

FACHHOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN

Fachbereich Land- und Ernährungswirtschaft

Studiengang Landwirtschaft

DIPLOMARBEIT

Literaturrecherche zur
Winterhärte des Deutschen Weidelgrases
- deutsch- und englischsprachige Literatur -

Verfasser:	Martin Theimer
Erstgutachter:	Prof. Dr. Thomas Grundler
Zweitgutachter:	Dr. Stephan Hartmann (LBP)
Abgabetermin:	29. Oktober 2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung und botanische Einordnung	4
2 Hauptteil	6
2.1 Definition der Winterhärte	6
2.2 Beispiele für Auswinterungsschäden	8
2.3 Messung der Winterhärte	9
2.3.1 Versuchsanstellungen	9
2.3.2 Prüfmaßstäbe	10
2.4 Ursachen von Auswinterungsschäden	12
2.4.1 Biotische Faktoren	13
2.4.1.1 Gattung <i>Fusarium</i>	13
2.4.1.2 Andere Pilze	15
2.4.2 Abiotische Faktoren	18
2.4.2.1 Kälteschäden	18
2.4.2.2 Winterbrand	20
2.5 Erblichkeitsanteil der Winterhärte	20
2.6 Zusammenhänge der Winterhärte mit anderen Merkmalen	26
2.7 Physiologie	29
2.7.1 Wasserlösliche Kohlenhydrate	29
2.7.2 Aminosäuren	33
2.7.3 Abhärtung	34
2.8 Anpassung an Klimaverhältnisse	38
3 Schluss	39
4 Zusammenfassung	40
5 Tabellenverzeichnis	43
6 Literaturverzeichnis	45

Abkürzungsverzeichnis

FM	Frischmasse
LT ₅₀	semiletale Temperatur (für 50 % tödlich)
WKH	wasserlösliche Kohlenhydrate

1 Einleitung und botanische Einordnung

Süßgräser sind Monokotyledonen. Weiterhin gehört die Gattung der Weidelgräser (*Lolium*) zur Familie *Poaceae*, Tribus *Pooideae*, Subtribus *Loliinae* (HOFFMANN, W. et al., 1985, S. 383).

Von vielen anderen Gräsern ist es durch eine glänzende Blattunterseite, rasenartigen Wuchs und sattgrüner Farbe zu unterscheiden. Die Blattoberfläche ist unbehaart, gleichmäßig gerieft mit Mittelrinne. Die Blütenstände sind im Unterschied zum Welschen Weidelgras stets grannenlos. Die Ährchen sitzen immer längs zur Spindel. Das jüngste Blatt ist gefaltet. Im Wuchs ist es kürzer als das Welsche Weidelgras und hat einen feineren Stängel. Ein roter Stängelgrund tritt beim Entfernen der unteren Blattscheide zutage. Eine intensive Durchwurzelung ist charakteristisch.

Ursprünglich ist das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*, Englisches Raygras, auch Ausdauerndes, Englisches oder Perennierendes Weidelgras genannt) diploid mit 14 Chromosomen. Tetraploide Sorten wurden erstmals 1939 von Sullivan und Myers hergestellt (HOFFMANN, W. et al., 1985, S. 384). Kreuzungen aus diploiden und tetraploiden Pflanzen ergeben triploide Pflanzen, die den Eltern überlegen, jedoch steril sind. Somit sind sie in der Landwirtschaft nicht verwendbar (HOFFMANN, W. et al., 1985, S. 385).

Die Vermehrung der Weidelgräser erfolgt generativ über Samen und vegetativ über Klonen. Die Blüten sind monözisch-zwittrig und homorph (HOFFMANN, W. et al., 1985, S. 28). Die Hauptausbreitung erfolgt besonders in intensiven Beständen vegetativ durch Seitentriebbildung. Die Art selbst besitzt eine große genetische Breite, die z. B. in dem weiten Zeitraum von ca. sechs bis sieben Wochen bezüglich des Termins „Beginn Ährenschieben“ sichtbar wird (BOGDAN, G., 1970, S. 5). Durch die Heterozygotie eines Fremdbefruchters ist aber in einer Zuchtsorte wie auch einer lokal gesammelten Herkunft noch hohe genetische Variabilität. Dies trifft auch auf so wichtige Merkmale wie Persistenz und einzelne Resistenzmerkmale zu (MATTHES, K., 1986, S. IV; BURHENNE, S., 1992, S.14).

Das Deutsche Weidelgras ist die wichtigste und ertragreichste Gräserart in den gemäßigten Klimaten allgemein (MATTHES, K., 1986, S. IV, 29) und speziell auch in Deutschland (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 86). Ursprünglich wahrscheinlich aus dem Mittelmeergebiet stammend, wird es nachweislich seit 1677 in England planmäßig angebaut. Heute ist es fast in allen gemäßigten Klimazonen der Erde zu finden (HOFFMANN, W. et al., 1985, S. 383).

Es ist im Dauergrünland ebenso wie in Rasenansaaten vorhanden oder im Ackerfutterbau begehrt. Das horstbildende Untergras ist trittverträglich und gleichzeitig vielschnittverträglich und eignet sich deshalb sowohl für das Beweiden als auch für eine intensive Schnittnutzung. Es ist prinzipiell langlebig (mehrjährig), zeigt bezüglich dieser Eigenschaft aber große Unterschiede.

Ein besonderes Problem für die bayerische Landwirtschaft stellt bis dato die Winterfestigkeit und Ausdauer des Deutschen Weidelgrases in rauen Lagen dar. Insbesondere in den Mittelgebirgen, den Alpen und im bayerischen Voralpenland verdient der Aspekt der Sortenwahl bezüglich der Winterhärte große Aufmerksamkeit.

Die vorliegende Literaturübersicht stellt den aktuellen und internationalen Stand des Wissens zum Themenbereich Ausdauer und Winterhärte des Deutschen Weidelgrases dar.

2 Hauptteil

2.1 Definition der Winterhärte

Genetik und Umwelt bestimmen die Phänologie von Lebewesen. Die Umweltbedingungen können sich dabei als besonders förderlich oder ungünstig für das Individuum erweisen. Im letzteren Fall ist von Stresssituationen zu sprechen.

Dabei gilt:

Stress im weiteren Sinn ist das Verlassen des optimalen Bereichs.

Stress im engeren Sinn führt zu unumkehrbaren Schäden (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 72).

Pflanzen müssen, da sie nicht flüchten können, eine Vielzahl von Stressoren (Umweltfaktoren) ertragen.

