Vertrauensbereich für die Steigungen sowie die Vorhersage nach der Lebensfähigkeitsgleichung (LFG) angegeben. (Angabe der Steigungen in Probit/Tag als: berechnete Steigung * -100). (* = gemessener Ölgehalt der gesamten Samen auf den Embryoanteil bezogen).

Art / Partie	Ausg. keimf. (%)	Ölg. (%)	LFG	6 % SFG			8 % SFG			
				Steig.	Vertrauensbereich von	bis	LFG	Steig.	Vertrauensbereich. von	bis
Raps										
AHR2426	90	38,9	1,83	1,31	2,62	0,00	6,77	3,62	5,75	1,49
Pronto	94	39,9	1,83	5,26	7,00	3,50	-	-	-	-
THR2470	86	43,2	1,83	2,31	3,53	1,08	6,77	7,32	9,38	5,26
Wotan	94	43,9	1,83	1,89	2,39	1,38	6,77	13,02	13,95	12,09
AHR2422A	97	44,0	1,83	1,59	2,89	0,27	6,77	6,46	8,64	4,28
AHR2411	97	45,1	1,83	0,91	2,29	-0,48	6,77	7,20	9,41	4,98
Licolly	89	45,2	1,83	2,35	3,55	1,13	6,77	24,38	27,49	21,26
THR2373	95	46,7	1,83	2,35	3,58	1,10	6,77	9,74	11,82	7,66
THR2417	80	47,3	1,83	2,83	4,02	1,62	6,77	9,97	12,05	7,88
Licosmos	97	48,1	1,83	2,99	4,27	1,71	6,77	15,26	17,59	12,94
Evita	98	49,5	1,83	1,34	2,75	-0,08	6,77	23,89	26,75	21,02
Sonnenblume										
Cadasol	80	28,2	8,82	3,2	5,05	1,37	29,19	8,49	13,16	3,82
Candisol	97	37,4	8,82	7,49	9,59	5,4	29,19	24,51	29,31	19,72
Barolo	97	39,0	8,82	16,63	18,66	14,62	29,19	48,52	55,01	42,03
Sweet	97	39,5	8,82	3,38	4,09	2,68	29,19	11,3	13,21	9,39
Heliabel	95	40,5	8,82	12,42	14,14	10,70	29,19	33,21	38,33	28,10
Heliasun	97	41,0	8,82	6,72	8,43	5,01	29,19	23,14	27,81	18,47
KW3306	98	42,5	8,82	6,12	7,89	4,35	29,19	52,82	30,61	21,13
Salut	74	42,5	8,82	14,12	16,79	11,45	-	-	-	-
Sunny	90	48,3	8,82	10,39	12,33	8,46	29,19	29,3	34,25	24,34
Lein										
Liflax	67	35,5	-	-	-	-	11,95	1,85	4,16	-0,48
Liviola	86	35,9	-	-	-	-	11,95	4,45	6,79	2,11
Gold	95	41,5	-	-	-	-	11,95	9,91	13,13	6,69
Livia	75	41,7	-	-	-	-	11,95	13,63	14,71	12,54
Lirina	90	43,3	-	-	-	-	11,95	8,09	10,42	5,75
Mais										
Iho	86	25,5*	-	-	-	-	1,59	2,79	4,76	0,83
Haus	95	36,0*	-	-	-	-	1,59	5,12	6,98	3,26
Ilo	91	56,0*	-	-	-	-	1,59	4,27	5,07	3,47

Tabelle 3.5: Steigung der Probitgeraden (Steig.) für Saatgut der vier Arten bei der Alterung mit 10 % Samenfeuchtigkeitsgehalt (SFG). Zusätzlich ist der 95 % Vertrauensbereich für die Steigungen sowie die Vorhersage nach der Lebensfähigkeitsgleichung (LFG) angegeben. (Angabe der Steigungen in Probit/Tag als: berechnete Steigung * -100). (* = gemessener Ölgehalt der gesamten Samen auf den Embryoanteil bezogen).

Art / Partie	Ausgangs. keimf. (%)	Ölg. (%)	LFG	10 % SFG		
				Steig.	Vertrauensbereich von	bis
Raps						
AHR2426	90	38,9	18,64	20,29	27,54	13,06
Pronto	94	39,9	-	-	-	-
THR2470	86	43,2	18,64	18,02	25,32	10,72
Wotan	94	43,9	18,64	35,21	38,56	31,87
AHR2422A	97	44,0	18,64	19,75	27,02	12,49
AHR2411	97	45,1	18,64	26,21	33,57	18,86
Licolly	89	45,2	18,64	44,17	53,68	34,68
THR2373	95	46,7	18,64	27,16	34,46	19,87
THR2417	80	47,3	18,64	16,31	23,46	9,17
Licosmos	97	48,1	18,64	55,27	65,12	45,44
Evita	98	49,5	18,64	30,33	37,91	22,75
Sonnenblume						
Cadasol	80	28,2	-	-	-	-
Candisol	97	37,4	-	-	-	-
Barolo	97	39,0	-	-	-	-
Sweet	97	39,5	-	-	-	-
Heliabel	95	40,5	-	-	-	-
Heliasun	97	41,0	-	-	-	-
KW3306	98	42,5	-	-	-	-
Salut	74	42,5	-	-	-	-
Sunny	90	48,3	-	-	-	-
Lein						
Liflax	67	35,5	35,35	22,45	33,51	11,39
Liviola	86	35,9	35,35	29,75	40,81	18,70
Gold	95	41,5	35,35	34,37	45,58	23,16
Livia	75	41,7	35,35	47,05	52,35	41,75
Lirina	90	43,3	35,35	35,00	46,34	23,65
Mais						
Iho	86	25,5*	4,767	9,27	13,29	5,26
Haus	95	36,0*	4,767	27,23	31,56	22,90
Ilo	91	56,0*	4,767	11,54	13,16	9,92

In den Tabellen 3.4 und 3.5 ist zunächst zu erkennen, dass die Vorhersagen nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung nur für wenige der untersuchten Proben zutreffen, für die meisten Proben jedoch stark von den Versuchsergebnissen abweichen. Innerhalb einer Art und innerhalb eines Samenfeuchtigkeitsgehaltes können außer bei Sonnenblume 6 % und Mais 8 % und 10 % im Betrag zunehmende Steigungen bei Zunahme des Ölgehaltes festgestellt werden. Dieser Trend ist umso größer, je höher der Feuchtigkeitsgehalt der Samen ist. Die Beziehung zwischen der Steigung der Probitgeraden und dem Ölgehalt der Samen ist für die drei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalte in der Abbildung 3.9 dargestellt.

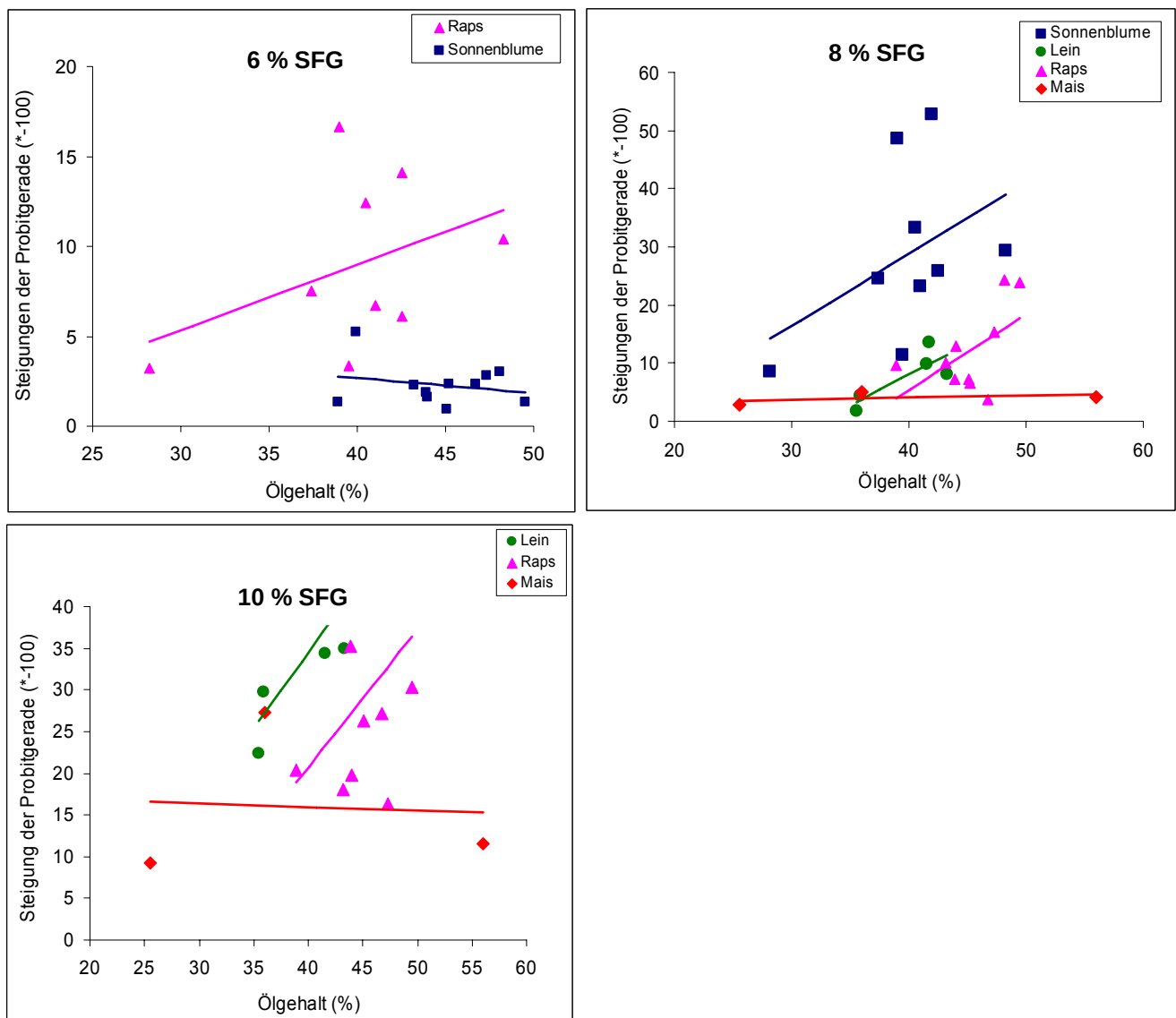


Abbildung 3.9: Die Steigung der Probitgeraden für verschiedene Partien bei verschiedenen Samenfeuchtigkeitsgehalten.

In diesen Abbildungen ist überwiegend eine Zunahme des Betrages der Steigungen mit der Zunahme des Ölgehaltes der Arten zu erkennen. In Abbildung 3.10 ist die Differenz zwischen der beobachteten Steigung und der nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung berechneten Steigung über dem Ölgehalt aufgetragen (Samenfeuchtigkeitsgehalt 8 %). Auch in dieser Darstellung wird der nicht vernachlässigbare Effekt des Ölgehaltes deutlich. Nach Rücktransformation auf die ursprüngliche Prozent-Skala bedeutet dies, dass mit zunehmendem Ölgehalt der Keimfähigkeitsverlust schneller abläuft.

Fazit:

Der Vergleich der Steigungen der Probitgeraden hat die positive Beziehung zwischen dem Ölgehalt des Saatgutes und dessen Alterungsgeschwindigkeit bestätigt. Die Vorhersagewerte nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung weichen stark von den beobachteten Keimfähigkeitsabnahmen ab. Um eine genauere Vorhersage der Keimfähigkeitsverluste während der Lagerung von ölreichem Saatgut zu erzielen, sollen nun der Ölgehalt der Samen in die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung aufgenommen und die dafür erforderlichen neuen artabhängigen Konstanten berechnet werden.

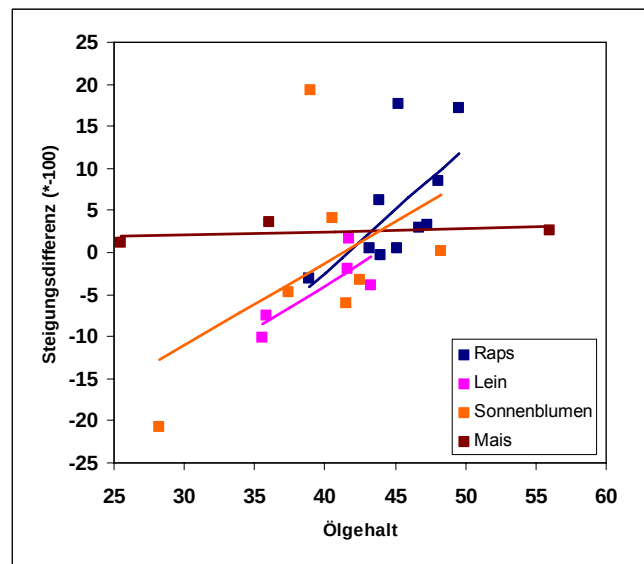


Abbildung 3.10: Die Differenz zwischen der beobachteten Steigung der Probitgeraden und der nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung berechneten Steigung in Abhängigkeit vom Ölgehalt. Dargestellt sind die Ergebnisse für die Alterungen bei 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt.

3.3.1 Aufnahme des Ölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung

Für die Aufnahme des Ölgehaltes in die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung gibt es viele mathematische Möglichkeiten. Hieraus wurden 8 Möglichkeiten ausgewählt und als Vorschläge auf ihre Vorteilhaftigkeit geprüft. Die Vorschläge sind in Abb. 3.11 aufgeführt.

Im Vorschlag 1 wird der Ölgehalt der Samen (Öl) additiv und mit den zwei Konstanten linear und exponentiell gewichtet in die Gleichung aufgenommen. Die Vorschläge 2 und 3 stellen mit $C_{G2} = 1$ bzw. $C_{G2} = 0,5$ Sonderfälle des Vorschlags 1 dar. Diese Vorschläge folgen somit dem Prinzip der Lebensfähigkeitsgleichung, die Einflussfaktoren als Summanden im Exponent zu berücksichtigen. Im Vorschlag 4 wird der Ölgehalt der Samen ohne weitere Konstante in den Feuchtigkeitsterm eingebunden. Dadurch wird die in den Samen befindliche Feuchtigkeit nicht mehr auf die gesamte Frischmasse bezogen sondern nur noch auf die fettfreie Frischmasse. Im Vorschlag 5 wird der Ölgehalt der Samen wie im Vorschlag 4 in den Feuchtigkeitsterm eingebunden, allerdings zusätzlich noch mit einer Konstante gewichtet. Im Vorschlag 6 wurde der Ölgehalt der Samen als Faktor in den Feuchtigkeitsterm aufgenommen und mit einer Konstanten gewichtet. Vorschlag 7 ist eine Kombination aus den Vorschlägen 4 und 2, während der Vorschlag 8 eine Kombination aus den Vorschlägen 4 und 1 darstellt.

Für jeden der acht Vorschläge wurden nun drei verschiedene Regressionsmodelle erstellt. Diese Modelle unterscheiden sich in den folgenden Regressionsbeschränkungen:

1. „Artspezifisches Modell“: Hier werden dem Konzept der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung folgend alle Konstanten artspezifisch ermittelt.
2. „Öl-artunspezifisches Modell“: Hier werden nur die Konstanten K_E und C_W artspezifisch angepasst, die Konstanten für den Ölgehalt hingegen werden als für alle Arten einheitlich (artunspezifisch) angenommen.
3. „Artunspezifisches Modell“: Hier werden alle Konstanten artunspezifisch ermittelt, es gibt somit nur einen Wert je Konstante.

Diese Modelle wurden für jeden der acht Vorschläge programmiert und auf die Daten aller Alterungsversuche angewendet. Regressionskoeffizienten der Modelle sind die Konstanten K_E und C_W und je nach Gleichung die „Öl“- Konstanten C_G oder C_{G1} und C_{G2} . Da die Alterungstemperatur in allen Versuchen konstant 45 °C betrug, wurde in den Modellen für die Arten Sonnenblumen, Raps und Lein für den Temperatur-Term ($C_H T + C_Q T^2$)

vereinfachend der Wert 2,44845 und für Mais der Wert 2,6667 eingesetzt. Für deren Berechnung wurden die Temperaturkonstanten für Sonnenblume und Lein von ELLIS et al. (1988), für Raps von ELLIS et al. (1989) und für Mais von HONG et al. (1996) verwendet.

Für die einzelnen Modelle wurden die Regressionsanalysen mittels der Prozedur NLIN in SAS realisiert. Hierfür wurden die in das Probit-Netz transformierten Werte der Keimfähigkeit während der Alterung der Partien verwendet.

Als Ergebnis der Regression werden die Schätzwerte für die Regressionskoeffizienten K_E , C_W und C_G bzw. C_{G1} und C_{G2} (die Konstanten) ausgegeben sowie die Fehlerquadratsummen der jeweiligen Regressionsmodelle. Diese Ergebnisse ermöglichen die Überprüfung der Signifikanz der einzelnen Modelle gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung sowie auch Vergleiche von Modellen untereinander, sofern sie durch Wahl geeigneter Konstanten ineinander überführbar sind.

Vorschlag 1:

Additiver Öl-Effekt mit 2 Konstanten (C_{G1} linear, C_{G2} als Exponent)

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log(SFG) - C_H T - C_Q T^2 - C_{G1} \cdot Oel^{C_{G2}}}}$$

Vorschlag 2:

Additiver Öl-Effekt mit 1 linearen Konstante (C_G), Exponent = 1

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log(SFG) - C_H T - C_Q T^2 - C_G \cdot Oel}}$$

Vorschlag 3:

Öl-Effekt mit 1 linearen Konstante (C_G), Exponent = 0,5

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log(SFG) - C_H T - C_Q T^2 - C_G \cdot \sqrt{Oel}}}$$

Vorschlag 4:

Einbindung in den Feuchtigkeitsterm ohne Konstante

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log\left(\frac{100 \cdot SFG}{(100 - Oel)}\right) - C_H T - C_Q T^2}}$$

Vorschlag 5:

Einbindung in den Feuchtigkeitsterm mit einer Konstante (C_G)

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log\left(\frac{100 \cdot SFG}{(100 - Oel) \cdot C_G}\right) - C_H T - C_Q T^2}}$$

Vorschlag 6:

Einbindung in den Feuchtigkeitsterm mit einer Konstante (C_G)

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log(SFG \cdot C_G \cdot Oel) - C_H T - C_Q T^2}}$$

Vorschlag 7:

Einbindung in den Feuchtigkeitsterm und additiver Effekt mit einer Konstante (C_G)

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log\left(\frac{100 \cdot SFG}{(100 - Oel)}\right) - C_H T - C_Q T^2 - C_G \cdot Oel}}$$

Vorschlag 8:

Einbindung in den Feuchtigkeitsterm und additiver Effekt mit zwei Konstanten (C_{G1} , C_{G2})

$$\nu = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log\left(\frac{100 \cdot SFG}{(100 - Oel)}\right) - C_H T - C_Q T^2 - C_{G1} \cdot Oel^{C_{G2}}}}$$

Abbildung 3.11: Vorschläge für die Aufnahme des Ölgehaltes in die Lebensfähigkeitsgleichung

3.3.2 Überprüfung der neuen Vorschläge und Modelle

Die acht Vorschläge und die sich daraus ergebenden Modelle wurden auf ihre Signifikanz gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung und untereinander geprüft.

Eine Signifikanzprüfung nicht linearer Regressionsmodelle dieser Art ist mittels Fischer-Test (F-Test) nur dann möglich, wenn folgende drei Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Die Anzahl der Beobachtungen muss in allen Versuchen gleich sein.
2. Die Anzahl der Parameter (in diesen Fall die Anzahl der zu bestimmenden Konstanten) muss in den zu vergleichenden Modellen unterschiedlich sein (Freiheitsgrad ≥ 1).
3. Die Gleichungen müssen ineinander überführbar sein.

Bei Berücksichtigung der oben genannten Bedingungen kann man nur die Modelle 1, 2 und 3 mit dem additiven Ölterm gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung auf Signifikanz prüfen.

Eine Signifikanzprüfung der Unterschiede zwischen den Modellen ist nur für die Modelle 4, 7 und 8 möglich. In allen anderen Fällen ist allein ein Vergleich der Fehlerquadratsummen ohne Signifikanzprüfung möglich.

3.3.2.1 „Artspezifische Modelle“

Die artspezifische Betrachtung des Ölgehaltes in der Lebensfähigkeitsgleichung basiert auf der Annahme von Unterschieden zwischen Arten bezüglich des Alterungsprozesses. Diese Ansicht teilten bereits ELLIS und ROBERTS (1980a,b) bei der Aufstellung der verbesserten Lebensfähigkeitsgleichung.

Bei diesen Verfahren erhält man somit für jede Art einen Satz spezifischer Konstanten, die in Tabelle 3.6 aufgeführt sind. Zum Vergleich sind in Tabelle 3.7 die Konstanten für die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung aufgeführt, die den dort eingetragenen Quellen entnommen sind.

Tabelle 3.6: Konstanten für die „artspezifischen“ Modelle der Vorschläge 1 bis 8.

Vorschlag	K_E	C_W	C_{G1}	C_{G2}
1.				
Sonnenblume	8,41677	3,88400	0,50214	0,35296
Raps	10,06000	4,60000	0,26600	0,58000
Lein	12,51895	7,04800	0,46003	0,46499
Mais	9,77500	5,84000	0,38500	0,05000
2.				
Sonnenblume	7,21097	3,88200	0,01600	-
Raps	8,95497	4,56701	0,02990	-
Lein	11,27926	7,12484	0,03100	-
Mais	8,99145	5,50063	0,00020	-
3.				
Sonnenblume	7,90009	3,89199	0,20900	-
Raps	10,42370	4,60006	0,41501	-
Lein	12,34310	7,05097	0,37600	-
Mais	9,30709	5,82102	0,00200	-
4.				
Sonnenblume	7,10004	3,55196	-	-
Raps	8,79800	4,56400	-	-
Lein	10,91200	6,50800	-	-
Mais	4,99199	0,94501	-	-
5.				
Sonnenblume	5,47789	3,51304	2,81701	-
Raps	6,42099	4,56502	3,31901	-
Lein	7,78799	6,51103	3,02251	-
Mais	4,97199	0,94701	1,05600	-
6.				
Sonnenblume	13,46100	3,18900	5,39700	-
Raps	18,42000	4,48000	5,97000	-
Lein	21,07587	5,47104	4,97700	-
Mais	5,89101	0,66200	3,16700	-
7.				
Sonnenblume	7,34186	3,77041	0,00010	-
Raps	8,89031	4,60999	0,00079	-
Lein	10,12003	5,83643	0,00010	-
Mais	9,13032	4,13443	0,00010	-
8.				
Sonnenblume	8,02861	3,51500	0,86938	0,02899
Raps	8,59409	3,51600	0,79091	0,06951
Lein	10,00396	5,71101	0,03105	0,02800
Mais	5,06738	0,97903	0,03062	0,02800

Tabelle 3.7: Die artspezifischen Konstanten für die vier untersuchten Arten für die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung aus der Literatur.

	K_E	C_W	C_H	C_Q	Quelle
Sonnenblume	6,740	4,16	0,0329	0,000478	ELLIS <i>et al.</i> 1988; Hong <i>et al.</i> 1996
Raps	7,718	4,54	0,0329	0,000478	ELLIS <i>et al.</i> 1989
Lein	7,760	4,86	0,0329	0,000478	ELLIS <i>et al.</i> 1988; Hong <i>et al.</i> 1996
Mais	8,579	4,91	0,0329	0,000428	HONG <i>et al.</i> 1996

K_E hat sowohl bei der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung als auch bei allen Vorschlägen den höchsten Wert. Bei der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung besitzt die Feuchtigkeitskonstante C_W nach K_E den zweitgrößten Wert, bei den neun Vorschlägen nicht immer.

In Tabelle 3.8 sind die mit den Modellen verbundenen Fehlerquadratsummen aufgelistet. Außerdem sind die Fehlerquadratsummen bei Anwendung der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung und, wo dieses möglich, die Ergebnisse des Fishers-Tests (F-Test) aufgeführt.

Tabelle 3.8: Fehlerquadratsumme der artspezifischen Modelle für die Vorschläge 1 bis 8 (FQSn) und die Fehlerquadratsumme bei Anwendung der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (FQSB) für die vier Arten sowie die Ergebnisse der Signifikanzprüfung (F-Wert und dessen Signifikanz) für „Vorschlag gegen bisherige Lebensfähigkeitsgleichung“ sofern diese ermittelt werden können.

Vorschlag Art	FQSB	FQSn	F-Wert	Sig.		FQSB	FQSn	F-Wert	Sig.
1					5				
Sonnenblume	313,5	262,8	38,8	***		313,5	276,2	-	-
Raps	349,7	244,4	186,9	***		349,7	243,2	-	-
Lein	176,3	60,4	211,1	***		176,3	67,8	-	-
Mais	91,8	24,8	189,5	***		91,8	56,7	-	-
2					6				
Sonnenblume	313,5	264,2	75,3	***		313,5	292,1	-	-
Raps	349,7	243,9	377,0	***		349,7	250,9	-	-
Lein	176,3	60,7	421,4	***		176,3	86,2	-	-
Mais	91,8	25,0	377,4	***		91,8	57,4	-	-
3					7				
Sonnenblume	313,5	263,1	77,2	***		313,5	278,1	-	-
Raps	349,7	244,6	373,6	***		349,7	243,6	-	-
Lein	176,3	60,4	424,0	***		176,3	70,7	-	-
Mais	91,80	24,8	380,7	***		91,8	85,6	-	-
4					8				
Sonnenblume	313,5	276,2	-	-		313,5	277,2	-	-
Raps	349,7	243,2	-	-		349,7	279,4	-	-
Lein	176,3	67,8	-	-		176,3	71,8	-	-
Mais	91,8	56,7	-	-		91,8	56,7	-	-

Wie aus Tabelle 3.8 ersichtlich ist, erreichen alle 8 Vorschläge bei der artspezifischen Aufnahme des Samenölgehaltes in die Lebensfähigkeitsgleichung gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung niedrigere Fehlerquadratsummen. Die Vorschläge 1, 2 und 3 erreichen im Vergleich zur bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung eine mit dem F-Test bestätigte signifikante Verbesserung der Anpassung des Modells an die Daten. Die Prüfung der Vorschläge 4 bis 8 war mit dem F-Test nicht möglich (Siehe 3.3.2).

3.3.2.2 „Öl-artunspezifische“ Modelle

Mit diesen Modellen sollte geprüft werden, ob die artunabhängige Berücksichtigung des Ölgehaltes der Samen und eine artspezifische Berücksichtigung des Samenfeuchtigkeitsgehaltes noch eine hinreichende Anpassung des Modells erlaubt. Nur die Konstanten K_E und C_W sind somit artspezifisch in dem Regressionsmodell zu berücksichtigen, die Konstanten C_G bzw. C_{G1} und C_{G2} hingegen artunspezifisch. Die Signifikanzprüfung erfolgte wie bei den artspezifischen Modellen. Hier zeigte sich, dass in einigen Fällen der iterative Vorgang der nichtlinearen Regressionsanalyse nicht konvergierte und somit kein Ergebnis erzielt werden konnte. In Tabelle 3.9 sind die Konstanten für die Modelle, die konvergierten, aufgelistet. Die Fehlerquadratsummen und die Ergebnisse des F-Tests sind in Tabelle 3.10 zu sehen.

Tabelle 3.9: Konstanten für die „Öl- artunspezifischen“ Modelle, die konvergierten.

Vorschlag Art				
1	K_E	C_W	C_{G1}	C_{G2}
Sonnenblume	11,01486	4,21350	2,08047	0,18795
Raps	11,83650	4,54300	2,08047	0,18795
Lein	14,18750	7,11700	2,08047	0,18795
Mais	12,98100	5,15450	2,08047	0,18795
3	K_E	C_W	C_G	
Sonnenblume	7,72713	3,87244	0,18449	-
Raps	8,86800	4,59350	0,18449	-
Lein	11,38650	7,31350	0,18449	-
Mais	10,07550	5,31000	0,18449	-
4	K_E	C_W		
Sonnenblume	7,07307	3,52694	-	-
Raps	8,80800	4,57200	-	-
Lein	10,8940	6,49300	-	-
Mais	4,99750	0,94950	-	-
5	K_E	C_W	C_G	
Sonnenblume	3,90200	3,51700	7,91800	-
Raps	4,69800	4,56800	7,91800	-
Lein	5,06700	6,51900	7,91800	-
Mais	4,14300	0,94600	7,91800	-

Tabelle 3.10: Fehlerquadratsumme der „Öl- artunspezifischen“ Modelle für die Vorschläge 1 bis 8 (FQSn) und die Fehlerquadratsumme bei Anwendung der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (FQSb) sowie die Ergebnisse der Signifikanzprüfung (F-Wert und dessen Signifikanz) für „Vorschlag gegen bisherige Lebensfähigkeitsgleichung“ sofern diese ermittelt werden können.

Vorschlag	FQSb	FQSn	F-Wert	Signifikanz
1	931,30	635,20	382,50	***
2	931,30	nk	-	-
3	931,30	630,94	782,26	***
4	931,30	643,82	-	-
5	931,30	643,80	-	-
6	931,30	nk	-	-
7	931,30	nk	-	-
8	931,30	nk	-	-

nk = nicht konvergierter Vorschlag

Tabelle 3.10 zeigt, dass die Vorschläge 1, 3, 4 und 5 in „Öl- artunspezifischen“ Modellen gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung deutlich geringere Fehlerquadratsummen erreichten. Die Fehlerquadratsummen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (FQSb) wurden artspezifisch berechnet, deshalb sind die FQSb der Tabelle 3.12 identisch. Das deutet auf eine relativ bessere Vorhersagegenauigkeit dieser Modelle gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung hin.

Die Modelle 1 und 3 konnten mittels F-Test auf Signifikanz überprüft werden. Dieser bestätigte, dass die Aufnahme eines artunspezifischen additiven Ölterms in die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung zu einer signifikanten Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit führen kann. Die Modelle 2, 6, 7 und 8 haben nicht konvergiert, deshalb konnten keine Schätzwerte für die Konstanten und keine Fehlerquadrate berechnet werden.

3.3.2.3 „Artunspezifische“ Modelle

In diesem Fall wurde untersucht, ob durch die Aufnahme des Ölgehaltes in die Lebensfähigkeitsgleichung deren Artspezifität aufgehoben werden kann. Dies würde bedeuten, dass die bisherigen Artunterschiede dann so hinreichend erfasst werden, dass die dann noch verbleibenden Artunterschiede so gering sind, dass sie in dem Modell nicht mehr berücksichtigt werden bräuchten. Die Berechnung und die Signifikanzprüfung erfolgten wie bei den artabhängigen Modellen. Für diese Modelle wurde dann aber nur ein Schätzwert je Konstante K_E , C_W , C_G bzw. C_{G1} und C_{G2} ermittelt, der dann für alle vier untersuchte Arten verwendet wird.

Die Konstanten für die einzelnen Vorschläge im artunspezifischen Modell sind in Tabelle 3.11 aufgeführt. Die Fehlerquadratsummen sind in Tabelle 3.12 zu sehen. Die Prüfung der Vorschläge 4 bis 8 war mit dem F-Test nicht möglich (Siehe 3.3.2).

Tabelle 3.11: Konstanten für die artunspezifischen Modelle der Vorschläge 1 bis 8.

Vorschlag	Konstante			
	K_E	C_W	C_G bzw. C_{G_1}	C_{G_2}
1	7,89390	3,18100	0,90309	0,13299
2	6,56544	3,16305	0,00399	
3	6,79823	3,18596	0,05897	
4	5,46980	1,64200		
5	4,22001	1,64221	5,77008	
6	7,91101	1,55340	1,77900	
7	5,29894	1,53330	0.00	
8	6,00784	1,66400	0,45916	0,02800

Tabelle 3.12: Fehlerquadratsummen der artunspezifischen Modelle (FQSn) der Vorschläge 1 bis 8 und bei Anwendung der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (FQsb) sowie die Ergebnisse des F-Tests (F-Wert und Signifikanz) für den Vergleich (bisherige Lebensfähigkeitsgleichung gegen Vorschlag).

Vorschlag	FQsb	FQSn	F-Test	Sig.
1	931,30	1388,0	-270,10	N.S.
2	931,30	1400,0	-550,00	N.S.
3	931,30	1393,0	-544,50	N.S.
4	931,30	1577,0	-	-
5	931,30	1577,0	-	-
6	931,30	1577,0	-	-
7	931,30	1598,0	-	-
8	931,30	1580,0	-	-

3.3.3 Überprüfung der Genauigkeit der Modelle

Die Überprüfung der Schätzungsgenauigkeit der Vorschläge der artspezifischen und Öl-artunspezifischen Modelle erfolgte über den Vergleich der nach den jeweiligen Modellen geschätzten Steigungen der Probitgeraden mit den Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung für Alterungsversuche bei 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt für Sonnenblume, 9 % für Raps und Lein und 10 % für Mais und einer Temperatur von 45 °C. Dafür wurden die bereits berechneten Konstanten K_E , C_W , C_G bzw. C_{G1} und C_{G2} für die Vorschläge 1, 3, 4 und 5 der beiden „artspezifisch“ und „Öl-artunspezifisch“ Modelle, die aus der Literatur stammenden Temperatur Konstanten C_H und C_Q und der sortenspezifische Ölgehalt verwendet, um die Steigungen der Probitgeraden der jeweiligen Sorten zu berechnen.

Artspezifische Aufnahme des Ölgehaltes:

Beim direkten Vergleich der Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung mit den Schätzwerten aus den artspezifischen Modellen der acht Vorschläge und mit den Versuchsergebnissen wird die sehr viel bessere Anpassung der neuen Modelle deutlich. Wie hoch die Genauigkeit der Modelle ist, kann in Tabelle 3.13 anhand des Vertrauensbereichs der Steigung der Probitgerade ermittelt werden, die für die Versuchsergebnisse berechnet wurde.

Tabelle 3.13: Schätzungen für die Steigung der Probitgerade aus den artspezifischen Modellen für die Vorschläge 1, 3, 4 und 5, Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (LFGb) und aus den Versuchsergebnissen berechnete Steigungen (Lagerung bei 45 °C und einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 8 % für Sonnenblume, 9 % für Raps und Lein und 10 % für Mais). Zusätzlich ist das Konfidenzintervall für die Steigung der Probitgerade, die aus den Versuchsergebnissen berechnet wurde, angegeben. (Steigung = berechnete Steigung * (-100)).

Art / Partie	Ölgehalt (%)	Steigung (Probit/Tag * -100)						Konfidenzintervall der Steigung	
		1	3	4	5	LFGb	Versuch	von	bis
Raps									
AHR 2426	38,9	5,84	5,85	5,61	5,6	6,77	3,62	5,75	1,49
THR 2470	43,2	8,05	8,07	7,82	7,82	6,77	7,32	9,38	5,26
Wotan	43,9	8,47	8,49	8,28	8,27	6,77	13,02	13,95	12,09
AHR 2422 A	44,0	8,53	8,55	8,35	8,34	6,77	6,46	8,64	4,28
AHR 2411	45,1	9,23	9,25	9,14	9,13	6,77	7,20	9,41	4,98
Licolly	45,2	9,30	9,32	9,21	9,21	6,77	24,38	27,49	21,26
THR 2373	46,7	10,35	10,35	10,46	10,45	6,77	9,74	11,82	7,66
THR 2417	47,3	10,8	10,8	11,01	11,01	6,77	9,97	12,05	7,88
Licosmos	48,1	11,42	11,41	11,81	11,8	6,77	15,26	17,59	12,94
Evita	49,5	12,58	12,56	13,38	13,37	6,77	23,89	26,75	21,02
Lein									
Liflax	35,6	5,21	5,21	4,55	4,54	11,95	1,85	4,16	-0,48
Liviola	35,9	5,32	5,32	4,69	4,68	11,95	4,45	6,79	2,11
Gold	41,6	7,92	7,91	8,59	8,58	11,95	9,91	13,13	6,69
Livia	41,7	7,97	7,96	8,69	8,68	11,95	13,63	14,71	12,54
Lirina	43,3	8,86	8,86	10,41	10,41	11,95	8,09	10,42	5,75
Sonnenblume									
Cadasol	28,2	14,83	14,89	11,67	11,71	29,19	8,49	13,16	3,82
Candisol	37,4	21,99	21,94	19	18,95	29,19	24,51	29,31	19,72
Barolo	39,0	23,39	23,35	20,83	20,76	29,19	48,52	55,01	42,03
Sweet	39,5	23,84	23,81	21,45	21,37	29,19	11,30	13,21	9,39
Heliabel	40,5	24,75	24,73	22,75	22,65	29,19	33,21	38,33	28,1
Heliasun	41,5	25,22	25,2	23,45	23,34	29,19	23,14	27,81	18,47
KW3306	42,5	26,63	26,65	25,69	25,55	29,19	25,87	30,61	21,13
Sunny	48,3	32,55	32,79	37,48	37,11	29,19	29,30	34,25	24,34
Mais									
Iho	25,5	4,15	4,23	4,45	4,45	1,59	2,79	4,76	0,83
Haus	36,0	4,23	4,25	5,14	5,14	1,59	5,12	6,98	3,26
Ilo	56,0	4,33	4,28	7,33	7,33	1,59	4,27	5,07	3,47

Beim Raps mit Ölgehalten zwischen 38,9 und 47,3 % liegen die Vorhersagen der Modelle für 7 Partien im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen. Die Alterungsgeschwindigkeiten der Partien Licolly, Licosmos und Evita mit Ölgehalten von 45,2, 48,1 bzw. 49,5 % werden von den neuen Vorschlägen sowie der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung unterschätzt, wobei die Schätzwerte der Modelle dennoch deutlich besser liegen als die der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung, die nur für die Partien THR 2470, AHR 2422 A und AHR 2411 mit Ölgehalten von 43,2, 44,0 bzw. 45,1 % in den jeweiligen Vertrauensbereichen liegen.

Beim Lein liegen die Schätzungen der Modelle für die Ölgehalte zwischen 35,6 und 43,3 %, ausgenommen für die Sorte Livia, im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen. Die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung liegt mit ihren Vorhersagen nur für die Partien Gold und Livia mit einem Ölgehalt von 41,6 bzw. 41,7 % im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen.

Bei der Sonnenblume liegen die Schätzungen der Modelle für die Partien mit Ölgehalten von 39 bis 40,5 % nicht im Vertrauensbereich der Versuchsergebnisse. Für die Partien mit niedrigeren Ölgehalten (28,2 und 37,4 %) und höheren Ölgehalten (41,5, 42,5 und 48,3 %) liegen sie jedoch im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen. Die Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung liegen für nur 3 Partien mit Ölgehalten von 37,4, 40,5 und 48,3 % im Vertrauensbereich der Steigungen aus den Versuchsergebnissen.

Beim Mais liegen alle Schätzungen der Modelle für die Partien mit den Ölgehalten von 25,5, 36,0 und 56,0 % im Embryo im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen. Hingegen liegen die Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung nur für die Sorte IHO mit einem Ölgehalt von 25,5 % im Vertrauensbereich der Steigung aus den Versuchsergebnissen.

Teilweise artunabhängige Aufnahme des Ölgehaltes:

Die Schätzungen aus den „Öl- artunspezifischen“ Modellen sind den Schätzungen der artabhängigen Modelle sehr ähnlich und zeigen nur hier und da kleine Abweichungen. So liegt z.B. für die Rapssorte AHR 2426 mit dem niedrigsten Ölgehalt von 38,9 % die Schätzung für die Steigung beim artabhängigen Modell Vorschlag 1 bei 5,84 (Tab. 3.13) während die Schätzung des „Öl- artunspezifischen“ Modells bei 7,15 liegt (Tab. 3.14).