Tabelle 1: Stressoren für Pflanzen (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 19)

physikalisch	chemisch	biologisch
Lichtangebot	Trockenheit	Konkurrenz
UV-Strahlung	Überflutung	Verbiss
Ionenstrahlung	Eis	Tritt
Elektromagnetismus	Nährstoffangebot	Mahd
Temperaturverhältnisse	Salzkonzentration	Schädlinge
Feuer	Protonenkonzentration	Pilze
Wind	Schwermetalle	Bakterien
Bodenbewegung	Luftschadstoffe	Viren
Verschüttung	Xenobiotika	

Einige davon sind speziell für die Überwinterung besonders wichtig: Licht, Eis, extreme Temperatursausprägungen und schnelle Temperaturwechsel haben großen Einfluss auf die natürliche Auslese und Anpassung der Herkünfte. Unter unseren klimatischen Verhältnissen ist der Einfluss der Temperatur der größte klimatische Stressfaktor und Frosthärte und Überwinterungsfähigkeit sind bei einigen Pflanzen wichtige Ziele in der Züchtung (SLIESARAVICIUS, A., 1998, S. 213).

Es muss aber betont werden, dass in der landwirtschaftlichen Praxis anthropogene Maßnahmen den größten Einfluss auf die Überwinterung besitzen. Gemeint sind damit die menschlichen Tätigkeiten wie Schnitthäufigkeit, Schnitttiefe, Düngung, Meliorationen.

Bei *Lolium perenne* sind Ausfälle im Verlauf des Winters (= Auswinterung) zu einem bedeutenden Teil daran schuld, dass die Persistenz (= Ausdauerungsfähigkeit) der Pflanzen geschmälert wird und wirtschaftliche Verluste entstehen. Daher wird von Zuchtsorten neben einer hohen Ertragsleistung auch eine hohe Persistenz erwartet, da letztere Eigenschaft Bedingung für eine langfristige Ertragssicherheit ist.

Allgemein gilt, dass Winterhärte die Fähigkeit einer Pflanze ist, strenge Winterbedingungen zu dulden (SHURTLEFF, M. C. u. AVERRE, C. W., 1997, S. 357).

Die Winterhärte ist also abhängig von der Fähigkeit, vielen winterbedingten Umweltstressfaktoren zu widerstehen, v. a. Frost, Temperaturschwankungen in kurzer Zeit, niedrige Lichtverfügbarkeit, Austrocknung, Wind, Schnee- Eisbedeckung, Krankheiten, und anthropogene Tätigkeit (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 99).

Um das Überleben zu sichern, bedarf es neben geeigneten Bewirtschaftungsmaßnahmen auch einer Vielzahl genetischer Resistenzen. Resistenzen sind das Vermögen von Pflanzen, die Lebensfunktionen auch unter ungünstigen Bedingungen aufrechtzuerhalten. Der Resistenzgrad ist ein quantitativer Ausdruck der Resistenz. Für die Überwinterung sind wichtig:

- Kälteresistenz: Widerstandsfähigkeit eines Organismus gegenüber niedrigen Temperaturen (FRÖHLICH, G., 1991, S. 171)
- Frostresistenz, Frosthärte: Fähigkeit, Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ohne unumkehrbare Schäden zu überstehen (FRÖHLICH, G., 1991, S. 119)
- horizontale Resistenz: nur Minderung der Schädigungsauswirkung, bei Krankheiten meist rassenunspezifisch, wird überwiegend polygen vererbt und ist i. d. R. dauerhafter (auch allgemeine, generelle oder quantitative Resistenz genannt) (FRÖHLICH, G., 1991, S. 273)

2.2 Beispiele für Auswinterungsschäden

Auswinterungsschäden hinterlassen vielfältige Schadbilder: Absterben, Wachstumsverzögerungen, Reduktion der Wurzellängen, Wurzelfäulen, Auflaufschwierigkeiten, verminderte Bestandesdichten, Verbräunungen, Flecken u. a. (WINTER, W., 1986, S. 5). Auswinterung verursacht in diesem Zusammenhang auch nachfolgende Ertragsausfälle (ARSVOLL, K., 1973, S. 2).

Als historische Beispiele für beobachtete Schäden können genannt werden:

◆ Schäden in Norwegen

Lolium perenne ist aufgrund seiner Empfindlichkeit gegen Frost in skandinavischen Ländern von eher untergeordneter Bedeutung. Deshalb herrschen dort *Phleum pratense* und *Festuca pratensis* vor (JAMALAINEN, E. A., 1962, S. 148).

In einem Versuch von ARSVOLL wurden in Norwegen 2401 Testflächen von Grünland (nicht nur Weidelgras) einer Bonitur unterzogen. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich auf drei Überwinterungen von 1968 bis 1971. Dabei wurden die Schwere des Winterschadens und der Beitrag einzelner Faktoren ermittelt.

Es zeigte sich, dass in diesem Zeitraum durchschnittlich ca. 20 % der Pflanzen geschädigt wurden. Eine klare Trennung von abiotischem Schaden und biotischem Befall war erkennbar. D. h. die Testflächen wurden häufig entweder durch überwiegend biotische oder durch überwiegend abiotische Ursachen geschädigt, aber nur selten ernsthaft von beiden Ursachengruppen. Das weist auf einen gewissen Antagonismus zwischen dem Auftreten von abiotischen und biotischen Ursachen hin, der je nach örtlichen Bedingungen ausgeprägt ist (ARSVOLL, K., 1973, S. 7 f.). Dieser auffällige Zusammenhang wird in Abschnitt 2.4 noch genauer ausgeführt.

◆ Epidemie durch *F. nivale* 1978/79 in Deutschland

Im Winter 78/79 traten in Deutschland extreme *Fusarium*-Schäden und echte Kälteschäden v. a. bei *Lolium perenne* auf, darunter auch Bestände mit schwerer Lückigkeit bei Totalschaden.

Bei einem Sortenversuch 1978/79 mit *Lolium perenne* in Leihgestern traten 57 bis 87 % (SKIRDE, W., 1980, S. 43), in einem zweiten Versuch 75 bis 95 % Flächenbefall auf (SKIRDE, W., 1980, S. 44). Dabei konnten eindeutig Sortenunterschiede beobachtet werden.

Bei der Bewertung von 14 ausgewählten Sportplätzen im Frühjahr 1979 - weit gestreut zwischen Osnabrück und Basel - wurden ebenfalls erschreckende Werte erreicht. Die *Lolium-perenne*-betonten Ansaaten waren in Ansaat, Alter, Düngung und Benutzung sowie die Bauformen der Stadien unterschiedlich geprägt. Besonders in den verdichteten Hauptbenutzungszonen (z. B. Strafraum) wurden teilweise fast Totalschäden (100 %) gemessen (SKIRDE, W., 1980, S. 45). Hier ist eben und auch im Winter z. B. die Schuhstollenbelastung enorm, was die Pflanzen zusätzlich stresst.