Tabelle 3.14: Schätzungen für die Steigung der Probitgerade aus den „Öl- artunspezifischen“ Modellen für die Vorschläge 1, 3, 4 und 5, nach den Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (LFGb) und aus den Versuchsergebnissen berechnete Steigungen (Lagerung bei 45 °C und einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 8 % für Sonnenblume, 9 % für Raps und Lein und 10 % für Mais). Zusätzlich ist das Konfidenzintervall für die Steigung der Probitgerade, die aus den Versuchsergebnissen berechnet wurde, angegeben. (Steigung = berechnete Steigung * (-100)).

Art / Partie	Ölgehalt (%)	Steigung (Probit/Tag * (-100))						Konfidenzintervall der Steigung	
		1	3	4	5	LFGb	Versuche	von	bis
Raps									
AHR 2426	38,9	7,15	7,58	5,59	5,60	6,77	3,62	5,75	1,49
THR 2470	43,2	8,65	8,74	7,8	7,82	6,77	7,32	9,38	5,26
Wotan	43,9	8,91	8,94	8,26	8,27	6,77	13,02	13,95	12,09
AHR 2422 A	44,0	8,94	8,97	8,37	8,34	6,77	6,46	8,64	4,28
AHR 2411	45,1	9,36	9,29	9,12	9,13	6,77	7,20	9,41	4,98
Licolly	45,2	9,40	9,31	9,19	9,21	6,77	24,38	27,49	21,26
THR 2373	46,7	9,98	9,76	10,44	10,45	6,77	9,74	11,82	7,66
THR 2417	47,3	10,22	9,95	10,99	11,01	6,77	9,97	12,05	7,88
Licosmos	48,1	10,55	10,19	11,79	11,8	6,77	15,26	17,59	12,94
Evita	49,5	11,13	10,64	13,36	13,37	6,77	23,89	26,75	21,02
Lein									
Liflax	35,6	5,75	5,85	4,57	4,53	11,95	1,85	4,16	-0,48
Liviola	35,9	5,84	5,92	4,71	4,67	11,95	4,45	6,79	2,11
Gold	41,6	7,60	7,17	8,61	8,59	11,95	9,91	13,13	6,69
Livia	41,7	7,63	7,22	8,71	8,67	11,95	13,63	14,71	12,54
Lirina	43,3	8,17	7,56	10,43	10,4	11,95	8,09	10,42	5,75
Sonnenblume									
Cadasol	28,2	13,67	15,78	11,55	11,7	29,19	8,49	13,16	3,82
Candisol	37,4	22,29	22,22	19,14	18,95	29,19	24,51	29,31	19,72
Barolo	39,0	24,02	23,48	21,06	20,76	29,19	48,52	55,01	42,03
Sweet	39,5	24,58	23,88	21,71	21,37	29,19	11,30	13,21	9,39
Heliabel	40,5	25,71	24,69	23,08	22,66	29,19	33,21	38,33	28,1
Heliasun	41,0	26,29	25,11	23,81	23,34	29,19	23,14	27,81	18,47
KW3306	42,5	28,06	26,38	26,19	25,55	29,19	25,87	30,61	21,13
Sunny	48,3	35,52	31,67	38,75	37,14	29,19	29,30	34,25	24,34
Mais									
Iho	25,5	1,46	2,08	4,45	4,46	1,59	2,79	4,76	0,83
Haus	36,0	2,64	3,12	5,14	5,14	1,59	5,12	6,98	3,26
Ilo	56,0	5,94	5,85	7,36	7,33	1,59	4,27	5,07	3,47

3.3.4 Validierung der Modelle mit einem neuen Datensatz

Zum Validieren der Modelle wurde ein separates Lagerungsexperiment durchgeführt. Um die Validierung umfassend durchzuführen, wurde diese Lagerung bei einer niedrigeren Temperatur von 32 °C, mit unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten und einer längeren Lagerungsdauer der Samen als in Kapitel 2.2.3 beschrieben durchgeführt. Diese milderen und damit praxisnäheren Lagerungsbedingungen sowie die unterschiedlichen

Samenfeuchtigkeitsgehalte der Arten haben zur Folge, dass die Geschwindigkeit des Keimfähigkeitsverlusts nicht direkt mit den zuvor bei 45 °C ermittelten Werten, die für die Bestimmung der Konstanten verwendet wurden, vergleichbar sind. Dennoch ist es möglich herauszuarbeiten, wo die Stärken und Schwächen der Vorschläge liegen. Da die Alterungstemperatur in allen Versuchen konstant 32 °C betrug, wurde bei der Berechnung der Steigung der Probitgeraden für die Arten Sonnenblumen, Raps und Lein für den Temperatur-Term ($C_H T + C_Q T^2$) vereinfachend der Wert 1,54227 und für Mais der Wert 1,49107 eingesetzt.

Aus Tabelle 3.15 geht hervor, dass die verschiedenen artspezifischen Modelle für Raps eine schnellere Abnahme der Keimfähigkeit und damit eine schnellere Alterung vorhersagen als in dem Lagerungsversuch beobachtet wurde. Bei Sonnenblume und Lein überschätzen sowohl die Vorschläge als auch die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung die Alterungsgeschwindigkeiten deutlich. Jedoch zeigen die Vorschläge eine etwas bessere Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen als die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung. Beim Mais wiederum unterschätzt die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung die Geschwindigkeit der Alterung. Bei den Vorschlägen, bei denen der Öl-Term additiv aufgenommen wurde, fällt auf, dass diese die Alterungsgeschwindigkeit deutlich überschätzen, während die Vorschläge, in denen der Ölgehalt in den Feuchtigkeitsterm integriert wurde, die Alterungsgeschwindigkeit nur leicht unterschätzen und sehr nah an den aus den Versuchen erhaltenen Ergebnissen liegen.

Tabelle 3.15: Steigungen aus den Vorhersagen der artspezifischen Modelle der Vorschläge 1, 3, 4 und 5, der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (LFGb) und berechnet aus den Versuchsergebnissen (Lagerung bei 32 °C und einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 8 % für Sonnenblume, 9 % für Raps und Lein und 10 % für Mais). Zusätzlich ist das Konfidenzintervall für die Steigung der Probitgeraden, die aus den Versuchsergebnissen berechnet wurde, angegeben. (Steigung = berechnete Steigung * (-100)).

Art / Partie	Ölgehalt (%)	Steigung (Probit/Tag * (-100))						Konfidenzintervall der Steigung	
		1	3	4	5	LFGb	Versuch	von	bis
Raps									
AHR 2426	38,9	1,25	1,25	1,19	1,19	1,43	0,22	1,16	-0,73
THR 2470	43,2	1,72	1,72	1,66	1,66	1,43	0,31	1,15	-0,53
Wotan	43,9	1,81	1,81	1,76	1,76	1,43	2,11	2,47	1,75
AHR 2422 A	44,0	1,82	1,82	1,77	1,77	1,43	0,42	1,30	-0,46
AHR 2411	45,1	1,97	1,97	1,94	1,94	1,43	0,54	1,51	-0,43
Licolly	45,2	1,98	1,99	1,96	1,96	1,43	2,48	3,34	1,62
Maplus	45,4	2,01	2,02	1,99	1,99	1,43	1,05	1,97	0,12
THR 2373	46,7	2,21	2,21	2,22	2,22	1,43	0,52	2,02	0,31
THR 2417	47,3	2,30	2,30	2,34	2,34	1,43	0,57	1,41	-0,23
Licosmos	48,1	2,47	2,43	2,51	2,51	1,43	2,54	3,44	1,65
SLM 1647/03	48,4	2,49	2,49	2,58	2,58	1,43	1,14	2,03	0,26
Evita	49,5	2,69	2,68	2,84	2,84	1,43	1,04	1,99	0,10
Express	50,6	2,90	2,89	3,14	3,14	1,43	2,74	2,98	1,22
NPZ 0416	50,7	2,92	2,91	3,17	3,17	1,43	1,69	2,55	0,83
La 821/ 03	51,7	3,12	3,11	3,48	3,48	1,43	4,46	5,48	3,43
Oase	52,1	3,21	3,19	3,62	3,62	1,43	4,85	5,95	3,75
SLM 0314(+o)	52,3	3,25	3,23	3,69	3,69	1,43	0,30	1,20	-0,60
Lein									
Liflax	35,6	1,48	1,48	1,21	1,21	2,63	0,26	0,54	-0,02
Gold	41,6	2,24	2,25	2,29	2,29	2,63	0,88	1,62	0,15
Lirina	43,3	2,52	2,52	2,78	2,78	2,63	0,57	1,28	-0,15
Sonnenblume									
Candisol	37,4	2,73	2,72	2,36	2,35	3,62	0,82	1,23	0,40
Sweet	39,5	2,96	2,96	2,66	2,65	3,62	0,77	1,21	0,33
Heliasun	41,0	3,13	3,13	2,91	2,90	3,62	3,19	3,68	2,69
Sunny	48,3	4,04	4,07	4,65	4,61	3,62	3,37	3,79	2,95
Mais									
Iho	25,5	1,72	1,75	0,62	0,62	0,66	0,48	1,30	-0,33
Haus	36,0	1,75	1,76	0,72	0,72	0,66	1,22	2,09	0,36
Ilo	56,0	1,80	1,77	1,02	1,02	0,66	1,26	1,61	0,92

Anhand der ermittelten Steigungen für Raps in Tabelle 3.15 ist festzustellen, dass von den Vorschlägen die Alterungsgeschwindigkeit allgemein deutlich überschätzt wird. Bei Raps stimmen die Vorhersagen nur für die Partien, die ungewöhnlich hohe Steigungen besitzen, wie Wotan und Licolly, oder die wegen ihres sehr hohen Ölgehaltes hohe Steigungen besitzen, wie Licosmos, Express, NPZ, La und Oase mit Ölgehalten von 48,3 bis 52,1 %, annähernd mit den Versuchsergebnissen überein. Bei den Sonnenblumenpartien Heliasun und Sunny mit Ölgehalten von 41,0 bzw. 48,3 % ist ein ähnlicher Effekt zu beobachten. Beim Lein hingegen werden bei allen Partien von allen Vorschlägen die Alterungsgeschwindigkeiten überschätzt. Bei den untersuchten Maispartien stimmen die Vorhersagen der Steigungen durch die Vorschläge 4 und 5 sehr gut mit den Versuchsergebnissen überein und liegen im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen.

Die Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung sind für Steigungen von Rapspartien mit mittleren Ölgehalten geeignet und befinden sich dort im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen.

Beim Lein ist keine Übereinstimmung zu beobachten, bei der Sonnenblume passen die Vorhersagen für die Partien mit hohen Ölgehalten und entsprechend hohen Steigungen, während man beim Mais eine weitgehende Übereinstimmung der Werte für die Partien mit Ölgehalten von 25,5 und 36,0 % im Embryo vorfinden kann.

Tabelle 3.16: Steigungen aus den Vorhersagen der „Öl- artunspezifischen“ Modelle der Vorschläge 1, 3, 4 und 5, der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (LFGb) und aus den Versuchsergebnissen berechnete Steigungen (Lagerung bei 32 °C und einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 8 % für Sonnenblume, 9 % für Raps und Lein und 10 % für Mais). Zusätzlich ist das Konfidenzintervall für die Steigung der Probitgeraden, die aus den Versuchsergebnissen berechnet wurde, angegeben. (Steigung = berechnete Steigung * (-100)).

Art / Partie	Ölgehalt (%)	Steigung					Konfidenzintervall der Steigung		
		1	3	4	5	LFGb	Versuch	von	bis
Raps									
AHR 2426	38,9	1,52	1,62	1,19	1,19	1,43	0,22	1,16	-0,73
THR 2470	43,2	1,83	1,86	1,66	1,66	1,43	0,31	1,15	-0,53
Wotan	43,9	1,89	1,91	1,76	1,76	1,43	2,11	2,47	1,75
AHR 2422 A	44,0	1,90	1,91	1,77	1,77	1,43	0,42	1,30	-0,46
AHR 2411	45,1	1,98	1,98	1,94	1,94	1,43	0,54	1,51	-0,43
Licolly	45,2	1,99	1,99	1,96	1,96	1,43	2,48	3,34	1,62
Maplus	45,4	2,01	2,00	1,99	1,99	1,43	1,05	1,97	0,12
THR 2373	46,7	2,12	2,08	2,22	2,22	1,43	0,52	2,02	0,31
THR 2417	47,3	2,17	2,12	2,34	2,34	1,43	0,57	1,41	-0,23
Licosmos	48,1	2,24	2,17	2,51	2,51	1,43	2,54	3,44	1,65
SLM 1647/03	48,4	2,26	2,19	2,58	2,58	1,43	1,14	2,03	0,26
Evita	49,5	2,36	2,27	2,84	2,84	1,43	1,04	1,99	0,10
Express	50,6	2,46	2,34	3,15	3,14	1,43	2,74	2,98	1,22
NPZ 0416	50,7	2,47	2,35	3,18	3,17	1,43	1,69	2,55	0,83
La 821/ 03	51,7	2,56	2,42	3,49	3,48	1,43	4,46	5,48	3,43
Oase	52,1	2,60	2,45	3,62	3,62	1,43	4,85	5,95	3,75
SLM 0314(+o)	52,3	2,62	2,46	3,69	3,69	1,43	0,30	1,20	-0,60
Lein									
Liflax	35,6	1,65	1,72	1,22	1,21	2,63	0,26	0,54	-0,02
Gold	41,6	2,18	2,11	2,30	2,29	2,63	0,88	1,62	0,15
Lirina	43,3	2,35	2,23	2,78	2,78	2,63	0,57	1,28	-0,15
Sonnenblume									
Candisol	37,4	2,77	2,76	2,38	2,35	3,62	0,82	1,23	0,40
Sweet	39,5	3,05	2,96	2,69	2,65	3,62	0,77	1,21	0,33
Heliasun	41,0	3,26	3,12	2,96	2,90	3,62	3,19	3,68	2,69
Sunny	48,3	4,41	3,93	4,81	4,61	3,62	3,37	3,79	2,95
Mais									
Iho	25,5	0,52	0,77	0,62	0,62	0,66	0,48	1,30	-0,33
Haus	36,0	0,94	1,15	0,72	0,72	0,66	1,22	2,09	0,36
Ilo	56,0	2,11	2,15	1,03	1,02	0,66	1,26	1,61	0,92

Die Werte für die Vorhersagen der Steigungen mittels der „Öl- artunspezifischen“ Modelle (Tab. 3.16) liegen ähnlich häufig wie bei den artspezifischen Modellen außerhalb der Vertrauensbereiche der Versuchsergebnisse. Ebenso wie bei den artspezifischen Modellen liegen die Werte für Partien mit ungewöhnlich hohen Steigungen und hohen Ölgehalten im 95 % Konfidenzintervall der Steigungen aus den Versuchsergebnissen.

3.4 Fettsäuremuster des Samenöles und Alterung der Samen

Bei den Ergebnissen des vorherigen Kapitels hat man bei einigen Partien Unregelmäßigkeiten in der Alterungsgeschwindigkeit feststellen können, die durch die bekannten Alterungsursachen der Samen (Art, Temperatur, Samenfeuchtigkeitsgehalt und Ölgehalt) nicht erklärt werden konnten.

In zahlreichen Veröffentlichungen wurde über Arbeiten zum Einfluss diverser Inhaltsstoffe auf das Alterungsverhalten der Samen berichtet (siehe 1.1). Gerade für ölreichen Samen wurde vermutet, dass die Bestandteile des Öles, die Fettsäuren und deren Zusammensetzung sowie die mögliche Veränderung der Fettsäuremuster während der Alterung das Alterungsverhalten beeinflussen können. Deswegen wurde hier geprüft, ob insbesondere die durch große Abweichungen von den Schätzwerten auffallenden Partien sich im Fettsäuremuster von den übrigen Partien unterscheiden, und dies somit als Ursache für die Abweichungen in Betracht kommen könnte.

Deshalb wurde für alle Partien von Raps und für einige Partien von Sonnenblume, Lein und Mais die Fettsäurezusammensetzung vor, während und nach der Alterung bestimmt. Die Proben wurden in zwei verschiedenen Verfahren gealtert:

1. 20 Tage bei 45 °C und 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt (V1)
2. 90 Tage bei 32 °C und 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt für Sonnenblume, 9 % für Raps und Lein und 10 % für Mais (V2)

Das zweite Alterungsverfahren sollte praxisnähere Erkenntnisse über die Fettsäurezusammensetzung im Zusammenhang zur Alterungsgeschwindigkeit der Samen liefern. Die bei den Versuchen bestimmten Fettsäuremuster der Samen enthielten insgesamt 15 verschiedenen Fettsäuren, die von der mittellangkettigen und gesättigten Laurinsäure (12:0) bis zu der langkettigen und einfach ungesättigten Nervonsäure (24:1) reichten (Tab. 3.17).

Tabelle 3.17: Die Spannweite und der mittlere Gehalt (%) der einzelnen Fettsäuren der 4 untersuchten Arten.

		Raps		Lein		Sonnenblume		Mais	
		Spannweite	MW	Spannweite	MW	Spannweite	MW	Spannweite	MW
C12:0	Laurinsäure	-	-	0,33 - 0,38	0,4	0,36 - 0,41	0,4	0,09 - 0,28	0,2
C14:0	Myristinsäure	0,0 - 0,6	0,0	0,04 - 0,05	0,0	0,06 - 0,09	0,1	0,04 - 0,07	0,1
C16:0	Palmitinsäure	3,03 - 5,12	4,1	5,37 - 5,83	5,6	3,93 - 6,21	5,5	12,92 - 16,71	14,3
C16:1	Palmitoleinsäure	0 - 0,33	0,2	0,05 - 0,07	0,1	0,09-0,1	0,1	0,12 - 0,15	0,1
C18:0	Stearinsäure	0,77 - 1,74	1,5	3,41 - 4,12	3,8	3,61 - 5,45	4,6	1,71 - 2,0	1,8
C18:1	Ölsäure	11,26 - 65,45	55,9	18,39 - 25,03	21,0	38,88 - 84,22	51,8	15,76 - 38,27	25,1
C18:2	Linolsäure	12,24 - 20,93	18,7	15,87- 19,36	17,2	5,58 - 47,04	35,4	43,96 - 61,17	55,2
C18:3	Linolensäure	6,2 - 13,49	9,8	47,79 - 55,49	51,1	0,08 - 0,22	0,1	0,99 - 2,48	1,6
C20:0	Arachidinsäure	0,48 - 0,72	0,6	0,14 - 0,19	0,2	0,32 - 0,42	0,4	0,37 - 0,47	0,4
C20:1	Eicosensäure	1,21 - 10,42	2,1	0,14 - 0,23	0,2	0,13 - 0,23	0,2	0,24 - 0,29	0,3
C20:2	Eicosadinsäure	0,06 - 0,49	0,1	0,0 - 0,3	0,0	-	-	0,0 - 0,06	0,0
C22:0	Behensäure	0,29 - 0,72	0,4	0,12 - 0,15	0,1	0,89 - 1,07	1,0	0,16 - 0,28	0,2
C22:1	Erucasäure	0,0 - 57,36	6,2	-	-	-	-	-	-
C24:0	Lignocerinsäure	0,0 - 0,22	0,1	0,1 - 0,14	0,1	0,34 - 0,36	0,0	0,22 - 0,55	0,4
C24:1	Nervensäure	0,07 - 0,91	0,2	-	-	-	-	-	-

Die gesamte Fettsäurezusammensetzung, d. h. die Anteile der einzelnen Fettsäuren, die Anteil der Gruppen der ungesättigten und gesättigten Fettsäuren sowie deren Änderungen während der Alterung wurde in einem multiplen Regressionsmodell auf ihren Zusammenhang mit dem Alterungsverhalten des Saatguts geprüft. Dafür wurden aus dem SAS Programmpaket die Prozeduren „RSQUARE“ mit der Option „ADJSQR“ und „REG“ mit der Option „STEPWISE“ mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P < 5\%$ verwendet. Es wurden verschiedene abhängige Variablen und unabhängige Variablen in verschiedenen Modellen verwendet:

1. Abhängige Variable: die Steigung der Probitgeraden; unabhängige Variablen: Ölgehalt, Anteile der mehreren Fettsäuren, Anteile der einzelnen Fettsäuren, Anteil gesättigter Fettsäuren, Anteil kurzkettiger Fettsäuren (Hier wurden C12:0, C14:0, C16:1 und C16:0 als kurzkettig betrachtet).
2. Abhängige Variable: die Differenz zwischen der Steigung der Probitgeraden und der Vorhersage aus dem Vorschlag 4 Modell „artspezifisch“; unabhängige Variablen: Ölgehalt, Anteile der mehreren Fettsäuren, Anteile der einzelnen Fettsäuren, Anteil gesättigter Fettsäuren, Anteil kurzkettiger Fettsäuren.
3. Abhängige Variable: die Differenz zwischen der Steigung der Probitgeraden und der Vorhersage aus dem Vorschlag 4 Modell „artspezifisch“; unabhängige Variable: Ölgehalt,

prozentuale Änderung der Anteile einzelner Fettsäuren, der gesättigten und der kurzkettigen Fettsäuren während der Lagerung.