2.3 Messung der Winterhärte

2.3.1 Versuchsanstellungen

Die Entwicklung von effektiven Selektionstechniken zur Feststellung des Grades der Winterhärte ist entscheidend für eine erfolgreiche Verbesserung des Sortenspektrums.

Es können zwei grundsätzliche Verfahrensarten unterschieden werden:

◆ Der Feldversuch

Das am meisten angewendete Verfahren ist der Feldversuch. Hier findet sozusagen das Experiment unter natürlichen Bedingungen statt. Er orientiert sich an der landwirtschaftlichen Praxis und prüft unter realitätsnahen Bedingungen Merkmalsausprägungen. Allerdings sind die Versuchsbedingungen nur eingeschränkt standardisierbar, da die Umwelteinflüsse von Ort zu Ort und von Jahr zu Jahr variieren. Somit ist bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen, ob es ein strenger oder milder Winter war, welche Höhenlage, welcher Boden usw. Bei einem Vergleich verschiedener Feldversuche ist hierauf besonderes Augenmerk zu legen. Des Weiteren ist ein Feldversuch in seiner Durchführung an den Verlauf der Saison gebunden.

Um die Winterhärte im Feldversuch beurteilen zu können, müssen mindestens zwei Feststellungstermine eingehalten werden:

- Stand vor Winter
- Stand nach Winter
- Differenz aus beiden Bewertungen ergibt das Überwinterungsverhalten
(OETMANN, A., 1994, S. 46)

Beispielhaft für bedeutende Feldversuchsreihen sind:

- die Wertprüfungen des Bundessortenamtes zur Bestimmung des „Landeskulturellen Wertes“
- die Ausdauerprüfungen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau zur Ermittlung der Eignung für weidelgrasunsichere Lagen (seit 1981)
- die Landessortenprüfungen und freiwilligen Beobachtungsprüfungen auf Moorstandorten der Landwirtschaftskammer Weser-Ems
- die Ausdauerprüfungen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Ermittlung der sächsischen Qualitätssaatgutmischungen (ein beispielhafter Dauerversuch erstreckt sich z.B. von 1993 bis 2010)
- analoge Landessortenversuche der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

◆ Labor- und Gewächshausprüfungen

Neben Feldversuchen sind Laborprüfungen in Gebrauch. Diese Versuchsanordnungen werden seit einigen Jahrzehnten angewendet und eignen sich für die Untersuchung von präzisen Einzelfragen. In Klimakammern mit Temperatur- und Beleuchtungsregulierung können insbesondere genaue LT_{50} -Tests und damit spezielle Frosthärteversuche durchgeführt werden.

Sie sind vergleichsweise teuer, da technisch aufwendig, können nur an einer vergleichsweise geringen Individuenzahl durchgeführt werden, sind jedoch zeitsparend und saisonunabhängig. Da sich Umweltbedingungen wie Licht, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, bestimmte Gefrier- und Tauraten usw. exakter und reproduzierbar einstellen lassen, eignen sich für Forschungsvorhaben, die eine eingegrenzte Anzahl Populationen deren Einzelindividuen in Teilbereichen genau beschrieben werden sollen (z.B. Vererbung physiologischer Vorgänge), sehr gut. Deshalb hat ihr Gebrauch im wissenschaftlichen Bereich in den letzten Jahrzehnten ständig zugenommen.

Frosttests im Labor sollen die im Freiland unkontrollierbaren Umweltfaktoren ausschalten, dennoch für größere Testreihen geeignet und wiederholbar sein. Die Ergebnisse müssen mit der Winterhärte unter Feldbedingungen möglichst gut korrelieren (FULLER, M. P. u. EAGLES, C. F., 1978, S. 217). Auf gleichmäßige Bedingungen und Vorbereitung für alle beprobten Exemplare ist streng zu achten (DEXTER, S. T., 1956, S. 218).

Die Selektion über das Merkmal Frosthärte aufgrund kontrollierter Klimakammerversuche ist somit für den Züchter bei vorhandener technischer Ausstattung eine wiederholbare Selektionsmethode in Ergänzung zur Feldselektion, um die Frosthärte der Sorten zu bewerten.

2.3.2 Prüfmaßstäbe

Zur Vorhersage und Beurteilung der Überwinterungsfähigkeit können eine Reihe von Merkmalen herangezogen werden.

◆ Kriterien für die Bestimmung der Frosthärte

- LT_{50} -Messung in Klimakammern: Dabei wird diejenige Temperatur ermittelt, bei der die Hälfte aller Pflanzen oder Pflanzenteile nicht überlebt oder dabei Schäden eintreten
- Frostresistenzindex $H = \text{Gefriertemperatur des Zellsaftes in der lebenden Pflanze} - \text{minus } LT_{50}$ (LEVITT, J., 1956, S. 46, 158)

◆ Kriterien für die Bewertung von Schäden

- Anteil abgestorbener oder beschädigter Pflanzen in Prozent (REPO, T. u. PULLI, S., 1996, S. 606 f.) bzw. Anteil überlebender Pflanzen in Prozent (= Merkmal der Persistenz)
- Anteil der überlebenden Triebe in Prozent (LORENZETTI, F. et al., 1971, S. 203).
- Grad der Gewebeflächenverbräunungen in Prozent
- Fäulnisstärke: Anteil befallender Pflanzen in Prozent (WINTER, W., 1986, S. 15 ff.)
- Isolation der Pilzstämme auf dem befallenen Pflanzenmaterial und nachfolgende Sporenzählung

◆ Kriterien der Vitalität

- Triebzahl: Anzahl Triebe je Laufmeter in der Reihe
- Wiederaustrieb, Nachwuchsfähigkeit: Anteil von Pflanzen, die nach definierter Zeit wieder Triebe bilden
- Trockensubstanzertrag: Wiegung des Frischmasseertrages pro Flächeneinheit, Ermittlung des Trockensubstanzgehalts in %, daraus folgt TS-Ertrag pro Flächeneinheit
- Ährenanteil: Anteil ährentragender Halme
- Bodenbedeckung: Grad für die Bedeckung des Bodens durch die Pflanzenmasse, z. B. nach folgender Formel: $B = a * c * t * 1 / b$
 - a = gestreckte Pflanzenhöhe: Höhe bei gestreckter Position
 - b = natürliche Pflanzenhöhe: Höhe bei normaler Position der Pflanze
 - c = Blattbreite: Breite des Blattes, am breitesten Teil des Blattes gemessen
 - t = Triebe pro m²(WINTER, W., 1986, S. 18 f.)