Zu diesen 3 verschiedenen Modellen wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

zu 1.

Die Gesamtanteile der gesättigten und ungesättigten Fettsäuren vor der Alterung wiesen keinen signifikanten Zusammenhang mit der Alterungsgeschwindigkeit der Samenpartien auf (Daten nicht gezeigt).

Die besten Ergebnisse unter Berücksichtigung der einzelnen Fettsäuren sind in Tabelle 3.18 zu sehen. Die Ergebnisse zeigen bei V1 für Raps zwischen der Steigung der Probitgeraden und dem Gehalt an 14:0 einen signifikanten und negativen Zusammenhang, und signifikante und positive Zusammenhänge zwischen der Steigung der Probitgeraden und 18:0 und 24:0. Das bedeutet, dass bei V1 der Ölgehalt alleine 43 % der Unterschiede in der Alterungsgeschwindigkeit der Rapsamen, und zusammen mit Fettsäuren 14:0, 18:0 oder 24:0 etwa 66 %, 59 % bzw. 57 % erklärt. Bei V2 zeigen die Ergebnisse einen signifikanten und positiven Zusammenhang zwischen dem Gehalt an 18:0 und 18:1 und signifikante negative Zusammenhänge zwischen 20:0, 22:0 und 22:1 und der Steigung der Probitgeraden der Alterungsergebnissen. Das bedeutet, dass bei V2 der Ölgehalt alleine etwa 25 % der Alterungsgeschwindigkeit der Rapsamen, und zusammen mit Fettsäuren 18:0, 18:1, 20:0, 22:0 oder 22:1 etwa 41 %, 38 %, 36 %, 40 % bzw. 37 % erklärt (Tab. 3.19).

Tabelle 3.18: Zusammenhang zwischen der Steigung der Probitgeraden der Versuchsergebnisse und dem Ölgehalt und den Anteilen der Fettsäuren 14:0, 18:0 und 24:0 bei Raps. Die Alterungsversuche wurden bei V1 bei 45 °C und 8 % SFG durchgeführt, bei V2 bei 32 °C und verschiedenen artspezifischen Samenfeuchtigkeitsgehalten (siehe 2.1).

	Y Achsen- Abschnitt	Regressionskoeffizienten		F-Test	
V1		Öl	Fettsäure	Öl	Fettsäure
14:0	-57,39852	1,58905	-110,67789	0,0002***	0,0037***
18:0	-88,83752	1,26505	27,77144	0,0037***	0,021**
24:0	-82,90921	1,93249	60,55628	0,0002***	0,0313**
V2					
18:0	-11,51134	0,21367	2,0138	0,0003***	0,0076***
18:1	-9,6161	0,19916	0,03075	0,0008***	0,0177**
20:0	-1,984	0,16816	-7,55519	0,0047***	0,0319**
22:0	-5,61844	0,18789	-4,49849	0,0011***	0,0083***
22:1	-8,47149	0,215	-0,02792	0,0005***	0,0235**

Tabelle 3.19: Fehlerquadratsummen der Regressionsanalyse für die Ergebnisse der Tabelle 3.18.

	Partielles FQ	Modell FQ
V1		
Ölgehalt	0,4295	0,4295
14:0	0,2282	0,6576
18:0	0,1573	0,5868
24:0	0,1396	0,5691
V2		
Ölgehalt	0,2516	0,2516
18:0	0,1561	0,4077
18:1	0,1259	0,3776
20:0	0,1048	0,3564
22:0	0,1528	0,4044
22:1	0,1158	0,3674

In Tabelle 3.20 sind die besten Ergebnisse unter Berücksichtigung aller Fettsäuren in multiplen Modellen zu sehen. Die Regressionsanalyse zeigte bei beiden Alterungsversuchen nur bei Raps signifikante Zusammenhänge, und zwar zum einen mit allen Partien (a) und zum anderen ohne Partien, deren Alterungsverhalten durch übliche Lagerungsfaktoren nicht erklären werden konnte (b_1 und b_2). Es wäre natürlich sinnvoller, diese Zusammenhänge gerade bei diesen Partien zu überprüfen, aber durch deren geringe Anzahl vergrößert sich die Irrtumswahrscheinlichkeit der Berechnungen. Für die beiden Verfahren V1 und V2 wurden als abhängige Variable die Steigungen der Probitgeraden aus den Versuchsergebnissen sowie die Steigungsdifferenz zwischen den Probitsgeraden aus den Versuchsergebnissen und den Vorhersagen des Vorschlags 4 überprüft.

Beispielhaft seien folgende Ergebnisse in Tabelle 3.20 erläutert:

Bei V1 und bei „a“ wurde bei einem Modell- Freiheitsgrad (MFG) = 2 mit $R^2_{ADJ} = 0,65$ ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Fettsäuren 14:0 und 22:0 und der Steigung der Probitgeraden festgestellt. Bei „ b_1 “ (ohne die Sorten Licolly) bei $R^2_{ADJ} = 0,79$ gab es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Ölgehalt und Fettsäure 14:0 und der Steigung der Probitgeraden aus der Versuchsergebnissen.

Tabelle 3.20: Zusammenhang zwischen der Steigung der Probitgeraden der Versuchsergebnisse (S) und Steigungsdifferenz aus den Probitgeraden der Versuchsergebnisse und Schätzwerte des Vorschlags 4 bei Raps (Sdif). Die Alterungsversuche wurden in V1 bei 45 °C und 8 % SFG, in V2 bei 32 °C und 8 %, 9 % und 10 % SFG durchgeführt (siehe auch Tab.2.1). „a“: mit allen Partien „b₁“: ohne Licolly „b₂“: ohne Wotan, Licolly, LA, Oase und SLM 0314(+0). MFG =1- 3: Modell- Freiheitsgrade,

R^2_{ADJ} = Korrigiertes R^2 .

Analyse Parameter			Beteiligte Fettsäuren		
			MFG = 1	MFG = 2	MFG = 3
V1	S	„a“	22-0 $R^2_{ADJ} = 0,48^{***}$	14-0 22-0 $R^2_{ADJ} = 0,65^{***}$	14-0 18-2 $R^2_{ADJ} = 0,75^{***}$
V1	S	„b ₁ “	ÖL $R^2_{ADJ} = 0,59^{***}$	ÖL 14-0 $R^2_{ADJ} = 0,79^{***}$	ÖL 14-0 22-0 $R^2_{ADJ} = 0,81^{***}$
V1	Sdif	„a“	22-0 $R^2_{ADJ} = 0,29^{***}$	14-0 22-0 $R^2_{ADJ} = 0,58^{***}$	14-0 22-0 24-1 $R^2_{ADJ} = 0,62^{***}$
V1	Sdif	„b ₁ “	20-2 $R^2_{ADJ} = 0,38^{***}$	14-0 22-0 $R^2_{ADJ} = 0,66^{***}$	14-0 22-0 24-1 $R^2_{ADJ} = 0,71^{***}$
V2	S	„a“	ÖL $R^2_{ADJ} = 0,23^{***}$	18-3 20-0 $R^2_{ADJ} = 0,4^{***}$	18-0 20-0 24-1 $R^2_{ADJ} = 0,52^{***}$
V2	S	„b ₂ “	ÖL $R^2_{ADJ} = 0,44^{***}$	ÖL 14-0 $R^2_{ADJ} = 0,56^{***}$	ÖL 18-2 20-0 $R^2_{ADJ} = 0,51^{***}$
V2	Sdif	„a“	22-0 $R^2_{ADJ} = 0,21^{***}$	20-2 22-0 $R^2_{ADJ} = 0,36^{***}$	18-0 20-0 20-2 $R^2_{ADJ} = 0,51^{***}$
V2	Sdif	„b ₂ “	24-0 $R^2_{ADJ} = 0,29^{***}$	14-0 24-0 $R^2_{ADJ} = 0,33^{***}$	14-0 18-2 20-0 $R^2_{ADJ} = 0,44^{***}$

Bei V2 und „a“ bei $R^2_{ADJ} = 0,4$ wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Fettsäuren 18:3 und 20:0 und der Steigung der Probitgeraden festgestellt. Bei „b₂“ (ohne die Sorten Licolly, Wotan, La, Oase und SLM 0314(+0)) bei $R^2_{ADJ} = 0,56$ gab es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Ölgehalt und Fettsäuren 14-0 und der Steigung der Probitgeraden aus der Versuchsergebnissen festzustellen.

zu 2.

Die Ergebnisse dieser Regressionsmodelle sind in Tabellen 3.21 und 3.22 dargestellt.

Aus Tabelle 3.21 ist ersichtlich, dass bei V1 bei Raps ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen dem Gehalt der Fettsäure 14:0 und der Steigungsdifferenz aus

der Alterungsversuchen und den Vorhersagen des Vorschlags 4, artspezifisch besteht. Dieser signifikante negative Zusammenhang besteht ebenso bei V2 für die Fettsäuren 18:0 und 22:1.

Das bedeutet, dass bei V1 der Ölgehalt alleine etwa 20 % der Steigungsdifferenz aus den Alterungsversuchen und den Vorhersagen des Vorschlags 4 erklärt und zusammen mit der Fettsäure 14:0 etwa 48 % erklärt. Bei V2 erklärt der Ölgehalt allein etwa 11 % der Steigungsdifferenz aus den Alterungsversuchen und den Vorhersagen des Modells 4 und zusammen mit den Fettsäuren 18:0 und 22:1 etwa 40 % bzw. 29 % (Tab. 3.21).

Tabelle 3.21: Zusammenhang zwischen Fettsäure, Ölgehalt und Steigungsdifferenz aus den Probitgeraden der Versuchsergebnisse und Schätzwerte des Vorschlags 4 bei Raps. V1: Alterung bei 45 °C und 8 % SFG, V2: Alterung bei 32 °C und verschiedenen SFG (siehe 2.3)

	Y Achsen- Abschnitt	Regressionskoeffizienten		F-Test	
		Öl	Fettsäure	Öl	Fettsäure
V1					
14:0	33,78887	-0,85355	105,66133	0,0207**	0,0056***
V2					
18:0	10,29304	-0,11916	-2,80746	0,0235**	0,0002***
22:0	5,98406	-0,11926	0,03699	0,0376**	0,0035***

Tabelle 3.22: Fehlerquadratsummen der Regressionsanalyse für die Ergebnisse der Tabelle 21

		Partielles FQ	Modell FQ
V1			
F14:0		0,2798	0,2798
Öl		0,1992	0,4791
V2			
F18:0		0,2913	0,2913
Öl		0,1097	0,4009
F22:1		0,1794	0,1794
Öl		0,1085	0,2878

Die signifikanten Zusammenhänge zwischen den Gehalten einiger Fettsäuren, dem Ölgehalt und der Steigungsdifferenz aus den Regressionsgeraden der Versuchsergebnisse und Schätzwerte des Vorschlags 4 sind der Tabelle 3.20 zu entnehmen. Es besteht bei V1 und „a“ mit $MFG = 2$ und $R^2_{ADJ} = 0,58$ ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Fettsäuren 14:0 und 22:0 und der Steigungsdifferenz aus den Regressionsgeraden der Versuchsergebnisse und Schätzwerte des Vorschlags 4. Die Ergebnisse bei „b₁“ gleichen bei $R^2_{ADJ} = 0,66$ denen von „a“.

Bei V2 und „a“ besteht ein signifikanter Zusammenhang bei $R^2_{ADJ} = 0,36$, zwischen den Gehalten an Fettsäuren 20:2 und 22:0 und der Steigungsdifferenz aus den

Regressionsgeraden der Versuchsergebnisse und Schätzwerte des Vorschlags 4. Bei V2 und „b₂“ gibt es bei $R^2_{\text{ADJ}} = 0,33$ signifikante Beziehungen zwischen den Gehalten an Fettsäuren 14:0 und 24:0 und der Steigungsdifferenz.

Zu 3:

Wie in Tabelle 3.23 zu erkennen ist, nehmen während der Alterung überwiegend die gesättigten Fettsäuren bei den untersuchten Raps-, Sonnenblumen- und Maissorten zu, bei Leinsorten jedoch ab. Diese Ergebnisse sind jedoch statistisch nicht gesichert.

Tabelle 3.23: Die Änderungen des Gehaltes von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren während der Alterung im Prozent. V1diff. = Differenz zw. Kontrolle und bei 45°C, 20 Tage gealterten Samen (*-1) V2diff. = Differenz zw. Kontrolle und bei 32°C, 90 Tage gealterten Samen (*-1).

Art / Partie	Ölgehalt	Gesättigt		Ungesättigt	
	(%)	V1diff.	V2diff.	V1diff.	V2diff.
Raps					
AHR 2426	38,9	-0,34	4,11	-0,02	-0,33
THR 2470	43,2	0,61	3,69	-0,07	-0,27
Wotan	43,9	1,14	3,84	-0,05	-0,25
AHR 2422 A	44,0	2,44	3,09	-0,21	-0,26
AHR 2411	45,0	1,24	1,74	-0,1	-0,15
Licolly	45,2	2,60	6,18	-0,24	-0,45
Maplus	45,4	3,96	8,88	-0,26	-1,27
THR 2373	46,7	1,05	8,94	-0,18	-0,73
THR 2417	47,3	4,75	8,14	-0,36	-0,59
Licosmos	48,1	5,33	1,00	-0,41	-0,12
SLM 1647/03	48,4	5,40	7,97	-0,36	-0,54
Evita	49,5	-0,43	1,96	0,02	-0,13
Express	50,6	6,67	9,4	-0,61	-0,74
NPZ 0416	50,7	0,63	2,74	-0,11	-0,22
La 821/ 03	51,7	9,24	8,10	-0,58	-0,51
Oase	52,1	1,16	6,59	-0,07	-0,48
SLM 0314(+o)	52,3	0,84	3,28	-0,05	-0,19
Lein					
Liflax	35,6	-10,88	-7,68	1,32	1,07
Gold	41,5	-7,32	-5,58	0,97	0,84
Lirina	43,3	-7,37	-3,66	0,84	0,57
Sonnenblume					
Candisol	37,4	2,75	0,97	-0,49	-0,17
Sweet	39,5	3,07	-21,55	-0,45	2,21
Heliasun	41,0	0,44	-1,61	-0,13	0,14
Sunny	48,3	-1,34	30,31	0,16	-3,37
Mais					
Iho	25,5	0,00	-18,81	-0,93	4,81
Haus	36,0	34,77	5,31	-7,02	-1,14
Ilo	56,0	0,00	33,50	0,14	-7,06

4. Diskussion

Der Keimfähigkeitsverlust der gelagerten Samenpartien ist nicht vollständig zu unterbinden, aber er lässt sich über die gezielte Einstellung der Lagerungsbedingungen Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt und Sauerstoff minimieren. ROBERTS (1972) hält in seiner sogenannten „intrinsic Theorie“ die Alterung der Samen bzw. den Keimfähigkeitsverlust für eine natürliche, genetisch fixierte Gegebenheit, die direkt oder indirekt von den Umgebungsfaktoren beeinflusst werden kann.

Die Alterung der ölreichen Samen ist neben den Lagerungsbedingungen vom partiespezifischen Ölgehalt abhängig. ELLIS (1988) schrieb dem Samenölgehalt einen negativen Zusammenhang mit dem logarithmischen Term für den Samenfeuchtigkeitsgehalt der Lebensfähigkeitsgleichung zu, jedoch hielt ihn für zu schwach um durch den Ölgehalt die Unterschiede in der Konstante C_w der verschiedenen Arten zu erklären. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen jedoch, dass der Ölgehalt einen weitaus größeren Einfluss auf das Alterungsverhalten der ölreichen Samen hat. Deshalb wurde der Samenölgehalt in die Lebensfähigkeitsgleichung aufgenommen. Dies erfolgte in verschiedenen Formen, die der Lebensfähigkeitsgleichung nahe lagen.

Durch diese Aufnahme des Samenölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung wurde eine bessere Übereinstimmung der Vorhersagen und der Versuchsergebnisse erwartet. Nach der Überprüfung der Vorschläge auf die Qualität ihrer Vorhersagen wurde der beste Vorschlag ausgewählt. Weiterhin wurden für alle Vorschläge die artspezifischen Konstanten K_E und C_w aber auch die neuen Ölkonstanten C_G , C_{G1} und C_{G2} bestimmt und die Schätzwerte der Vorschläge gegenüber den Vorhersagen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung und untereinander verglichen.

Bevor nun die erzielten Ergebnisse der Untersuchungen diskutiert werden sollen, ist es an dieser Stelle angebracht, den Zusammenhang zwischen Alterung und Ölgehalt sowie Feuchtigkeitsgehalt der Samen aus biochemischer und physiologischer Sicht etwas näher zu erörtern. Ferner werden die Methodik der Untersuchungen dieser Arbeit und ihre möglichen Einflüsse auf die Ergebnisse und schließlich die Ergebnisse selbst diskutiert.

4.1 Biochemische und physiologische Aspekte bei der Alterung von ölreichen Samen

Aus physiologischer Sicht spielt der Embryo als lebendiger Teil des Samens mit seinem Achsensystem eine besondere Rolle. Das Achsensystem ist bei der Keimung für die Initiierung der Enzymaktivitäten und damit für den Keimungsstoffwechsel in den verschiedenen Samengeweben zuständig. Jede Funktionsstörung des Achsensystems hat für den gesamten Samen fatale Folgen wie Schwächung, Anomalie oder sogar das Absterben des Keimlings. Diese Funktionsstörungen der Achsensysteme im Zuge der Alterung wurden mittlerweile in zahlreichen Studien belegt. Diese werden unter 4.6 ausführlich vorgestellt.

Biochemisch betrachtet unterliegt das Samenöl während der Lagerung einer Veränderung. Seine Zusammensetzung ändert sich während der Lagerung in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und trägt dadurch zur Alterung bei. In der letzten Zeit berichteten zahlreiche Studien über unterschiedliche Zusammenhänge zwischen Alterung und Änderung der Sameninhaltstoffe, darunter Bestandteile des Samenöles (siehe 4.7). Dass schlechte Lagerungsbedingungen wie hohe Temperatur, Feuchtigkeit, und hoher Sauerstoffgehalt im Lager bei ölreichen Samen die biologischen und biochemischen Änderungen in den Samen beschleunigen und dadurch diverse irreversible Funktionsstörungen hervorrufen, wurde in mehreren Studien festgestellt. ANDERSON (1973) zitierte aus verschiedenen Arbeiten unter anderem eine Zunahme der freien Fettsäuren und Abnahme der natürlich vorkommenden Fette während der Alterung der Samen.