◆ Bonituren

Neben diesen Meßmethoden mit metrisch skalierten Merkmalen kann auch eine ordinalskalierte Einstufung des Zustands der Pflanzen durch eine Begutachtung verwendet werden. D. h. es wird eine visuelle Bewertung der Blatt- oder Pflanzenschädigung durch Schätzer unter Zuhilfenahme von Bewertungsrichtlinien vorgenommen. Hierbei werden Sachverhalte in Noten ausgedrückt. Die Bonitur kann auf verschiedene Merkmale ausgerichtet werden: z. B. Schadensgrad, Befall, Lückigkeit, Wiederaustrieb, Elektrolytverlust (Menge der ausgetretenen Elektrolyte ist proportional zum Schadensgrad).

2.4 Ursachen von Auswinterungsschäden

Winterhärte ist das Ergebnis des Zusammenspiels von mehreren einzelnen Eigenschaften und daher züchterisch nur vergleichsweise schwer zu bearbeiten (HUMPHREYS, M. O. u. EAGLES, C. F., 1988, S. 75). Das Merkmal beinhaltet im wesentlichen die Fähigkeit bei niedrigen Temperaturen, sich schnell ändernden Temperaturen, wenig Licht, Austrocknung, Wind, Schnee, Eis, Krankheitsbefall und Bearbeitungsfehlern zu überleben (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 99; THOMSON, A. J., 1974, S. 545 f.). Auswinterung ist somit ein komplexes Problem, das mehr als nur Frostschäden umfasst (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 77). Vielmehr haben Auswinterungsschäden eine Vielzahl von Ursachen. So wird z. B. berichtet, dass niedrige Temperatur, kälteverursachte Austrocknung sowie Pilzbefall in Polen die Hauptursachen von schlechter Überwinterung sind (WISNIEWSKI, K. et al., 1997, S. 221).

Die Ursachen können in die beiden Gruppen der biotischen und abiotischen Faktoren gegliedert werden. Biotische Faktoren sind v. a. Pilze, die durch langandauernde, hohe Schneedecken und nicht gefrorenen Boden begünstigt werden (JAMALAINEN, E. A., 1962, S. 139). Abiotische Faktoren bedeuten z. B. Frost, Bodenhebung, Austrocknung, Eiskecke, Schneedecke und Überschwemmung (ARSVOLL, K., 1973, S. 2; JAMALAINEN, E. A., 1962, S. 139; WINTER, W., 1986, S. 5).

Die relative Bedeutung der Faktoren wird durch das lokale Klima bestimmt. So haben die aus einer gegebenen Umwelt resultierenden abiotischen und biotischen Faktoren oft unterschiedliche Effekte auf das Auswinterungsverhalten. Z. B. fördert eine Schneedecke den Pilzbefall und schützt gleichzeitig vor Frostschäden (ARSVOLL, K., 1973, S. 9, 12, 15). Auch ist die Bedeutung der beiden Faktorgruppen regional unterschiedlich. So treten in ebenem und moorigem Gelände oft verstärkt abiotische Faktoren auf (höhere Frostgefahr; mehr Eiskeckenbildung möglich, da Wasser nicht so leicht abfließt), biotische dagegen eher in hügeligem.

2.4.1 Biotische Faktoren

Lolium gilt unter den Futtergräsern allgemein als empfindlich gegenüber Pilzen (ARS-VOLL, K., 1973, S. 9, 12, 16). Von entscheidender Bedeutung für den Befall mit *Fusarium* und anderen frostempfindlichen Auswinterungspilzen ist die Schneedecke, die als schlechter Wärmeleiter die Pflanze zwar gut vor Frost schützt, zugleich aber dadurch den Befall mit diesen fördert (DEXTER, S. T., 1956, S. 208). Schneearme Lagen mindern daher deren Befall. Auf Tonböden sind die Schädigungen durch Pilze tendenziell geringer, da wenig Luft zwischen den verdichteten Bodenteilchen den Pilzen zur Verfügung steht (JAMALAINEN, E. A., 1962, S. 149).

Nachfolgend eine kurze Beschreibung der Pilzarten.

2.4.1.1 Gattung *Fusarium*

Auch bei *Lolium perenne* ist *Fusarium* die wichtigste Auswinterungskrankheit (SKIRDE, W., 1980, S. 42 f.). Die Gattung *Fusarium* umfasst vielerlei Arten. Die Einordnung verschiedenen Pathotypen ist strittig oder nicht erforscht. Für *Lolium perenne* sind aber nur wenige Arten pathogen. Es sind dies vor allem: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. acuminatum*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. solani*. Schneeschimmel (anam. *Microdochium nivale*, syn. *Gerlachia nivalis*, früher *Fusarium nivale*,) gehört nach der neuen Taxonomie nicht mehr zu den Fusarien. Der Name *F. nivale* ist aber in der Landwirtschaft noch gebräuchlich.

Für die Häufigkeit von Fusarien hat ENGELS eine Reihe von Einflussfaktoren untersucht: Der Sorteneinfluss war bei seinen Untersuchungen nicht gesichert. Allerdings scheint es eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Standort zu geben (ENGELS, R., 1994, S. 38). Der Einfluss der Schnitthäufigkeit auf den *Fusarium*-Befall ist gesichert. Auf einer Testfläche bei Gummersbach (sandiger Lehm, 300 m NN) wurde der Befall bei zwei, drei und vier Schnitten pro Jahr untersucht. Das Optimum (geringster Befall) lag an diesem Standort bei drei Schnitten (ENGELS, R., 1994, S. 42).

Es hat sich gezeigt, dass zwischen den Schnitten eine Vegetationsdauer von 20 bis 40 Tagen mit einer Temperatur größer als 5 °C einzuhalten ist, um den Befall zu minimieren (ENGELS, R., 1994, S. 44).

Es gibt Hinweise, dass eine Anwendung von Stickstoff sich ungünstig auswirkt. Zwar wurde kein statistisch gesicherter Einfluss der Düngung auf den *Fusarium*-Befall festgestellt, doch ist in der Tendenz bei 60 kg N pro ha gegenüber 120 und 240 der niedrigste Befall zu Tage getreten (drei Schnitte, sandiger Lehm, 300 m NN). ENGELS vermutet,

dass für den Pilz nicht genügend abgestorbene Pflanzenmasse vorhanden ist (ENGELS, R., 1994, S. 37). Dieser Sachverhalt wird durch schweizer Versuche von WINTER bestätigt, der Ähnliches feststellte. So war in seiner Untersuchung bei St. Gallen und Zürich der Befall bei einer Herstdüngung im September oder Oktober (nach dem letzten Schnitt) von 40 kg N / ha gegenüber 80 kg N / ha um 10 % geringer (WINTER, W., 1986, S. 53, 79). Ansonsten wurden in beiden Varianten jeweils 52 kg / ha zu den vorhergehenden drei oder vier Schnitten gegeben. Daraus lässt sich ableiten, dass eine hohe Stickstoffdüngung im Herbst den Befall mit *Fusarium* fördert. Laut einer Empfehlung von WINTER, sollte der letzte Schnitt im Oktober mit einer anschließenden Düngung von höchstens 40 kg / ha N durchgeführt (WINTER, W., 1986, S. 96) werden.

Fusarien sind empfindlich gegen Wassermangel. Daher spielen sie mehr auf dem Feld als bei der Futterlagerung eine Rolle (ENGELS, R. u. KRÄMER, J., 1995, S. 73).

Die Arten im Einzelnen:

Fusarium nivale

Seine größte Aggressivität besitzt er bei Temperaturen von 0 °C bis 5 °C. Doch ist er unfähig, Frost ungeschützt zu überleben (WISNIEWSKI, K. et al., 1997, S. 221). Daher wird der Befall durch lange und schneereiche Winter sowie Schneefall auf ungefrorenem Boden begünstigt (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 91). Die Schneedecke hat für den Bestand auch den Nachteil, dass die Pflanzen an den Boden gedrückt werden und durch bodenbürtiges Inokulum zusätzlich verseucht werden (WINTER, W., 1986, S. 47, 55, 93). Unabhängig davon gibt es eine sortenspezifische Regenerationsfähigkeit der Triebe nach Schneeschimmelbefall (WINTER, W., 1986, S. 66 f.).

Bei einer hohen N-Düngung (im Versuch über 300 kg pro ha am Standort) ist laut SKIRDE mit erhöhtem Befall von *F. nivale* zu rechnen. Dieser Wert wird jedoch auf landwirtschaftlichem Grünland selten überschritten.

Außerdem haben sich Gaben im September als besonders ungünstig herausgestellt. SKIRDE bevorzugt die letzte Düngung eher im November und Dezember als im September (SKIRDE, W., 1980, S. 46). Das kann in Bayern - auch ohne Berücksichtigung der Kernsperrfristen für die Gülleausbringung - nicht uneingeschränkt empfohlen werden, da die Bestände eventuell aufgrund des strengen Winters dann nicht mehr aufnahmefähig sind und die Nährstoffe dann ausgewaschen würden. Außerdem ist ein nicht signifikanter Trend festzustellen, dass Reinkulturen von Weidelgrassaaten im Vergleich zu Klee-grassaaten höhere Befallszahlen zeigen (SKIRDE, W., 1980, S. 44; ENGELS, R., 1994,

S. 53). Zur Vermeidung von Schneeschimmel ist den Landwirten der Anbau von Artenmischungen und von Sorten mit guter Resistenz anzuraten.

Fusarium culmorum* und *Fusarium avenaceum

Diese Pilze verursachen v. a. Auflaufschäden. Außerdem gibt es Hinweise auf einen Antagonismus mit *Trichoderma*-Pilzen (WINTER, W., 1986, S. 87, 93).

Toxinbildung

Bei der Besiedelung der Pflanzen mit *Fusarium ssp.* ist noch ein Nebenaspekt zu erwähnen. Beim Befall werden durch die Pilze Mykotoxine gebildet, die für landwirtschaftliche Nutztiere gefährlich werden können. Auch eine Lebensmittelbelastung tierischer Erzeugnisse erscheint nicht ausgeschlossen. Die wichtigsten dabei gebildeten Toxine sind Zeaalenon (verursacht Fruchtbarkeitsstörungen), T-2-Toxin (giftig), Diacetoxyscipenol, Nivalenol und Deoxynivalenol (mindergiftig) (ENGELS, R., 1994, S. 2,3).

Die Konzentration an Toxinen ist von mehreren Faktoren abhängig wie etwa dem Trockenmassegehalt des Erntegutes. Ein hoher Einfluss wird dem Standort und den Witterungsverhältnissen zugeschrieben (ENGELS, R. u. KRÄMER, J., 1985, S. 54, 57).

2.4.1.2 Andere Pilze

Kronenrost an Gräsern

Puccinia coronata var. coronata ist eine der wichtigsten Krankheiten an mitteleuropäischem Weidelgras und hat in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 521, 530).

Der Befall beginnt im September und Oktober (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 521). Kronenrost braucht einige Tage Blattnässe, um in die Stomata des Weidelgrases eindringen zu können. Er entwickelt sich daher v. a. bei Taunässe im Herbst, was für die geschädigten Pflanzen eine schlechte Ausgangssituation für den Winter bedeutet (angegriffenes Regenerationsvermögen) (BIRCKENSTAEDT, E., 1990, S. 8, 12, 23, 83, 105). Sehr trockene und warme Sommermonate vermindern den Befall, niederschlagsreiche Witterung begünstigt das Auftreten. Außerdem fördern hier im Gegensatz zu *Fusarium* geringe Stickstoffdüngung und fehlende Schnittnutzung den Rostbefall (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 92 f.). REHEUL und GHESQUIERE berichten von generell verminderten Befällen in Mischungen mit Weißklee. Sie diskutieren einen Zusammenhang mit der durch Leguminosen verursachten erhöhten N-Anwesenheit (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 531).

Ein Fungizideinsatz ist wie bei den anderen Pilzen nicht möglich, da durch die einzuhaltenen Wartezeiten die Verfütterung erschwert wird. Außerdem sind sie zu teuer. Somit ist der Fungizideinsatz bei Gräsern weitgehend auf die Samenvermehrung und Rasenpflege (Golfplätze, Sportplätze etc.) beschränkt. Als Bekämpfungsmethode in der Landwirtschaft empfiehlt sich v. a. ein früher Schnitt, um die Vermehrung der Sporen zu verhindern (BIRCKENSTAEDT, E., 1990, S. 8). Aus Erfahrungswerten ist bekannt, dass ein Mäh-schnitt den Bestand vier bis fünf Wochen rostfrei hält (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 531).

Außerdem trägt der rassebildende Kronenrost dazu bei, den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten zu vermindern, was - wie später noch erläutert - zu verminderter Frost-härte führt (BIRCKENSTAEDT, E., 1990, S.7).