WILSON und MCDONALD (1986) halten bei gequollenen Samen unter anderem die Peroxidation der Lipide für die Alterung der Samen für mitverantwortlich. Sie berichten von einer Reihe umfassender direkter und indirekter Auswirkungen der Lipidperoxidation durch einen sogenannten Gleichgewichtsfluss der freien Radikalen während der Alterung, die durch eine Anhäufung co-oxidativer Schäden und oxidierter Fettsäuren und deren enzymatischem Abbau in Erscheinung treten. KHAN *et al.* (1996) fanden einen engen Zusammenhang zwischen der Lipidperoxidation, der freien Radikale-Akkumulation und dem Keimfähigkeitsverlust bei Sojabohnen bei einer beschleunigten Alterung über 69 Tage, allerdings keinen Zusammenhang bei einer Langzeit- Alterung über 6 Jahren. SATTLER *et al.* (2004) schrieben über negative Auswirkung der Lipidperoxidation auf die Lebensfähigkeit der Samen und über die davor schützende Wirkung von Antioxidantien wie Tocopherol (Vitamin E). SMITH und CREELMAN (2001) bestätigten die schützende Wirkung von

Tocopherol gegen Verletzung der Zellmembran durch freie Radikale und Oxidation des Öles von Baumwolle (*Gossypium hirsutum* L.). Was den Feuchtigkeitsgehalt betrifft, befinden sich normalerweise die Samen während der Lagerung nicht im gequollenen Zustand, jedoch ist anzunehmen, dass bei niedrigeren Feuchtigkeitsgehalten nur eine gewisse Milderung dieser Schädigungs- und Alterungsprozesse zu erwarten ist. Ganz sind diese Prozesse nicht auszuschließen. HARRINGTON (1973) stellte einen Zusammenhang zwischen der Lipidperoxidation und Beschädigungen der Zellmembranen fest, die durch freie Radikale verursacht worden waren. CHIU *et al.* (2002) berichteten von dem Zusammenhang zwischen der Zunahme der Lagerungstemperatur und des Samenfeuchtigkeitsgehalts und der Zunahme der Lipidperoxidation bei Maissamen. KOOSTRA und HARRINGTON (1969) berichteten, dass eine Art Autoxidation zur Produktion von freien Radikalen aus den ungesättigten Fettsäuren beitragen solle. VIERLING und TEKRONY (1999) untersuchten wiederum bei verschiedenen langen Lagerungsexperimenten mit Sojabohnen den Zusammenhang zwischen der Peroxidase-Aktivität, den unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten (9 % bis 13 %) und der Lagertemperaturen (10 °C bis 40 °C). Sie stellten einen Einfluss der Zunahme der Temperatur auf die Abnahme der Peroxidase-Aktivität fest, und keinen des Feuchtigkeitsgehalts.

.Aus physiologischer Sicht beschränkt sich die Wirkung des Öles bei der Alterung der ölreichen Samen in erster Linie auf die Peroxidation der Membran-Lipide und die Änderung der Fettsäurezusammensetzungen der Speicherfette, die, wie oben bemerkt im Mittelpunkt des Interesses vieler wissenschaftlichen Studien liegt. Aber der Hauptanteil des Öles, der bei dieser Arbeit primär in Frage kommt, befindet sich in Zellorganellen und wird durch eine Zellmembran geschützt und durch ihre hydrophobe Eigenschaft im negativen Zusammenhang mit Samenfeuchtigkeitsgehalt die Alterung der ölreichen Samen beeinflusst.

Es ist so zu verstehen, dass 10 % Gesamtfeuchtigkeitsgehalt in einem ölreichen Samen mit 50 % Ölgehalt einen Feuchtigkeitsgehalt von 20 % im fettfreien Anteil bedeutet. Das erklärt die höhere Bedeutung des Feuchtigkeitsgehaltes der ölreichen Samen im Zuge der Alterung gegenüber den ölrärmeren Samen.

Bei den ölreichen dikotylen Samen wird das Öl sowohl in Kotyledonen als auch im Achsensystem gespeichert, wobei der Hauptanteil sich in den Kotyledonen befindet WERKER (1997). Bei den monokotylen Samen der Gramineen findet man das Öl in der Embryoanlage und im Aleuron (POMERANZ und MACMASTERS 1968). STRASBURGER *et al.* (1983) schrieben, dass das Öl im endoplasmatischen Reticulum der Embryo-Zellen in

tröpfchenförmigen Lipidvacuolen (Sphärosom) vorkommt. Im Kotyledon schwankt die Anzahl an Lipidvacuolen pro Zelle von sehr selten in Epidermis und Sub- Epidermis bis hin zu zahlreich in den inneren Mesophyll- Zellen. DAWIDOWICZ-GRZEGORZEWSKA und PODSTOLSKI (1992) stellten bei Rapssamen fest, dass mit dem Verlust der Keimfähigkeit der Gehalt an Phospholipiden sinkt und der Phosphorgehalt steigt, und dass die kleinen Lipidvakuolen sich zu großen Einheiten zusammenschließen, was auf Funktionsstörungen und Zerstörung der semipermeablen Membranen hindeutet.

Aus anderer Perspektive lässt der Zusammenhang zwischen dem Samenfeuchtigkeitsgehalt, dem Samenölgehalt (ELLIS 1988), der Hydrophobie des Öles und der hohen Anzahl an Lipidvacuolen in den inneren Mesophyll- Zellen im Vergleich zu Epidermis- und Subepidermis-Zellen (WERKER 1997) folgende drei wichtigen Annahmen zu:

1. Der Gehalt der für die physiologischen Aktivitäten der ölreichen Samen wichtigen Feuchtigkeit bei der Lagerung in derselben relativen Luftfeuchtigkeit steht in negativem Zusammenhang mit dem Ölgehalt der Samen.
2. Der Feuchtigkeitsgehalt befindet sich vollständig im fettfreien Samenteil, und er nimmt von den inneren über die äußeren Mesophyll- Zellen bis hin zu den Sub- Epidermis und Epidermis- Zellen zu.
3. Bei ölreichen Samen ist die Gefahr einer schnelleren Alterung durch Beschädigung der Epidermis und Subepidermis, die als Schutzgewebe der Samen fungieren, entsprechend ihrem Ölgehalt größer als bei nicht ölhaltigen Samen.

Insgesamt betrachtet deuten die biochemischen Änderungen des Samenöles und besonders die Auswirkungen des Samenölgehalts auf die physiologischen Auswirkungen des Feuchtigkeitsgehalts auf einen weitaus größeren Einfluss des Ölgehalts auf die Alterung der ölreichen Samen hin als den bisher angenommenen negativen Zusammenhang mit dem Samenfeuchtigkeitsgehalt (ELLIS 1988).

4.2 Die Methodik der Alterungsversuche bei der Bestimmung der Konstanten

Die Bestimmung der artspezifischen Konstanten der Lebensfähigkeitsgleichung war in den letzten Jahrzehnten das Thema zahlreicher wissenschaftlicher Studien. Die Untersuchungen zum Alterungsverhalten der Samenpartien unterschieden sich grundsätzlich in der Dauer der

Alterungsversuche. Man kann diese Alterungsversuche unabhängig von ihrem Ziel in zwei Hauptgruppen unterteilen: die Langzeitalterung (ELLIS und ROBERTS 1980a,b, KRAAK und VOS 1986, PINZINO *et al.* 1999, KRISHNAN *et al.* 2004) und die beschleunigte Alterung (PARKES *et al.* 1990, BERNAL- LUGO, LEOPOLD 1995, MCDONOUGH *et al.* 2004 und TEKRONY 2005), die bei unterschiedlichen Temperaturen und Feuchtigkeitsgehalten durchgeführt werden. Die Alterungsversuche zur Bestimmung der Konstanten der Arten Raps, Sonnenblume, Lein wurden bei einer Temperatur von 65 °C und unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten von 2 bis 16 % (ELLIS 1988; ELLIS *et al.* 1989), und Mais unter Freiland- Bedingungen (PARKES *et al.* 1989) durchgeführt. Was die Auswahl der zu untersuchenden Samenpartien angeht, hat man meistens mit einer Samenpartie pro Art unter verschiedenen Lagerbedingungen gearbeitet. Diese Arbeit unterscheidet sich von den bisherigen Arbeiten grundsätzlich darin, dass mehrere Sorten pro Art mit unterschiedlichen Ölgehalten bei einheitlicher Temperatur durch das beschleunigte Alterungsverfahren gealtert wurden. Die Temperatur wurde vereinfachend konstant gehalten. Die Übernahme der Temperatur-Konstanten aus den vorherigen Studien für diese Studie hat einige Konsequenzen bei der Bestimmung der Konstanten, die in 4.5.2 diskutiert werden.

4.3 Das gespeicherte Öl im Achsensystem und die Alterung der Samen

Bei der Untersuchung des Einflusses des Ölgehaltes auf das Alterungsverhalten von Samen werden üblicher Weise die Öl- und Feuchtigkeitsgehalte der gesamten Samen bestimmt. Dieses Vorgehen berücksichtigt jedoch nicht, dass Samen verschiedene Gewebe enthalten, die unterschiedliche Ölgehalte und auch unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte besitzen und auch für den Erhalt der Keimfähigkeit während der Lagerung von unterschiedlicher Bedeutung sind. Augenfällig wird dies, wenn die tote Frucht- und Samenschale mit niedrigem Ölgehalt den lebenden Speicherkotyledonen mit hohen Ölgehalten gegenübergestellt wird. Da Sonnenblumen sehr starke Sortenunterschiede im Ölgehalt zeigen und die Samen für eine Zerlegung in einzelne Gewebe hinreichend groß sind, wurde hier eine Untersuchung der Samenbestandteile, nämlich Pericarp, Kotyledonen und Achsensysteme, vorgenommen. Besonderes Augenmerk erlangt hierbei das Achsensystem, da Schädigungen hier unmittelbar zu Keimlingsanomalien führen oder gar ein völliges Ausbleiben der Keimung bewirken, auch wenn Kotyledonen noch nicht geschädigt sein sollten.

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich aus den Ergebnissen ziehen:

Fasst man die Aussagen der beiden Tabellen 3.1a und 3.1b zusammen, ist festzustellen, dass mit Steigen des Ölgehalts der Feuchtigkeitsgehalt aller drei SamenkompONENTEN abnimmt. Die Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes steht mit dem Pericarp-Anteil im positiven und mit den Anteilen an Kotyledonen und Achsensystem in negativem Zusammenhang.

In den Alterungsversuchen aus Kapitel 3.2 wurde das Öl, welches sich im Achsensystem befindet, als entscheidender Faktor bei der Alterung der Samen betrachtet. Das Achsensystem setzt sich aus Sprosssystem und Wurzelsystem zusammen. Viele Änderungen an den Bestandteilen des Achsensystems stehen im Zusammenhang mit der Samenalterung, wie bereits in zahlreichen Studien erwähnt (siehe 3.1). Nach den ISTA-Vorschriften für die Keimlingsbeurteilung (International Rules for Seed Testing, 2006) bedeutet die Beschädigung des Achsensystems für die Samen eine Keimlingsanomalie oder sogar gleich den Tod. Macht man also den Ölgehalt der Samen für ihre schnellere Alterung verantwortlich, wird die Rolle des Ölgehalts des Achsensystems umso wichtiger. Deshalb wurde in 3.1 die Auswirkung des Ölgehalts des Achsensystems auf die Alterung der Samen untersucht.

Die Ergebnisse der Alterungsversuche in Tabelle 3.2 zeigten einen positiven Zusammenhang zwischen Alterungsgeschwindigkeit und dem Ölgehalt der Samen. So wies z. B. die Sorte Cadasol trotz niedrigster Ausgangskeimfähigkeit von 80 % aufgrund ihres niedrigen Ölgehalts von 28,2 % eine deutlich geringere Alterungsgeschwindigkeit. Hingegen sagte die Lebensfähigkeitsgleichung bei 6% Feuchtigkeitsgehalt im Achsensystem für die Sorte Sunny mit dem höchsten Ölgehalt von 48,3 % eine niedrigere Alterungsgeschwindigkeit voraus, obwohl diese Sorte am schnellsten alterte.

Dies kommt dadurch zustande, dass die Vorhersagen der Lebensfähigkeitsgleichung für den Keimfähigkeitsverlust mit den jeweiligen Samenfeuchtigkeiten zusammenhängen, und bei ölreichen Samen mit Zunahme des Ölgehaltes der Feuchtigkeitsgehalt abnimmt. Der Feuchtigkeitsgehalt von 6 % im Achsensystem wurde bei Cadasol mit 6,4 %, bei Candisol mit 6,6 % und bei Sunny mit 5,6 % Feuchtigkeitsgehalt im ganzen Samen erreicht, und deshalb wurde die Alterungsgeschwindigkeit der Sorte Sunny höher geschätzt, als von den anderen Sorten. Aufgrund der kleinen Samengröße der Arten Raps und Lein wurde hier auf die Präparation des Achsensystems verzichtet und dafür die Gleichgewichtsfeuchtigkeitsgehalte für 65,5 % rel. Luftfeuchtigkeit eingestellt. Diese Art der

Feuchtigkeitseinstellung für die Alterungsversuche ist der praktischen Lagerung etwas näher, da in den Lagerräumen sich bei langfristiger, offener Lagerung Samenfeuchtigkeitsgehalte einstellen, die mit der jeweiligen rel. Luftfeuchtigkeit im Gleichgewicht stehen. CHRISTENSEN und MERONUCK (1986) hatten z. B. rel. Luftfeuchten von unterhalb von 65 - 70 % bzw. eine Wasseraktivität von 0,65 - 0,7 vorgeschlagen, um eine sichere Lagerung zu gewährleisten. Man geht davon aus, dass die Samenpartien einer Art, die mit einer einheitlichen rel. Luftfeuchtigkeit im Gleichgewicht stehen, ähnlich lang gelagert werden können. Deshalb wurden die notwendigen Feuchtigkeitsgleichgewichtsisothermen bestimmt (Abb. 3.1). Die Ergebnisse aus dem Kapitel 3.2 bestätigen den Zusammenhang zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Samen und dem Ölgehalt innerhalb einer Art bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65,5 %. Diese Ergebnisse widersprachen der Hypothese von CHRISTENSEN und MERONUCK (1986), und zeigten bei ölreichen Samenarten trotz teilweise sehr nah liegender Samenfeuchtigkeitsgehalte, aufgrund unterschiedlicher Samenölgehalte wie bei Raps von 38,9 bis 49,5 % und bei Lein von 35,5 bis 43,3 % unterschiedliche Alterungsgeschwindigkeiten.

Die große Feuchtigkeitsspanne wurde bei den Samenpartien von Raps und Lein, die mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65,5 % gealtert wurden, nicht erreicht, und dabei wurde für sie nur die Feuchtigkeitsgehalte von 7,4 bis 9 % bzw. 7,7 bis 9,1 % eingestellt. Das bedeutet, um eine breite Spanne an Feuchtigkeitsgehalt für die Samen einzustellen, dass man die Samenpartien unter verschiedenen relativen Luftfeuchten altern sollte. Dies hat aber einen größeren Arbeitsaufwand zur Folge, als die Einstellung des einheitlichen Samenfeuchtigkeitsgehaltes für die Samenpartien.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse des Versuches mit der Betrachtung des Ölanteils des Achsensystems anstelle des Ölgehalts des ganzen Samens keinen bemerkenswerten Einfluss auf die Alterung der Samen. Bei den Alterungsversuchen mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65,5 % verlief die Alterung der Proben ähnlich schnell, vor allem ähnlicher als bei einem einheitlichen Samenfeuchtigkeitsgehalt von z.B. 8 %. Diese Versuchsergebnisse waren unter anderem der Wegweiser für die Alterungsversuche, die im Kapitel 3.3. beschrieben sind. Zwar konnte ein Zusammenhang zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Achsensysteme und der Alterung bzw. dem Samenölgehalt und der Alterungsgeschwindigkeit der Samen bei 65,5 % relativer Luftfeuchtigkeit festgestellt werden (Abb. 3.2a), jedoch wurden diese Methoden aus zwei Gründen nicht für die Alterungsversuche des Kapitels 3.3 verwendet. Erstens wurde festgestellt, dass die Fehler,

die während der Präparation des Achsensystems besonders bei kleinsamigen Arten wie Raps und Lein auftraten (Daten wurden nicht gezeigt), wesentlich größer ausfallen als die erwarteten Gewichtsunterschiede während der Feuchtigkeitsgehaltsbestimmung. Zweitens mag es sein, dass der Alterungsversuch bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwar praxisorientierter war, die Methode jedoch für die Bestimmung der artspezifischen Konstanten nicht besonders geeignet ist. Dies bestätigten unter anderen ELLIS (1988), ELLIS *et al.* (1989) und HONG *et al.* (1996).

4.4 Der Ölgehalt und die Alterung der Samen

ROBERTS (1960) definierte das Alterungsverhalten der Samen als ein Absterben der Samen entsprechend einer sigmoiden Kurve, die durch verschiedene Umweltfaktoren verschoben oder gestreckt bzw. gestaucht wird. Um die sigmoide Kurve für den Alterungsverlauf einer Samenpartie vorhersagen zu können, müssen die Alterungsverläufe von Samenpartien unter verschiedenen Umweltbedingungen bekannt sein. Da bei den Versuchen dieser Arbeit die Temperatur konstant bei 45 °C festgesetzt wurde, war eine Variation der Feuchtigkeitsgehalte für die Erzeugung der verschiedenen Umweltbedingungen umso wichtiger. Anhand dieser Überlegung und mit Hilfe der Vorhersagen der Lebensfähigkeitsgleichung für die verschiedenen Lagerungsbedingungen wurden die Feuchtigkeitsgehalte von 6, 8 und 10 % für die verschiedenen Partien wie aus Tabelle 2.1 ersichtlich eingestellt.

Der Vergleich der Steigung aus den ins Probit-Netz transformierten Keimfähigkeitsverlusten mit der Vorhersage der verbesserten Lebensfähigkeitsgleichung aus Tabelle 3.3 bestätigte, dass die Vorhersagen der Lebensfähigkeitsgleichung nicht ausreichend die Versuchsergebnisse widerspiegeln.

Bei den Werten aus Tabellen 3.4 und 3.5 lagen einige der Vorhersagen der Lebensfähigkeitsgleichung für die Partien jeder Art innerhalb der Konfidenzintervalle der Versuchsergebnisse, z. B. bei Raps bei einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 6 % lagen die Vorhersagen für alle Partien und bei 8 % und 10 % jeweils für 3 Partien innerhalb der Konfidenzintervalle der Versuchsergebnisse. Es kann evtl. dadurch zustande kommen, dass für die Bestimmung der artspezifischen Konstanten eine Sorte mit den gleichen samenspezifischen Eigenschaften wie die bei dieser Arbeit untersuchten Sorten eingesetzt wurde. Ebenso könnte es sich um die ähnliche Auswirkung der Versuchsbedingungen insgesamt auf die bestimmten Sorten bei der jeweiliger Arbeit, und dieser Arbeit handeln.

Allerdings lässt sich dies nicht überprüfen, weil in den Studien für die Bestimmung der artspezifischen Konstanten keine Angaben über den Ölgehalt der verwendeten Partien gemacht wurden.

4.5 Aufnahme des Ölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung und Überprüfung des Aussagevermögens der neuen Modelle

Die Ergebnisse der Lagerungsversuche haben klar gezeigt, dass die Variationen im Ölgehalt innerhalb der Arten so gravierende Auswirkungen auf die Alterung haben, dass die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung zu Fehlvorhersagen führen muss. Da der Ölgehalt des Saatguts eine stark sortenspezifische Eigenschaft ist, könnte natürlich eine partiespezifische Bestimmung der Konstanten K_E , C_W , C_H und C_Q den Ölgehalt hinreichend berücksichtigen und so einen Ausweg darstellen. Dies würde jedoch einen enormen Untersuchungsaufwand nach sich ziehen, so dass Alternativen zu suchen waren. Es wurde deshalb die Strategie verfolgt, den Ölgehalt als Faktor in die Gleichung aufzunehmen. Hierbei sollte geprüft werden, ob ein dann festgestellter Einfluss des Ölgehaltes jeweils artspezifisch ist oder ob die Wirkung des Öls an sich artunspezifisch ist und damit der Ölgehalt eine Art-übergreifende einheitliche Wirkung auf die Alterung hat.