REHEUL und GHESQUIERE bonitierten in Versuchen den Befall in fünf Stufen. Dabei ergab sich folgendes Bild: Die Korrelation zwischen den Jahresergebnissen betrug 0,53 und 0,48. Nur wenige Prozent blieben in beiden Jahren konstant in der gleichen Stufe (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 523 f.). Die Korrelation zwischen den Standorten betrug 0,44 bis 0,72 (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 525). Das bedeutet große Jahres- und Standorteinflüsse.

Die Verbesserung der Resistenz gegen Kronenrost ist eines der Ziele in Züchtungsprogrammen. Die Vererbung einzelner Resistenzen geschieht sowohl quantitativ als auch qualitativ (LELLBACH, H. u. RUGE, B., 1996, S. 119). Horizontale Resistenzen sind bei vielen Sorten bekannt (BIRCKENSTAEDT, E., 1990, S. 67).

Rostresistenz wird nur von wenigen Genen gesteuert und ist deshalb vergleichsweise leicht zu verbessern (RAVEL, C. et al., 1995, S. 263). Die hohe Variabilität auf der Wirtseite, in bezug auf Kronenrostresistenz, weist auf gute Chancen für die Resistenzzüchtung hin (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 93). So gibt es Hinweise, dass einzelne Resistenzen von zwei Hauptgenen und mehreren Minorgenen beeinflusst werden, (LELLBACH, H., 1996, S. 128) oder dass bei der Heritabilität im engeren Sinn der Kronenrostresistenz in einzelnen Populationen ein Wert von $h^2 = 0,58$ gefunden wurde (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 527).

Durch reziproke Kreuzungen empfindlicher und toleranter Sorten von Welschem Weidelgras konnten Unterschiede im Resistenzverhalten der Nachkommen beobachtet werden. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass auch maternale Faktoren für die Resistenzübertragung bei Weidelgräsern verantwortlich sein können (ADAMS, E. et al., 1998, S. 942).

Die Korrelation von Kronenrostresistenz mit der Ausdauer wird mit 0,79 beziffert, was die Bedeutung dieser Krankheit unterstreicht (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 93). Die

Resistenz ist mit dem Ertrag (bei nicht Auftreten der Krankheit) negativ korreliert, ungefähr - 0,15. Das mündet bei einer Resistenzsteigerung um 1 Stufe in einer Abnahme des Trockenmasseertrages um durchschnittlich 1 %. Dieser Verlust kann leicht verkraftet werden kann, da die Futterqualität dafür entscheidend besser wird (REHEUL, D. u. GHESQUIERE, A., 1996, S. 528, 530).

***Drechslera*-Arten**

Die Gattung *Drechslera* gehört zu der Unterabteilung *Deuteromycotina* mit der Hauptfruchtform *Pyrenophora*. *Drechslera* gehört mit zu den bedeutenden Blattfleckenkrankheiten bei Weidelgras. Für *Lolium* sind nur die drei Arten *Drechslera siccans*, *Drechslera dictyoides* und *Drechslera andersenni* relevant (BURHENNE, S., 1992, S. 7 f., 140). Eine Unterscheidung der Arten erfolgt über die Konidienform. Alle drei Pilzarten weisen eine hohe genetische Variabilität auf (BURHENNE, S., 1992, S. 167).

Für die Sporulation gibt es einen optimalen Temperaturbereich, der bei 15 °C bis 20 °C liegt (BURHENNE, S., 1992, S. 47). Eine Luftfeuchte von mindestens 94 % ist für eine 100 %ige Sporenkeimung Voraussetzung (BURHENNE, S., 1992, S. 57). Ältere Blätter werden stärker befallen als jüngere (BURHENNE, S., 1992, S.58, 145).

Nach BURHENNE konnte keine einheitliche Aussage darüber getroffen werden, ob eine steigende Stickstoffmenge einen Befallszuwachs verursacht. Es konnten jedoch erreger- und sortenspezifische Unterschiede ermittelt werden (BURHENNE, S., 1992, S. 88).

Auch *Drechslera* bildet Mykotoxine. Diese sind für die Pflanzenzellen teilweise toxisch und können Nekrosen verursachen oder Keimlingsmortalität bewirken (BURHENNE, S., 1992, S. 101, 107, 108).

Die Resistenzen gegen *Drechslera* sind, obwohl erreger- und sortenspezifische Unterschiede festgestellt wurden, quantitativ (BURHENNE, S., 1992, S. 144).

Durch den Befall mit *Drechslera* werden die wasserlöslichen Kohlenhydratgehalte erniedrigt, was - wie später noch ausgeführt - zu einer verringerten Frosthärte führt (BURHENNE, S., 1992, S. 153).

Rhynchosporium

Rhynchosporium-Blattflecken sind eine weitere wichtige Gräserkrankheit. An Futtergräsern kommt in der Natur nur *Rhynchosporium orthosporium* Caldwell vor. Der Pilz ist ras-selbildend. Aktuell sind auf *Lolium perenne* bisher 30 verschiedene Rassen differenziert worden, die eine hohe Variabilität und unterschiedliche Aggressivität besitzen.

Bei Weidelgras bestehen Sortenunterschiede in der Anfälligkeit. Eine vollständige Resistenz ist jedoch von KASTIRR unter 164 europäischen Herkünften nicht beobachtet worden (KASTIRR, U., 1998, S. 30 f.).

Der Pilz bildet extrazelluläre polysaccharidabbauende Enzyme (z. B. Xylanase und wenig Cellulase) sowie Phytotoxine. Die Welke wird vielleicht durch die polysaccharidabbauenden Enzyme Xylanase und Cellulase verursacht (KASTIRR, U., 1996, S. 48 f.).

***Laetisaria fuciformis* und andere Erreger**

Besonders während frostfreier Perioden und feuchten Verhältnissen tritt dieser Pilz begünstigt hervor (WINTER, W., 1986, S. 93). Er reduziert stark die Triebzahl und kann auf Weizen übergehen (WINTER, W., 1986, S. 88, 90).

Auch Erreger aus anderen biologischen Gruppen wie Viren oder Bakterien, wie z.B. das Raygrasmosaikvirus, das Raygras-Cryptic-Virus und die bakterielle Welke durch *Xanthomonas campestris* spielen eine Rolle für die Überwinterung (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 88, 90). Ihre Relevanz wird aber als vergleichsweise gering beschrieben.

2.4.2 Abiotische Faktoren

Einfluss auf die Winterhärte haben insbesondere die abiotischen Parameter Temperatur, Lichtintensität, Photoperiode, Bodenfeuchte, Nährstoffgehalt, Schnee- und Eisdecken und die Windverhältnisse (FULLER, M. P. u. EAGLES, C. F., 1978, S. 217; DEXTER, S. T., 1956, S. 211, 218, 223). Dabei soll die Frosthärte näher beleuchtet werden.

2.4.2.1 Kälteschäden

Niedrige Temperaturen gehören zu den wichtigsten begrenzenden Wachstumsfaktoren. Mit zunehmender geographischer Breite, Meereshöhe und Küstenentfernung nehmen die Temperaturen ab (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 71).

Bei den abiotischen Resistenzen ist die Frosthärte nicht die alleinige, aber die bedeutendste Resistenz im europäischen Raum (PFEFFER, B. u. PFEFFER, H., 1991, S. 88). Dabei ist der Grad der Frosthärte, den ein Genotyp zeigt, nicht immer gleich, sondern ändert sich auch zeitlich im Jahresverlauf. Entscheidend für das Überleben ist der aktuelle Wert bei Kältephasen. Diese ist abhängig von dem maximal erreichbaren Grad der

Frosthärte, der Schnelligkeit des Härtens und der Reaktion auf warme Wettereinbrüche (EAGLES, 1989, S. 339).

Lolium perenne ist nicht sehr frosthart, so dass es in extrem rauen Klimaten nach wenigen Jahren verschwunden ist (NEKROSAS, S., 1998, S. 220; BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 77). Die Selektion auf Kältehärtigkeit ist - neben der Selektion auf *Fusarium*-Resistenz - die erfolgversprechendste für eine Verbesserung der Winterhärtigkeit (FULLER, M. P. u. EAGLES, C. F., 1978, S. 217). Daher sind für das Screening der Sorten und die Selektionszüchtung aussagekräftige Frostversuche wichtig. Da LT_{50} -Messungen etwas aufwendig sind, geben LORENZETTI et al. ein vereinfachtes Verfahren an, das nach seiner Aussage eine geeignete Methode für die Unterscheidung und Selektion von Genotypen bezüglich der Kältehärtigkeit ist. Dazu soll die Behandlung in der Klimakammer so gestaltet sein, dass im Gesamtdurchschnitt ein Überleben von 50 % der Triebe erwartet werden kann. In seinem Fall waren es 14 Tage Härten bei 2 °C und 72 Stunden Gefrieren bei - 8 °C. Der danach sortenspezifisch ermittelte prozentuale Anteil der überlebenden Triebe (nicht Pflanzen) 15 Tage nach dem Frosten besitzt eine hohe Aussagekraft und ermöglicht eine Beurteilung der Frostempfindlichkeit (LORENZETTI, F. et al., 1971, S. 200 f.).

Ein zu später letzter Schnittermin wirkt sich ungünstig aus. Der letzte Schnitt sollte im Oktober sein, um starke Kälteschäden zu verhindern (WINTER, W., 1986, S. 1, 60).

Eine Krankheitsinfektion schädigt den Bestand nicht nur durch den Verlust und das Abtöten von Pflanzen, sondern auch durch eine Verminderung der Kälteresistenz. Diese wird verursacht durch eine größere thermische Verwundbarkeit aufgrund der pilzlichen Beschädigungen (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 81). Bei *Lolium perenne* gilt: Die Blätter sind gegen Frost empfindlicher als die Triebe, ältere Blätter mehr als jüngere. Die LT_{50} für Wiederaufwachsen ist höher als die LT_{50} für Tod. D. h., obwohl die Pflanzen überleben, treiben sie nicht wieder aus (FULLER, M. P. u. EAGLES, C. F., 1978, S. 221).

Von entscheidender Bedeutung für die Überwinterung ist die Schneedecke, die als schlechter Wärmeleiter die Pflanze gut vor Frost schützt, zugleich aber den Befall mit Auswinterungspilzen fördert (DEXTER, S. T., 1956, S. 208). Bei Frost kann es unter der Schneedecke trotzdem bis + 5 °C haben. Pilzen reichen meist 2 °C zum Wachsen aus (JAMALAINEN, E. A., 1962, S. 139 f.).

Die Zerstörung des Gewebes geschieht durch Eisbildung und dem Platzen der Zellen. Die extrazelluläre Eisbildung ist als weniger schlimm anzusehen, die intrazelluläre Vereisung ist letal (Plasmalemma wird zerstört) (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 87; DEXTER, S. T., 1956, S. 208). Im Winter kommt es durch extrazelluläre Eisbildung unter Wasserabgabe aus dem Plasma, des weiteren durch geringere Wasseraufnahme und verzögerten Stomatenschluss zu Wasserdefizit und Austrocknung (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 73).

Verringerte Wasseraufnahme bei Kälte wird verursacht durch größere Viskosität der Flüssigkeiten, geringere Permeabilität der Wurzelzellen und geringere hydraulische Leitfähigkeit (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 83). Fehlende Schneedecken und Wind sind hierbei förderlich.

2.4.2.2 Winterbrand

In anderen Gebieten ist eine andere Erscheinung während des Winters von Bedeutung. Sonnenschein führt zu warmen Wintertagen mit warmer Luft. Die oberen Teile der Pflanze fangen an zu transpirieren und geben Wasser ab. Wind beschleunigt den Prozess der Wasserabgabe. Der Boden ist aber gleichzeitig noch gefroren und die Wurzeln sind nicht in der Lage, Bodenwasser aufzunehmen. Die Blätter leiden an Wassermangel und welken, zeigen Nekrosen oder sterben ab (SCHUMANN, G. L., 1991, S. 315 f.).

Winterbrand ist in nördlichen Regionen stärker verbreitet, da dort eine große Winterdormanz (Ruhezustand) herrscht und ein Erneuern der verwelkten Blätter während des Winters nicht stattfinden kann (THOMSON, A. J., 1974, S. 546).

2.5 Erblichkeitsanteil der Winterhärte

Winterhärte ist die Summe von Reaktionseigenschaften, die polygen vererbt werden (WALDRON, B. L. et al., 1998, S. 817; DEXTER, S. T., 1956, S. 218). Es handelt sich daher um eine quantitative, horizontale Resistenz. Der Grad der Winterhärte einer Pflanze kann nicht als ein absoluter, vorherbestimmter Wert angesehen werden, sondern vielmehr als das Ergebnis eines ständigen Anpassungsprozesses mit genetischen Voraussetzungen und deren Ausprägung stark von Umwelteinflüssen bestimmt wird (DEXTER, S. T., 1956, S. 228). Auch die Winterhärte setzt sich zusammen aus einem vererbten Anteil und einer Umweltreaktion. Im folgenden wird der Frage nachgegangen, wie hoch die Erblichkeit ist.