Zuvor ist jedoch die Frage zu klären, an welcher Stelle und wie der Samenölgehalt in die Lebensfähigkeitsgleichung eingefügt werden kann. Mathematisch betrachtet bestehen viele Möglichkeiten. Richtschnur war zunächst die Tatsache, dass die bisherigen Lagerungsfaktoren, nämlich der Feuchtigkeitsgehalt und die Temperatur, als getrennte Komponenten additiv in die Gleichung eingehen (siehe Abb. 1.1b). Dem folgend wurde auch in den Vorschlägen 1, 2, und 3 (siehe Abb. 3.11) der Samenölgehalt als additive Komponente mit zu ermittelnden Gewichtungsfaktoren (=Konstanten) in die Gleichung aufgenommen. Als Ergänzung dazu wurde in Vorschlägen 4 und 5 (siehe Abb. 3.11) aufgrund der hydrophoben Eigenschaft des Öls der Ölgehalt in den Feuchtigkeitsterm integriert. Hierdurch wird der für den gesamten Samen bestimmte Feuchtigkeitsgehalt auf den Feuchtigkeitsgehalt in der fettfreien Frischmasse unter der Annahme umgerechnet, dass sich in dem Ölanteil der Samen kein Wasser befindet. Mit diesen Vorschlägen sollte geprüft werden, ob die Wirkung des Öls auf die Alterung praktisch alleinig durch die hydrophoben Eigenschaften herrührt. Falls diese Vorschläge keine Verbesserung der Lebensfähigkeitsgleichung erbringen würden oder doch zumindest hinter den Vorschlägen 1, 2 oder 3 zurückblieben, wäre dies ein Hinweis darauf, dass auch Wirkungen z. B. der

Ölzusammensetzung oder auch der Funktionalität von z.B. Membranlipiden in der Lebensfähigkeitsgleichung Niederschlag finden müssen, um die Bedeutung des Ölgehaltes vollständig zu erfassen. Durch die Kombination der beiden Ansätze in den Vorschlägen 7 und 8 (siehe Abb. 3.11) sollte abschließend geprüft werden, welche Genauigkeit der Vorhersage bei umfangreichster Berücksichtigung des Ölgehaltes erreicht werden kann.

In Tabelle 3.8 zeigen die niedrigeren Fehlerquadratsummen der Vorschläge gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung, dass die Aufnahme des Ölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung eine Verbesserung der Vorhersagen im Vergleich zur alten Lebensfähigkeitsgleichung gebracht hat. Es kann sogar festgestellt werden, dass die Unterschiede zwischen den Vorschlägen relativ klein sind im Vergleich zu ihren Unterschieden zur alten Lebensfähigkeitsgleichung. In dieser Situation ist natürlich das Modell, welches die niedrigste Anzahl and Gewichtungsfaktoren („Konstanten“) hat, relativ zu bevorzugen. Somit kann Vorschlag 4 bereits eine Bevorzugung zugesprochen werden.

Weiters erhebt sich nun die Frage, ob die Wirkung des Ölgehaltes auf die Alterung bei allen Arten quantitativ in ähnlicher Weise erfolgt, so dass die Konstanten, die den Ölgehalt gewichten, als artunspezifisch angesehen werden können. Die drei gewählten Modelle „artspezifisch“, „Öl-artspezifisch“ und „artunspezifisch“ ermöglichen, eine Antwort auf diese Frage zu bekommen.

Die artunspezifische Aufnahme des Ölgehalts würde dem Samenölgehalt größte Bestimmungskraft zuweisen, und hätte für die praktischen Vorhersagen der Lagerfähigkeit den Vorteil, dass die notwendigen Konstanten nur einmal für alle ölreichen Arten bestimmt werden müssten. Damit könnte man sich auch die zeitaufwendigen Versuche für die Bestimmung von artspezifischen Konstanten ersparen. Sie beinhalten somit die Hypothese, dass durch die Aufnahme des Ölgehaltes keine bedeutsamen Artunterschiede mehr bestehen und alle Arten mit einer Gleichung und einem Satz an Konstanten behandelt werden können. Bei der Regressionsanalyse haben zwar die artunspezifischen Modelle konvertiert, erzielten aber keine Verringerung der Fehlerquadratsummen gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung, sondern eher eine Verschlechterung (Tab. 3.12). Das zeigt, dass das Samenöl offensichtlich doch in verschiedenen Arten in unterschiedlichem Grad die Alterung beeinflusst. Weiterhin scheinen auch die übrigen möglichen Einflussfaktoren wie Proteingehalt, physiologischer Zustand, Membranintegrität, genetischer Zustand u. ä. offensichtlich nicht vernachlässigbar zu sein. Deswegen wurde bei den weiteren Analysen auf das artunspezifische Verfahren verzichtet, und nur die beiden

anderen Verfahren miteinander und mit der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung verglichen.

Im Gegenteil zu den artunspezifischen war bei der artspezifischen Aufnahme des Ölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung bei allen Modellen, wie aus Tabelle 3.8 erkennbar ist, eine deutliche Verbesserung der Fehlerquadratsummen festzustellen. Diese Verbesserung ist so zu interpretieren, dass durch die Aufnahme des Ölgehalts sich die sigmoiden Kurven deutlich besser den Versuchsergebnissen annähern konnten, als die nach der alten Lebensfähigkeitsgleichung. So passten die Vorhersagen der Vorschläge besser in die Konfidenzintervalle der Versuchsergebnisse. Dadurch ist eine Verbesserung der Vorhersagequalität der Alterungsgeschwindigkeit der Samenpartien zu erreichen.

Bei der „Öl- artunspezifischen“ Aufnahme des Ölgehalts in die Lebensfähigkeitsgleichung hatten zwar nicht alle Vorschläge konvertiert. Wo sie aber konvertierten, zeigte sich eine Verbesserung der Fehlerquadratsummen gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung (Tab. 3.10). Diese Ergebnisse deuten auf eine artübergreifende Auswirkung des Ölgehalts auf die Alterung der Samen. Dazu zeigten sie, dass die Aufnahme des Ölgehalts der Partien in Form von den „Öl- artunspezifischen“ Vorschlägen 1, 3, 4 und 5 in der Lebensfähigkeitsgleichung genügend das Alterungsverhalten der ölreichen Samen erklären können. Ein direkter statistischer Vergleich dieser beiden Verfahren war aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an unbekannten Faktoren nicht möglich, aber die Vorschläge der „Öl- artunspezifischen“ Modelle haben gegenüber den artspezifischen Modellen den Vorteil, den Zeitaufwand für die Bestimmung der Ölkonstanten deutlich zu verringern, weil für alle untersuchten Arten nur einmal die Ölkonstanten zu bestimmen sind.

4.6 Auswahl des besten Modells

4.6.1 Vergleich zwischen Modellen

Jede Vorhersage beabsichtigt die genauesten Angaben über einen Vorgang vorherzusagen. Die Anforderung an genaue und zuverlässige Vorhersagen einerseits und Arbeitsaufwand zur Bestimmung von Öl - bzw. artspezifischen Konstanten andererseits, sind zwei Kriterien für die Auswahl des besten Vorschlags als Ersatz für die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung. Die Vorschläge 1,3,4 und 5 in artspezifischen und „Öl- artunspezifischen“ Modelle haben zweifellos bei der Regressionsanalyse eine signifikante Verbesserung der Fehlerquadratsummen gegenüber der Lebensfähigkeitsgleichung erzielt. Damit zwischen diesen Vorschlägen in beiden Modelle eine Auswahl getroffen werden kann,

müssten sie zuerst auf ihre Vorhersagegenauigkeit geprüft werden, und dann der notwendige Arbeitsaufwand mit dem bei der Bestimmung der Konstanten verglichen werden. Bei den statistischen Auswertungen besaß der artspezifische Vorschlag 1 mit zwei Ölkonstanten c_{G1} und c_{G2} die niedrigsten Fehlerquadratsummen, und ist dadurch als minimal genauer zu bewerten, als die Vorschläge 3 und 5 mit einer Ölkonstante c_G oder der Vorschlag 4 ohne Ölkonstante (Tab. 3.8), ist aber aufgrund der Anzahl an zu bestimmenden Konstanten bei der Bearbeitung deutlich aufwendiger. Die Prüfung des Aussagevermögens der Vorschläge innerhalb der Modelle erfolgte durch das Vergleichen der Steigungen der Probitgeraden aus Versuchsergebnissen, und den geschätzten Steigerungen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung und der Vorschläge 1, 3, 4, und 5 (Tab. 3.13).

In Tabelle 3.13 ist in erster Linie eine bessere Schätzung der Steigungen der Probitgeraden aus den Versuchsergebnissen durch alle Vorschläge gegenüber der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung zu verzeichnen. Die Vorschläge der beiden Modelle artspezifisch und öl artunspezifisch lieferten ähnliche Schätzwerte für die Partien jeder Art.

Aus diesen Ergebnissen ist festzuhalten, dass die Vorschläge 4 und 5 entsprechend des Ölgehalts der Partien innerhalb der Arten eine breitere Spanne an Alterungsgeschwindigkeit einschätzten, und damit lagen bei beiden Modelle besser bei der Schätzung der Alterungsgeschwindigkeit der Partien mit niedrigen Ölgehalten von Raps und Sonnenblumen und schlechter bei hohen Ölgehalten von Sonnenblume und Mais. Die aufgetretenen Abweichungen der beobachteten Alterungsgeschwindigkeiten könnten durch unterschiedliche Effekte aufgetreten sein, z. B.: der unterschiedlichen Zuchtform der Partien wie Raps-Liniensorten Wotan, Licolly, Licosmos und Evita, hygienische Probleme wie Pilzbefall der Sonnenblumensorte Barollo, oder unterschiedliche ökologische Abstammung der Sorten wie die aus wärmeren Klimaten der USA stammenden Maissorten Ilo und Iho. Es ist zu erwähnen, dass die sonstigen Eigenschaften der Samen außer Ölgehalt bei dieser Studie nicht untersucht wurden. So könnte auch über ihren Einfluss auf die Alterungsgeschwindigkeit der ölreichen Samen keine konkrete und statistisch abgesicherte Aussage getroffen werden.

Validierungsversuche

Desweiteren wurde die Aussagegenauigkeit der 4 Vorschläge 1, 3, 4 und 5 mit einem Validierungsdatensatz mit einer längeren Lagerungsdauer von 90 Tagen geprüft. Die verfügbare Saatgutmenge erlaubten nur drei Entnahmen an den Tagen 0, 45 und 90. Diese Anzahl an Entnahmen reichte, die Steilheit der Probitgerade für Validierungszwecke hinreichend genau zu bestimmen. Aufgrund der niedrigen Lagertemperatur von 32 °C wurden zum Teil sehr flache Steigungen der Probitgeraden festgestellt, die sich fallweise nicht signifikant von 0 unterscheiden. Demzufolge lieferten die Vorschläge die Schätzwerte, die die Alterungsgeschwindigkeit der Partien überwiegend überschätzten. Nicht desto trotz lieferten die Vorschläge trotz Verwendung der alten Temperaturkonstanten immerhin einige in den Konfidenzintervallen der Steigungen aus den Versuchsergebnissen passende Schätzwerte. Obwohl bei diesen Werten kein Zusammenhang mit dem Ölgehalt der Samen zu erkennen ist, zeigten die Ergebnisse aber, dass nach weiteren Validierungsversuchen und Ermittlung der neuen Temperaturkonstanten eine Verwendung der neuen Lebensfähigkeitsgleichung für unterschiedliche Umweltbedingungen möglich ist. Was den Vergleich zwischen Modellen betrifft, lieferten beiden „artspezifischen“ und „öl- artunspezifischen“ Modelle relativ ähnliche Vorhersagen, und es gab bei Raps leicht bessere Treffsicherheit der „Öl- artunspezifischen Modelle. Was dabei interessant ist, ist das Ergebnis für die drei Rapspartien Wotan, Licolly und Licosmos, bei denen für die Alterungsversuche bei 45 °C die Alterungsgeschwindigkeit von allen 4 Vorschlägen in beiden Modellen unterschätzt, bei Validierungsversuche aber richtig geschätzt wurde. Dies deutet darauf hin, dass die Schätzwerte bei diesen Lagerungsbedingungen nur dann stimmen, wenn die Partien schneller altern, als von ihren Ölgehalten her zu erwarten ist. Bei allen anderen Arten verhalten sich die Modelle mehr oder weniger identisch. Die Qualität der Vorschläge innerhalb der Modelle sind denen der Alterungsversuche sehr ähnlich.

Wie stark die Temperatur den Ausgang der Alterungsversuche bei der Bestimmung der artspezifischen Konstanten beeinflusst, berichteten HUNG *et al.* (2001). Sie stellten bei Alterungsversuchen mit Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bei drei verschiedenen Temperaturbehandlungen: konstante, effektive und Wechsel- Temperaturen den Zusammenhang zwischen Feuchtigkeitsgehalt und Temperatur fest, und meinten, dass die Keimfähigkeitsverlust im Probit von den momentanen Lagerungsbedingungen abhängt und nicht von der Temperaturbehandlung an sich.

Über den Einfluss der unterschiedlichen Temperaturen bei der Bestimmung der artspezifischen Konstanten berichteten USBERTI und GOMES (1998), indem sie bei der Bestimmung der artspezifischen Konstanten für Erdnuss bei unterschiedlicher Temperatur, wie die von ELLIS *et al.* (1986), unterschiedliche artspezifische Konstante vorgeschlagen haben. Dies könnte auch die Ungenauigkeit der Vorhersagen der neuen Vorschläge bei der Validierungsversuche erklären. Wobei die Alterungsversuche für die Bestimmung der artspezifischen Konstanten nur bei einer Temperatur durchgeführt wurden.

4.6.2 Die Auswahl des besten Vorschlags und die Überprüfung durch Validierungsversuch

Anhand der Fehlerquadratsummen, die für die Vorschläge bei Verwendung in den „artspezifischen“ und den „Öl- artunspezifische“ Modellen ermittelt wurden, zeigt sich kein Vorschlag als besonders überlegen. So können auch zwischen den beiden Strategien „zusätzlicher additiver Öl- Term“ und „Einbindung in den Feuchtigkeitsterm“ keine verwertbaren Unterschiede festgestellt werden. Die beobachteten Unterschiede zwischen den Fehlerquadratsummen sind im Vergleich zu den Fehlerquadratsummen bei Anwendungen der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung als marginal zu bewerten.

Was in dieser Situation aber den Vorschlag 4 als deutlich vorteilhafter auszeichnet, ist die Tatsache, dass hier keine Bestimmung einer weiteren Konstante erforderlich ist, die ja durch ihren Standardfehler potentiell zu einer Verringerung der Präzision einer Vorhersage beitragen könnte:

$$v = K_i - p \cdot \frac{1}{10^{K_E - C_w \log\left(\frac{100 \cdot SFG}{(100 - Oel)}\right) - C_H T - C_Q T^2}}$$

4.7 Fettsäuren und die Samenalterung

Der Same besteht aus verschiedenen Inhaltsstoffen wie Kohlenhydrate, Eiweiß, Mineralien, Wasser, Enzyme, Öl und diversen anderen Stoffen. In zahlreichen Studien wurde bereits der Zusammenhang zwischen der Alterung der Samen und den verschiedenen Sameninhaltsstoffen berichtet, die in unterschiedlicher Weise direkt oder indirekt den Alterungsprozess der Samen beeinflussen. Die beobachteten Zusammenhänge zwischen dem Samenöl und dessen Komponenten stimmen teilweise mit den Ergebnissen dieses Abschnittes überein..

ANDERSON (1973) hat auftretende Änderungen in den Samen während der Alterung in drei Gruppen geteilt: grundlegende Änderungen, darunter zitierte er hauptsächlich die Zunahme der freien Fettsäuren und anorganischen Phosphate und die Abnahme der natürlichen Fette, Phospholipide, löslichen Zucker und Proteine, die Änderungen der Enzymaktivitäten und Änderungen des Stoffwechsels.

PERL *et al.* (1978) berichteten über Änderung der Enzym- Aktivitäten besonders die Zunahme der Proteinase während der beschleunigten Alterung von Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). ROBERTS (1973b) schrieb über die Schädigung an den Bestandteilen des Zellkerns bei Salat (*Lactuca sativa* L.), die als Chromosom -Aberration und rezessiver Mutationen zum Ausdruck kommen. Auch PURKAR und BANERGEE (1979) hatten ähnliche genetische Änderungen bei der beschleunigten Alterung von Weizen (*Triticum aestivum* L.) und Gartenbohne *Phaseolus vulgaris* L. beobachtet. Sie stellten am zweiten Tag der beschleunigten Alterung bei 40 °C und 100 % r. H. Schädigungen fest, die mit den verursachten Schädigungen einer dreijährigen Lagerung im Samenlager vergleichbar waren. VILLIERS und EDGCUMBE (1975) berichteten über Chromosomdefekte bei den Keimlingen, die von gealterten Salat- Achänen produziert worden.

Die wenigen Studien, die sich mit dem Zusammenhang zwischen den Alterungsverhalten der Samen während der Lagerung und deren Fettsäurezusammensetzung befassten, wurden über Soja geschrieben. FERGUSON *et al.* (1990 b) berichteten bei einem Lagerungsversuch mit Soja über die Dauer von 12 Monaten bei 25 °C und einem Samenfeuchtigkeitsgehalt von 11,5 %, dass trotz Abnahme der Keimfähigkeiten keine Änderung der Anzahl, sondern eine Änderung der Menge der Fettsäuren auftraten. Sie beobachteten eine Zunahme der Fettsäuren 16:0 und 18:0, und Abnahme von 18:2 und 18:3 bei mitochondriellen Fettsäuren des Achsensystems, wobei nur die Zunahme der 16:0 signifikant war. Weiter zitierten sie von PRIESTLEY and LEOPOLD (1983) ebenso eine

signifikante Abnahme von 18:2 und 18:3 in den ganzen Samen, die mit der Dauer der Alterungsversuche zusammenhing. HARMAN und MATTICK (1976) fanden bei Erbse (*Pisum sativum* L.) auch einen Zusammenhang zwischen der Abnahme der Fettsäuren 18:2 und 18:3 der Achsensysteme und deren Keimfähigkeitsverlust.

PRIESTLEY and LEOPOLD (1983) berichteten über einen Zusammenhang zwischen der Änderung der Fettsäurezusammensetzung durch die Lipidperoxidation bei Soja. Dabei wurde zwischen Alterung unter normalen Lagerungsbedingungen und beschleunigter Alterung unterschieden. Zunächst stellten PRIESTLEY and LEOPOLD (1979) bei der beschleunigten Alterung bei 40 °C, und 100 % r. H. für 5 Tage keinen Zusammenhang fest. PRIESTLEY and LEOPOLD (1983) fanden aber bei der Alterung unter normalen Lagerungsbedingungen (4 °C, 8-10 % Samenfeuchtigkeitsgehalt und für 44 Monate) Zusammenhänge zwischen dem Keimfähigkeitsverlust der Partie und der Menge an mehrfach ungesättigten und gesättigten und einfach ungesättigten Fettsäuren. Weiters schrieben Sie: die Ergebnisse der Untersuchungen an Lipidperoxidation, die auf beschleunigter Alterung basierten, müssen sehr achtsam interpretiert werden. Über einen Zusammenhang zwischen der Lipidperoxidation, und der dadurch entstandenen freien Radikale in der Embryoachse und der Alterung der Sojasamen berichteten TRAWATHA *et al.* (1995).

Auch bei gleicher Alterungsdauer können die Änderungen der Öl- Komponenten der Samen aufgrund unterschiedlicher Behandlungen unterschiedlich ausfallen. HALDER *et al.* (1983) stellten einen allmählichen Abbau des Gesamtgehalts der Phospholipide innerhalb von 20 Tagen bei 95 % r. H. und 28 °C fest, wobei dieselben Proben unter gleichen Versuchsbedingungen nur durch eine Voreinquehlungsbehandlung mehr oder weniger unverändert bleiben. Auch ROBERT und BEWLEY (1980) berichteten bei einer beschleunigten Alterung von 7 Tagen bei 45 °C und oberhalb der Wasserfläche über eine starke Abnahme der Fettsäuren 18:2 und 18:3 und die Zunahme von 16:0, 18:0 und 18:1 im Embryo, wobei sie bei derselben Temperatur und einer Trocknung über Kieselgel fast unverändert blieben. ROBERTS (1979) zitierte die Peroxidation der freien Radikale der ungesättigten Fettsäuren für den grundlegenden Schädigungsmechanismus bei der Zellalterung.

Alle diese Studien weisen darauf hin, dass die gleichen Änderungen der Fettsäurezusammensetzung verschiedener Partien einer Art nur bei gleichen

Untersuchungsverfahren zu beobachten sind, sodass mit deren Veränderungen andere Ergebnisse zu erwarten sind.

Die Ergebnisse der beiden Verfahren (V1 und V2, siehe 3.4) sollten einerseits den Zusammenhang zwischen den Untersuchungsverfahren und den Änderungen der Fettsäurezusammensetzung erklären, andererseits auch zeigen, inwieweit die Fettsäurezusammensetzung das Alterungsverhalten der Samenpartien innerhalb einer Art bestimmen kann.

Aus den Ergebnissen in den Tabellen 3.18 bis 3.22 sind die Auswirkungen der unterschiedlichen Alterungsmethoden auf die Fettsäurezusammensetzung von Raps wie ROBERTS (1979) und FERGUSON *et al.* (1990 b) festgestellt hatten, sowie die Beziehungen zwischen der Fettsäurezusammensetzung und der Alterungsgeschwindigkeit zu entnehmen. Weiterhin zeigten die Ergebnisse, dass sich durch den Ölgehalt und die Fettsäurezusammensetzung das unterschiedliche Alterungsverhalten der Rapspartien besser erklären lassen, als allein durch den Ölgehalt. Ob diese Verbesserung so gravierend ist, um die Aufnahme von Fettsäuren zusätzlich zum Ölgehalt in die Lebensfähigkeitsgleichung zu gerechtfertigen, lässt sich anhand dieser Ergebnissen nicht entscheiden, und benötigt weitere Untersuchungen.

Des Weiteren ist aus der Tabelle 3.20 zu entnehmen, dass die Alterung der Partien mit einem ungewöhnlichen Alterungsverhalten überwiegend durch ihre Fettsäurezusammensetzung und weniger durch ihren Ölgehalt erklärt wird. Die Ergebnisse ohne diese Partien erklären wiederum die Abhängigkeit des Alterungsverhaltens der Partien von deren Ölgehalten. Es ist auch zu beobachten, dass sich die Differenzen zwischen den Steigungen aus den Versuchsergebnissen und den Schätzwerten des Vorschlages 4 bei beiden Verfahren nur durch die Fettsäurezusammensetzung erklären lassen.

Die Ergebnisse der Tabelle 3.23 sind statistisch nicht gesichert, dennoch lässt die Gleichheit des Vorzeichens der Untersuchungswerte bei beiden Verfahren auf recht gute Übereinstimmungen bei Raps mit Ausnahme von 2 Rapssorten AHR 2426 und Evita und bei Lein schließen. Im Gegenteil dazu sind bei Sonnenblume und Mais einige Unstimmigkeiten aufgetreten. Weiters ist bei Raps eine Abnahme und bei Lein eine Zunahme des Gesamtgehalts der ungesättigten Fettsäuren während der Alterung festzustellen. Wie diese artspezifischen Effekte zustande kommen, ist anhand dieser Ergebnisse nicht zu erklären. Sie benötigen weitere Untersuchungen.

Der Einfluss von Ölgehalt und Fettsäuremuster auf die Lagerfähigkeit von Saatgut

K. Ghiasvand Ghiasi

Kurzauszug

Die Saatgutlagerung mit dem Ziel des Qualitätserhalts für die spätere Aussaat ist nicht nur in Genbanken sondern auch in Land- und Forstwirtschaft und Gartenbau eine ständige Herausforderung. Für die Vorhersage der Lagerfähigkeit von Saatgut wurde 1980 von ELLIS und ROBERTS die verbesserte Lebensfähigkeitsgleichung aufgestellt. Mit ihr kann die Keimfähigkeitsverlustkurve in Abhängigkeit von der Ausgangskeimfähigkeit, der Lagerungstemperatur und dem Samenfeuchtigkeitsgehalt artspezifisch berechnet werden. Gerade bei ölreichen Samen verfehlt aber die Gleichung oftmals ihr Ziel. Bei diesen Samen bestimmt der sorten- und partiespezifische Ölgehalt maßgeblich die Wasseraktivität und damit auch die Alterungsgeschwindigkeit. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, den Einfluss des Ölgehaltes auf das Alterungsverhalten von Samen der Ölpflanzen während der Lagerung quantitativ zu beschreiben und bestmöglich in die Lebensfähigkeitsgleichung zu integrieren um deren Vorhersagegenauigkeit zu verbessern. Die Bearbeitung dieser Fragen erfolgte durch Lagerungsexperimente unter kontrollierten Bedingungen im Labormaßstab bei höheren Temperaturen und Laufzeiten zwischen wenigen Tagen und sechs Monaten.

Zunächst wurde untersucht, ob der üblicherweise bestimmte Ölgehalt des gesamten Samens ein aussagekräftiger Parameter für die Wasseraktivität im Achsensystem, dem Ort, an welchem die Lebensfähigkeit des Embryos primär bestimmt wird, ist. Untersuchungen bei Sonnenblume mit Ölgehalten zwischen 28 und 48 % zeigten, dass ölreiche Samen etwa 1 % höhere Samenfeuchtigkeitsgehalte benötigen, um dieselbe Wasseraktivität im Achsensystem zu haben, wie ölarme Samen. Die Lagerung dieser Samen sowie die von Raps und Lein mit Ölgehalten zwischen 39 und 50 % bzw. 36 und 43 % zeigte darüber hinaus, dass der Keimfähigkeitsverlust bei einheitlicher Wasseraktivität einheitlicher ist als bei einheitlichem Samenfeuchtigkeitsgehalt. Dies wird in der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung nicht berücksichtigt, so dass deren Vorhersagen systematische Fehler beinhalten.

Deshalb wurden umfangreiche Lagerungsexperimente mit insgesamt 28 Saatgutpartien der Arten Raps, Sonnenblume, Lein und Mais bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten und einheitlich 45 °C durchgeführt. Nur für wenige der so gelagerten Partien trafen die Vorhersagen nach der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung zu.

Für die Aufnahme des Ölgehaltes in die Lebensfähigkeitsgleichung wurden acht verschiedene Vorschläge erarbeitet, die in jeweils drei nichtlinearen Regressionsmodellen mit unterschiedlichen Beschränkungen auf die Ergebnisse der Lagerungsexperimente angewandt wurden. Das erste Modell erlaubte die artspezifische Bestimmung der Gewichtungsfaktoren (Konstanten) in der Lebensfähigkeitsgleichung. Das zweite Modell erlaubte nur die artspezifische Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für den Absolutterm und den Samenfeuchtigkeitsgehalt, der Ölgehalt wurde hingegen mit einem artunspezifischen Gewichtungsfaktor versehen. Im dritten Modell wurden alle Gewichtungsfaktoren artunspezifisch bestimmt.

Alle acht Vorschläge erreichten in den artspezifischen Modellen bessere Schätzungen für die Alterungsgeschwindigkeit als die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung. Wo statistisch dieses geprüft werden konnte, waren die Verbesserungen signifikant. Gleiches galt für die Modelle mit artunspezifischen Gewichtungsfaktoren für den Ölgehalt, allerdings konnten hier nicht alle Vorschläge zu einem konvergierenden Ergebnis der Regressionsanalyse geführt werden. Alle geprüften artunspezifischen Modelle brachten keine Verbesserung der Anpassung im Vergleich zu der bisherigen Lebensfähigkeitsgleichung.

Die Vorschläge wurden dann mit einem neuen, unabhängigen Datensatz validiert. Hierfür erfolgte die Lagerung von Saatgut bei 32 °C. Es zeigte sich, dass die Änderung der Temperatur die Optimalität der Schätzungen aus den nichtlinearen Regressionsmodellen beeinträchtigte. Dennoch zeigten die neuen Vorschläge eine bessere Übereinstimmung mit den beobachteten Ergebnissen als die bisherige Lebensfähigkeitsgleichung. Anhand dieser Ergebnisse wurde dann zur Erweiterung der Lebensfähigkeitsgleichung von ELLIS und ROBERTS ein Vorschlag abschließend gewählt, der keinen neuerlichen Gewichtungsfaktor in die Gleichung einführt, der ja durch seinen Standardfehler potentiell zu einer Verringerung der Präzision einer Vorhersage beitragen könnte.

Abschließend wurde geprüft, ob über den Ölgehalt hinaus die Fettsäurezusammensetzung vor der Lagerung die Alterungsgeschwindigkeit beeinflusst und ob die Änderung der Fettsäurezusammensetzung während der Lagerung mit dem Keimfähigkeitsverlust in direktem Zusammenhang steht. Ausschließlich bei Raps wurden signifikante Zusammenhänge zwischen dem Anteil der Fettsäure 14:0, 18:0, 20:0, 22:0 und der Alterungsgeschwindigkeit festgestellt. Eine bei allen Arten einheitliche Änderung des Fettsäuremusters konnte jedoch nicht beobachtet werden, so dass dieser Eigenschaft zur weiteren Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit der Lebensfähigkeitsgleichung kein Potenzial zugemessen werden kann.

Zusammenfassend wurde ein Vorschlag zur Aufnahme des Ölgehaltes in die Lebensfähigkeitsgleichung erarbeitet, der deren Vorhersagegenauigkeit bei ölreichen Samenarten deutlich verbessert und damit zu einer sachgerechteren und effizienteren Lagerung von Saatgut beiträgt.

The effect of oil content and fatty acid composition on the storability of seeds

K. Ghiasvand Ghiasi

Abstract

Seed storage with the objective of maintaining the quality for the later sowing is a constant challenge, not only in gene banks but also in agriculture, forestry and horticulture. In 1980 ELLIS and ROBERTS established "The improved seed viability equation" for the prediction of the storability of seeds. With this equation the loss-of-germination-curve can be computed as a function of the initial seed germination, the storage temperature and the seed moisture content for each species. However, with oil-rich seeds the equation very often misses its aim. With this seeds, the variety and lot specific oil content considerably determines water activity and aging rate. Therefore the objective of the present work was to describe the influence of oil content on the aging behavior of seeds of the oil crops during storage quantitatively, to integrate this influence in the most reasonable way into the viability equation and to improve accuracy of its prediction. The investigation was carried out with storage experiments under controlled conditions in the laboratory at higher temperatures and running times between a few days and six months.

First it was examined, whether the usually determined oil content of the entire seed is an informative parameter for water activity in the embryo axis. Experiments with sunflowers with an oil content between 28 and 48 % showed that oil-rich seeds need an about 1 % higher seed moisture content than seeds with lower oil content to have the same water activity in the embryonic axis. The storage of these seeds as well as the seeds of rape with oil contents between 39 and 50 % and flax with oil contents between 36 and 43 % showed that the loss of germination is more consistent with uniform water activity than with uniform seed moisture content. This has not been taken into account in the previous viability equation, so that its prediction contains systematic errors. Therefore extensive storage experiments were carried out with altogether 28 seed lots of rape, sunflower, flax and corn with different moisture contents and a uniform temperature of 45°C. Only for few of the stored lots the prediction of the seed viability equation was found to be correct.

To include the oil content into the seed viability equation eight different suggestions were compiled. These were applied in three nonlinear regression models with different restrictions to the results of the storage experiments. The first model permitted the species specific determination of the weighing factors (constants) for the seed viability equation.

The second model only allowed to determine the weighing factors for the absolute term and the seed moisture content specifically. Oil content was provided however with a species-nonspecific weighing factor. In the third model all weighing factors were species-nonspecific determined.

All eight suggestions achieved better estimations for the aging rate in the species-specific models than the previous viability equation. Where this could be examined statistically, the improvements were significant. The same was found for the models with species-nonspecific weighing factors for the oil content. However, not all suggestions led to a converging result of the regression analysis. All examined species-nonspecific models did not improve the adjustment compared to the previous viability equation.

The suggestions were then validated with a new and independent dataset with a storage temperature of seeds of 32°C. It was shown that the change of the temperature reduced the accuracy of the estimations of the nonlinear regression models.

The new suggestions nevertheless corresponded better to the observed results than the previous viability equation. Based on these results a suggestion was then selected for the extension of the viability equation by ELLIS and ROBERT, which does not introduce a new weighing factor to the equation as the weighing factor might potentially contribute to a decrease of the precision of a prediction due to its standard error.

Finally it was examined whether the fatty acid composition before storage in addition to the oil content affects the aging rate and whether the change of the fatty acid composition is directly connected to the loss of germination during storage.

Only with rape, significant relations between the proportion of the fatty acid 14:0, 18:0, 20:0, 22:0 and the aging rate of the seed lots were determined.

A uniform change of the fatty acid composition of all examined species could not be observed. Therefore this characteristic could not contribute to the further improvement of the prediction accuracy of the seed viability equation.

To summarize, a suggestion to include the oil content into the viability equation was designed that clearly improves the accuracy of the prediction of the viability equation for oil-rich seeds and that contributes to a more appropriate and efficient storage of seeds.

6. Literaturverzeichnis

- ANDERSON, J. D. (1973). Metabolic changes associated with senescence. *Seed Sci. Technol.* **1**, 401-416.
- *Anonymus* (2002). Crop Water Management, Sunflower.
<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/sunflower.stm>
- *Anonymus* (1998). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft. Richtlinie 98/ 64/ EG der Kommission. Zur Feststellung gemeinschaftlicher Analysemethoden für die Bestimmung von Aminosäuren, Rohfetten und Olaquinox in Futtermitteln und zur Änderung der Richtlinie 71/ 393/ EWG.
- BERNAL-LUGO, I. und LEOPOLD, A. C. (1995) Seed stability during storage, raffinose content and seed glassy state. *Seed Sci. Res.* **5**, 75-80.
- BONNER, F. T. (1994). Predicting seed longevity for 4 forest tree species with orthodox seeds. *Seed Sci. & Technol.* **22**, 361-370.
- BRADFORD, K. J., TARQUIS, A. M. und DURAN, J. M. (1993). A population-based threshold model describing the relationship between germination rates and seed deterioration. *J. Exp. Bot.* **44**, 1225-1234.
- CHRISTENSEN, C. M. und MERONUCK, R. A. (1986). Quality maintenance in stored grains & seeds. Minneapolis, Minn.: University of Minnesota Press.
- CHIU, K. Y., CHEN, C. L. und SUNG, J. M. (2002). Effect of priming temperature on storability of primed sh-2 sweet corn seed. *Crop Sci.* **42**, 1996-2003.
- DAWIDOWICZ-GRZEGORZEWSKA, A. und PODSTOLSKI, A. (1992). Age-related changes in the ultrastructure and membrane properties of *Brassica napus* L. seeds. *Ann. Bot.* **69**, 39-46.
- DICKIE, J. B., ELLIS, R. H., KRAAK, H. L, RYDERS, K. und TOMPSETT, P. B. (1990). Temperature and seed storage longevity. *Ann. Bot.* **65**, 197-204.
- ELLIS, R. H. und HONG, T. D. (2006). Temperature sensitivity of the low-moisture-content limit to negative seed longevity-moisture content relationships in hermetic storage. *Ann. Bot.* **5**, 785-791.

- ELLIS, R. H., HONG, T. D. und ROBERTS, E. H. (1989). A comparison of the low-moisture- content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species. *Ann. Bot.* **63**, 601-611.
- ELLIS, R. H. (1988). The viability equation, seed viability nomographs, and practical advice on seed storage. *Seed Sci. & Technol.* **16**, 29-50.
- ELLIS, R. H., HONG, T. D. und ROBERTS, E. H. (1988). A low-moisture-content limit to logarithmic relations between seed moisture content and longevity. *Ann. Bot.* **61**, 405- 408.
- ELLIS, R. H., HONG, T. D. und ROBERTS, E. H. (1986). Logarithmic relationship between moisture content and longevity in sesame seeds. *Ann. Bot.* **57**, 499-503.
- ELLIS, R. H. und ROBERTS, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. & Technol.* **9**, 373- 409.
- ELLIS, R. H. und ROBERTS, E. H. (1980a). Improved equations for the prediction of seed longevity. *Ann. Bot.* **45**, 13-30.
- ELLIS, R. H. und ROBERTS, E. H. (1980b). The influence of temperature and moisture on seed viability period in barley (*Hordeum distichum* L.). *Ann. Bot.* **45**, 31-37.
- FERGUSON, J. M., TEKRONY, D. M. und EGLI, D. B. (1990a). Changes during early soybean seed and axes deterioration: I. Seed quality and mitochondrial respiration. *Crop Sci.* **30**, 175-179.
- FERGUSON, J. M., TEKRONY, D. M. und EGLI, D. B. (1990b). Changes during early soybean seed and axes deterioration: II. Lipids. *Crop Sci.* **30**, 179-182.
- GANE, R. (1948). The effect of temperature, humidity and atmosphere on the viability of chewing's fescue grass seed in storage. *J. agri. Sc.* **38**, 90-92.
- Gas chromatography of fatty acids in seeds of rapeseed Analysis specifications of the Institute of Agronomy and Plant Breeding, University Göttingen, Germany. Seeds of strains and varieties with and without erucic acid (official analyses). Nach THIES, W. (1991).

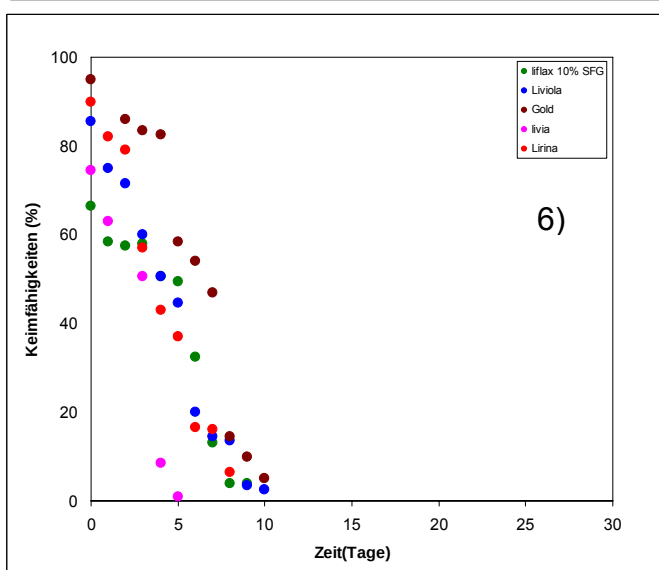
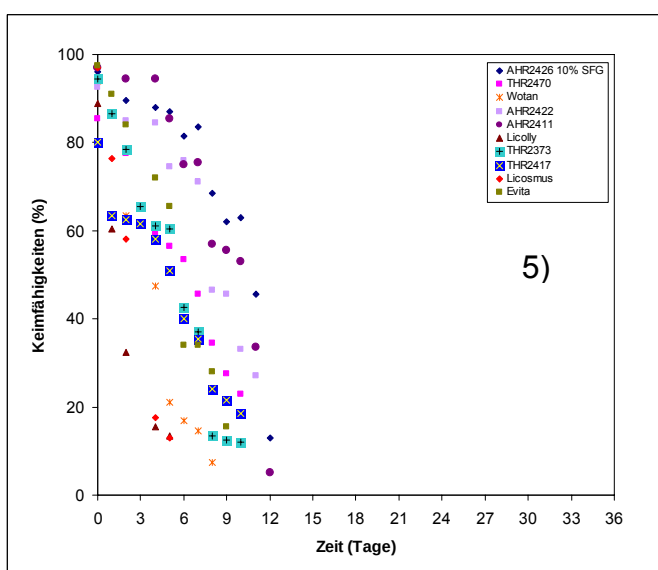
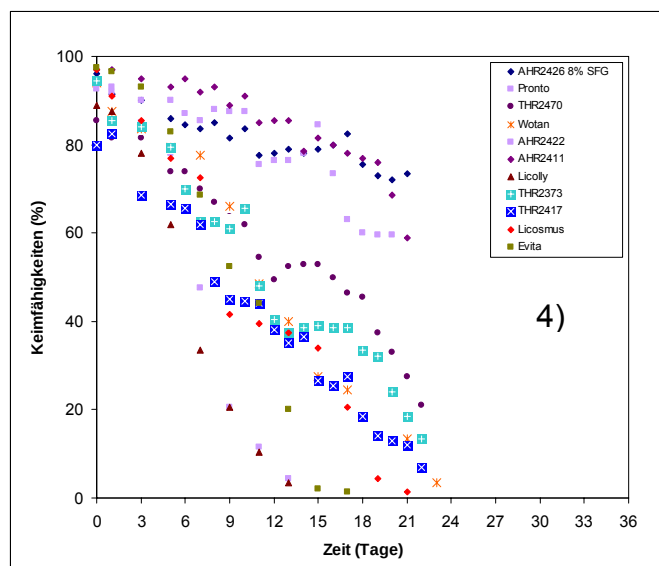
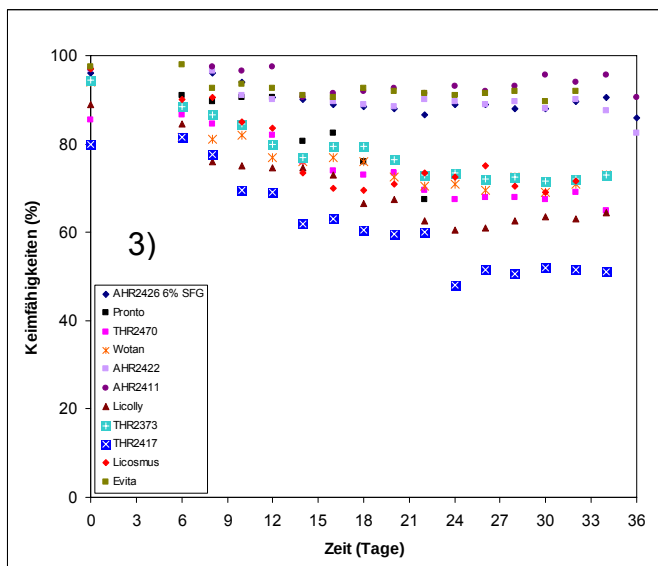
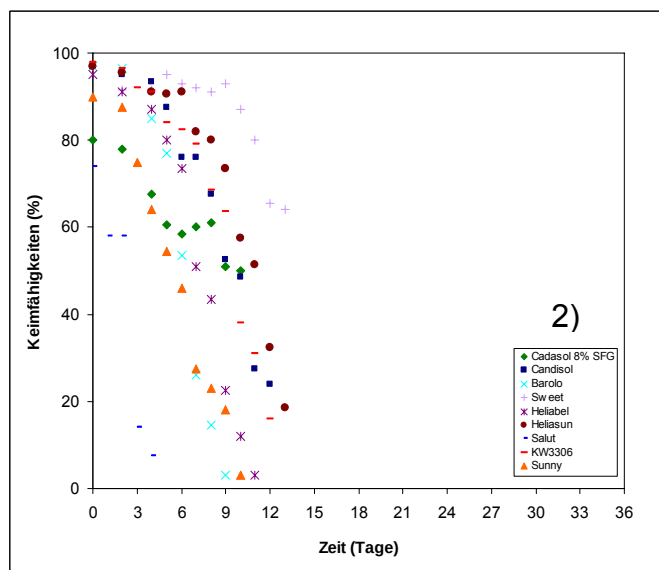
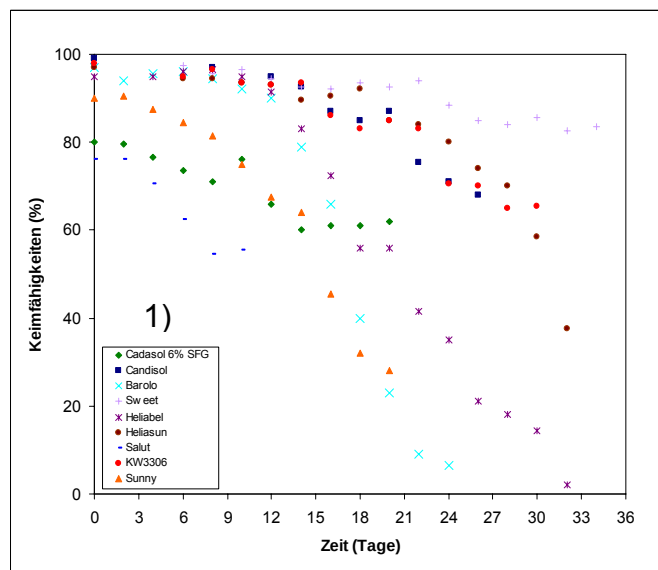
- GORECKI R. J. und HARMAN G. E. (1986). Effekt of antioxidants on viability and vigour of ageing pea seeds. *Seed Sci. & Technol.* **15**, 109-117.
- HALDER, S., KOLE, S. und GUPTA, K. (1983). On the mechanism of sunflower seed deterioration under two different types of accelerated ageing. *Seed Sci. & Technol.* **11**, 331-339.
- HAMPTON, J. G. und TEKRONY, D. M. (1995). *Handbook of Vigour Test Methods* 3rd Edition, 35-50.
- HARRINGTON, J. F. (1973). Biochemical basis of seed longevity. *Seed Sci. & Technol.* **1**, 453-461.
- HARRINGTON, J. F. (1963). Practical instructions and advice on seed storage. *Proc. Int. Seed Test. Ass.* **28**, 989-994.
- HARMAN, G. E. und MATTICK, L. R. (1976). Association of lipid oxidation with seed ageing and death. *Nature* **160**, 323-324.
- HONG, T. D., LININGTON, S. und ELLIS, R. H. (1996). *Seed Storage Behaviour: a Compendium. Handbooks for Genebanks, No. 4.* International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- HUNG, L. Q., HONG, T. D. und ELLIS, R. H. (2001). Constant, fluctuating and effective temperature and seed longevity: a tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) example. *Ann. Bot.* **88**, 465-470.
- ISTA (2003) *International Rules for Seed Testing.* The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Schweiz.
- KOOSTRA, T. und HARRINGTON, J. F. (1969). Biochemical effects of age on membranal lipids of *Cucumis sativus* L. seed. *Int. Seed Testing Ass. Proc.* **34**, 329-340.
- KHAN, M. M., HENDRY, G. A. F., ATHERON, N. M. und VERTUCCI-WALTERS, C. W. (1996). Free radical accumulation and lipid peroxidation in testas of rapidly aged soybean seeds: a light- promoted process. *Seed Sci. Res.* **6**, 101-107.
- KRAAK, H. L. und VOS, J. (1987). Seed viability constants for lettuce. *Ann. Bot.* **59**, 343-349.

- KRISHNAN, P., NAGARAJAN, S. und MOHARIR, A. V. (2004). Thermodynamic characterisation of seed deterioration during storage under accelerated ageing conditions. *Bios. Eng.* **89**, 425-433.
- MCDONOUGH, C. M., FLOYD, C. D., WANISKA, R. D. und ROONEY, L. W. (2004). Effect of accelerated aging on maize, sorghum, and sorghum meal. *J. Cereal Sci.* **39**, 351-361.
- NEUMANN, C. und BASSLER, R. (1997). Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch der Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchung- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Band 3.
- PARKES, M. E., LEGES, S. N. und DON, R. (1990). Assumptions used with the seed viability equation. *Seed Sci. & Technol.* **18**, 653-660.
- PERL, M., LURIA, I. und GELMOND, H. (1978). Biochemical changes in sorghum seeds affected by accelerated aging. *J. Exp. Bot.* **29**, 497-509.
- PERDOMO, A. und BURRIS, J. S. (1998). Histochemical, physiological, and ultrastructural changes in the maize embryo during artificial drying. *Crop Sci.* **38**, 1236-1244.
- PINZINO, C., CAPOCCHI, A., GALLESCHI, L., SAVIOZZI, F., NANNI, B. und ZANDOMENEGHI, M. (1999). Aging, free radicals, and antioxidants in wheat seeds. *J. Agric. Food Chem.* **47**, 1333-1339.
- POMERANZ, Y. und MACMASTERS M. M. (1968). *Baker's Dig.* **42**, 24-28.
- PRITCHARD, H. W., TOMPSETT, P. B., MANGER, K. und SMIDT, W. J. (1995). The effect of moisture content on the low temperature responses of *Araucaria hunsteinii* seed and embryos. *Ann. Bot.* **76**, 79-88.
- PURKAR, J. K. und BANERGEER, S. K. (1979). Genetic changes in relation to seed ageing under tropical storage conditions. *Seed Res.* **7**, 190-196.
- PRIESTLEY, D. A. und LEOPOLD, A. C. (1983). Lipid changes during natural aging of soybean seeds. *Physiol. Plant.* **59**, 467-470.
- REINHART, T. C. (1992). Entwicklung und Anwendung von Nah-Infrarot-spektroskopischen Methoden für die Bestimmung von Öl-, Protein-, Glucosinolat-, Feuchte- und Fettsäuren- Gehalten in intakter Rapssaat. Cuvillier Verlag.

- ROBERT, R. C. S. und BEWLEY, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiol.* **65**, 245-248.
- ROBERTS, E. H. (1979). Seed deterioration and loss of viability. *Advances in Research and Technology of Seeds. Part 4*, 25-42.
- ROBERTS, E. H. (1973a). Predicting storage life. *Seed Sci. & Technol.* **1**, 499-514.
- ROBERTS, E. H. (1973b). Loss of seed viability: chromosomal and genetical aspects. *Seed Sci. & Technol.* **1**, 515-527.
- ROBERTS, E. H. (1972). Cytological, genetical and metabolic changes associated with loss of viability. In: *Seed Viability*. Chapman and Hall, London, 253-306.
- ROBERTS, E. H. und ABDALLA, F. H. (1968). The influence of temperature, moisture, and oxygen on period of seed viability in barley, broad beans, and peas. *Ann. Bot.* **32**, 97-117.
- ROBERTS, E. H. (1960). The viability of cereal seed in relation to temperature and moisture. *Ann. Bot.* **24**, 12-31.
- SAS / STAT User's Guide (1988), Release 6.03 Edition, 675-713 und 773-877. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SATTLER, S. E., GILLILAND, L. U., MAGALLANES-LUNDBACK, M., POLLARD, M. und DELLAPENNA, D. (2004). Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. *Plant Cell* **16**, 1419-1432.
- SMITH, C. W. und CREELMAN, R. A. (2001). Vitamin E concentration in upland cotton seeds. *Crop Sci.* **41**, 577-579.
- SMITH, R. D., DICKIE, J. B., LININGTON, S. H., PRITCHARD, H. W. und PROBERT, R. J. (2003). *Seed Conservation*, 1. Auflage 692-696.
- SINICIO, R. (2004). Generalized longevity model for orthodox seeds. *Bios. Eng.* **1**, 85-92.
- STAHL, M. und STEINER, A. M. (1998b). Germination and vigour loss of non-sprouted and sprouted wheat seeds during storage - testing the viability constants. *Seed Sci. Res.* **8**, 123-128.

- STRASBURGER, E., NOLL, F., SCHENCK, H. und SCHIMPER, A. F. W. (1983). Lehrbuch der Botanik, **32.** Auflage, 30-32.
- TEKRONY, D. M. (2005). Accelerated aging test: principles and procedures. Seed Technol. **27**, 135-146.
- TRAWATHA, S. E., TEKRONY, D. M. und HILDEBRAND, D. F. (1995.). Soybean lipoxygenase mutants and seed longevity. Crop Sci. **35**, 862-868.
- USBERTI, R. und GOMES, R. B. R. (1998). Seed viability constants for groundnut. Ann. Bot. **82**, 691-694.
- VIERLING, R. A. und TEKRONY, D. M. (1999). The effect of storage conditions on peroxidase activity. Seed Technol. **21**, 37-40.
- VILLIERS, T. A. und EDGCUMBE, D. J. (1975). On the cause of seed deterioration in dry storage. Seed Sci. & Technol. **3**, 761-774.
- WERKER, E. (1997). Handbuch der Pflanzenanatomie Band **10**, Teil 3: Seed Anatomy, 225-231.
- WILSON, D. O. JR. und MCDONALD, M. B. JR. (1986). The lipid peroxidation model of seed ageing. Seed Sci. Technol. **14**, 269-300.

7. Anhang



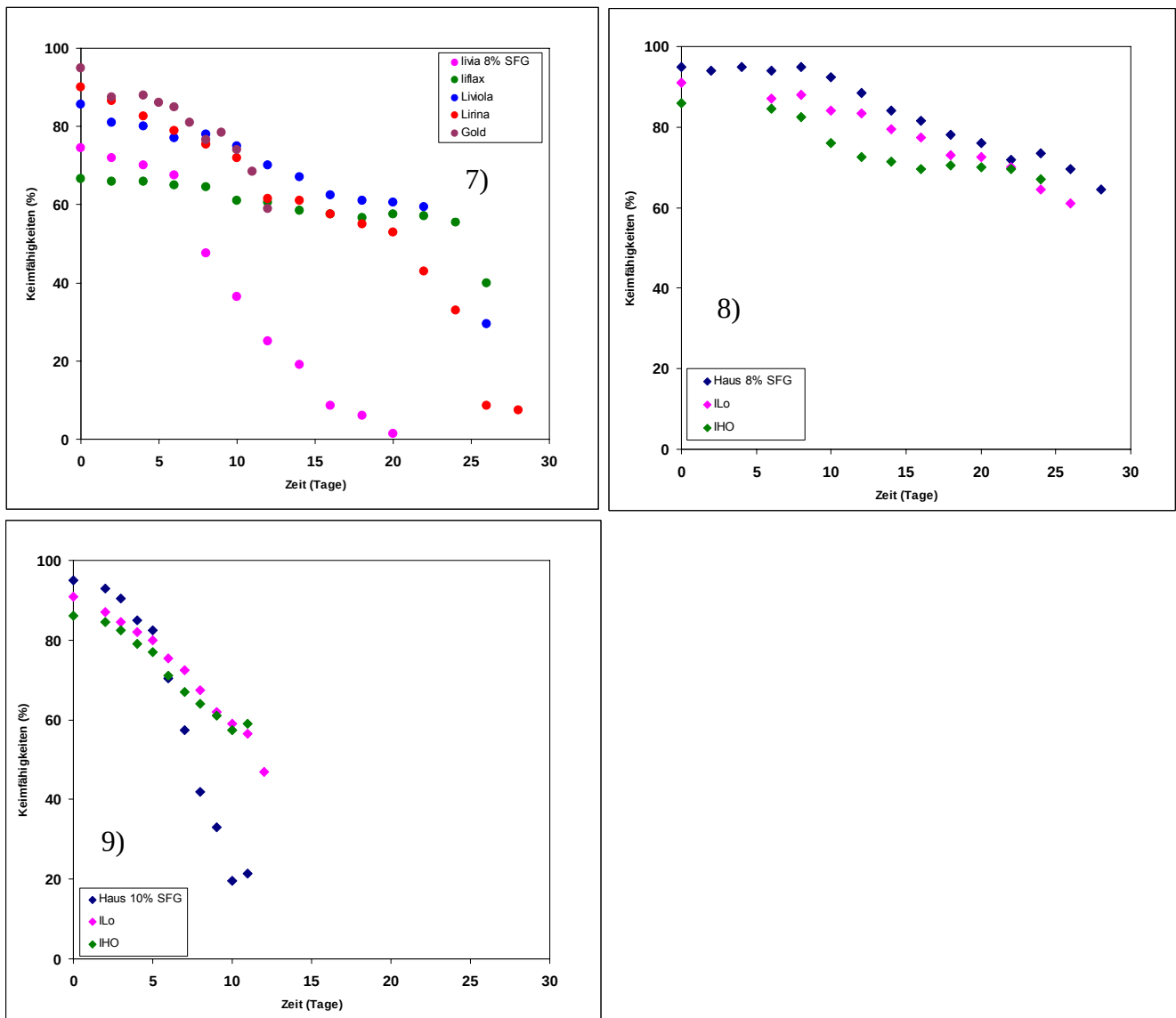


Abbildung A1-9: Die Keimfähigkeitsverluste der Samen der verschiedenen Partien 4 Arten in Prozent bei unterschiedlichen Samenfeuchtigkeitsgehalten und 45°C :

- 1) Sonnenblume 6 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 2) Sonnenblume 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 3) Raps 6 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 4) Raps 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 5) Raps 10 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 6) Lein 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 7) Lein 10 % Samenfeuchtigkeitsgehalt,
- 8) Mais 8 % Samenfeuchtigkeitsgehalt
- 9) Mais 10 % Samenfeuchtigkeitsgehalt.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. M. Kruse möchte ich für die Überlassung des Themas, die wissenschaftlichen Anregungen und die großzügige Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Mein Dank gilt ihm auch für seine persönliche Anteilnahme, Fürsorge und Mühe, die er mir bei der Anfertigung dieser Arbeit gewährte.

Des Weiteren danke ich:

- Herrn Prof. Dr. W. Claupein für die Übernahme des Koreferats
- Herrn Prof. Dr. A. M. Steiner, der bereits pensionierte Leiter des Fachgebiets Saatgutwissenschaft und –technologie, der seiner Zeit die Grundbausteine dieser Arbeit gelegt hatte.
- Allen heutigen und bereits pensionierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fachgebiets Saatgutwissenschaft und –technologie, besonders meinem Freund und Mitstreiter Dipl. Agr. Biol. Sven Schmohl, der mir bei der Auswertung der Versuche geholfen hat
- der Firma „Norddeutsche Pflanzenzucht“ für die Überlassung des Versuchssaatguts und biochemischen Untersuchungen
- der Landesanstalt für Chemie für die biochemischen Untersuchungen
- Herrn Prof. Dr. M. O. Bohn, Universität Illinois, für die Überlassung des Versuchssaatguts

Aber auch dem Institut für Pflanzenbau und der Versuchsstation Eckartsweier der Universität Hohenheim, der „Deutsche Saatveredelung AG“. und Firmen KWS SAAT AG, Monsanto, Semundo und Späth für die Überlassung des Versuchssaatguts.

Lebenslauf

Kambiz Ghiasvand Ghiasi	geb. 01.09.1966 in Qazvin / Iran
Staatsangehörigkeit	iranisch
Familienstand	ledig
Ausbildung	Agraringenieur Hauptfach Agrarwissenschaften und Pflanzenzüchtung Azad Universität Iran/ Takestan, 1995 Dipl.- Agrarbiologie Hauptfach Pflanzenökologie in Tropen und Subtropen Universität Hohenheim, 2002 Doktorand im Fachgebiet Saatgutwissenschaft und –technologie des Instituts für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim Thema: Einfluss des Ölgehaltes auf die Alterung des ölreichen Saatgutes während der Lagerung
Beruflicher Werdegang	Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Pflanzenzüchtung und Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim 01.01.2003- 31.03.2006 Wissenschaftliche Hilfskraft an agrarbezogenen Instituten Agrartechnik und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen, Pflanzenernährung Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim. 1997- 2002 und 01.07.2006- 31.12.2006
Art und Umfang von Fremdsprachen	Muttersprache Persisch Deutsch (sehr gut) Englisch (ausreichend)

Erklärung

Hiermit erkläre ich Kambiz Ghiasvand Ghiasi, geboren am 01.09.1966 in Qazvin / Iran, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig angefertigt, nur die angegebene Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Kambiz Ghiasvand Ghiasi