Komponenten der Winterhärte

Dazu bediente sich z.B. HUMPHREYS einer Varianz- und einer Korrelationsanalyse zu 14 winterrelevanten Merkmalen bei 86 Populationen von Deutschem Weidelgras während der Überwinterung von 1981 auf 1982 in Aberystwyth (Wales). Die Populationen stammten aus ganz Europa, den USA und Neuseeland. Die Herkünfte deckten somit eine weite Spanne von Winterbedingungen der Welt ab. Es wurden die Heritabilitäten der Merkmale geschätzt und eine Korrelationsmatrix der genetischen Zusammenhänge erarbeitet.

Tabelle 2: Errechnete Erblichkeitsanteile bei den einzelnen Merkmalen
(HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 101)

Merkmal	Heritabilität i. w. S.
Frischmasseertrag pro Pflanze von September 81 bei Schnitt auf 10 cm	0,54
Stickstoffgehalt von September 81	0,34
Kronenrostbonitierung (1 bis 5) von November 81	0,64
Blattschadensbonitierung (1 bis 5) von Januar 82	0,51
LT ₅₀ -Wert von Februar 82	Fehlt
Blattschadensbonitierung von März 82	0,54
Trockenmasseertrag pro Pflanze von März 82 bei Schnitt auf 10 cm	0,42
Stickstoffgehalt von März 82	0,34
Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten von März 82	0,38
Frühlingswachstumsbonitierung (1 bis 5) von Mai 82	0,31
Zeitpunkt des Ährenschiebens	0,99
Trockenmasseertrag pro Pflanze von Oktober 82 bei Schnitt auf 10 cm	0,27
Stickstoffgehalt von Oktober 82	0,40
Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten von Oktober 82	0,60

* Anzahl verstrichener Tage seit 1. April bei Erscheinen der dritten Ähre, gemessen als Durchschnittswert einer Stichprobe von 40 Pflanzen pro Population)

Tabelle 3: Genetische Korrelationsmatrix von 14 Merkmalen
(HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 102) 84 Freiheitsgrade, $P < 5\%$

Merkmal	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
1. Frischmasseertrag pro Pflanze von September 81 bei Schnitt auf 10 cm	1,0													
2. Stickstoffgehalt (September 1981)	- 0,4	1,0												
3. Kronenrostbonitierung (1 bis 5) (November 1981)	- 0,9	0,2	1,0											
4. Blattschadensbonitierung (1 bis 5) (Januar 1982)	0,4	0,3	- 0,8	1,0										
5. LT ₅₀ -Wert von Februar 82	- 0,1	- 0,4	0,2	- 0,4	1,0									
6. Blattschadensbonitierung (März 1982)	- 0,1	0,2	0,0	0,7	- 0,3	1,0								
7. Trockenmasseertrag pro Pflanze; Schnitt auf 10 cm (März 1982)	0,9	0,0	- 0,9	1,0	- 0,4	0,6	1,0							
8. Stickstoffgehalt (März 1982)	- 0,4	0,3	0,5	- 0,4	0,3	0,0	- 0,3	1,0						
9. Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (März 1982)	- 0,9	0,5	0,7	- 0,2	- 0,1	0,3	- 0,5	0,0	1,0					
10. Frühlingswachstumsbonitierung (1 bis 5) (Mai 1982)	0,4	- 0,4	- 0,2	0,1	0,2	0,3	- 0,4	0,5	0,0	1,0				
11. Zeitpunkt des Ährenschiebens (Erscheinen der dritten Ähre)	0,5	0,4	- 0,6	0,7	- 0,5	0,2	0,6	- 0,5	0,0	- 0,4	1,0			
12. Trockenmasseertrag pro Pflanze; Schnitt auf 10 cm (Oktober 1982)	1,0	- 0,3	- 0,8	0,6	0,0	0,2	1,0	- 0,1	- 0,8	0,3	0,4	1,0		
13. Stickstoffgehalt (Oktober 1982)	- 0,5	0,0	0,8	0,6	0,5	- 0,3	- 0,5	- 0,4	0,4	0,6	- 0,7	- 0,5	1,0	
14. Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (Oktober 1982)	0,4	- 0,1	- 0,4	0,6	- 0,3	0,3	0,6	0,6	0,0	- 0,1	0,7	0,6	- 0,7	1,0
Merkmal	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.

Auffallend ist der Gegensatz zwischen Stickstoffgehalt im Oktober und wasserlöslichen Kohlenhydraten (WKH) (- 0,7). Der Gehalt an WKH wird durch Stickstoffdüngung zu Vegetationsende (vermehrtes Herbst- und Winterwachstum) erniedrigt, was sich auf die Winterhärte - wie später noch dargestellt - negativ auswirkt (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 106). Neben der *Fusarium*-Problematik (siehe 2.4.1.1) ist auch aus Sicht der Frosthärte eine Herbsdüngung als kritisch zu sehen.

Anhand dieses Sortenspektrums wurde errechnet, dass spätes Ährenschieben die LT_{50} -Werte erniedrigt d.h. verbessert (- 0,5).

In einem Parallelversuch in Aberystwyth mit den gleichen Populationen und gleicher Behandlung ergab sich nach der Überwinterung 1981 auf 1982 eine Korrelation von - 0,46 zwischen dem LT_{50} und dem Zeitpunkt des Ährenschiebens (Definition: Siehe Tabelle 3 unten) (HUMPHREYS, M. O. u. EAGLES, C. F., 1988, S. 81). Letztendlich wurde dazu folgende Regressionsgleichung aufgestellt:

$$LT_{50} = - 0,05 * \text{Zeitpunkt des Ährenschiebens} + 0,14 * \text{Minimumtemperatur des kältesten Monats} - 4,67$$

(HUMPHREYS, M. O. u. EAGLES, C. F., 1988, S. 82)

Im Versuch tendieren also frühe Sorten zu verminderter Frostresistenz. Daraus lässt sich schließen, dass es züchterisch sinnvoll wäre, verstärkt Genotypen mit spätem Ährenschieben als Ausgangsmaterial einzusetzen.

In einer weiteren Auswertung dieser Daten wurden die Korrelationen durch eine Hauptkomponentenanalyse zu drei Hauptkomponenten gebündelt, die untereinander unabhängig sind. Die Ladungen stellen dabei den relativen Beitrag der Merkmale an den Hauptkomponenten dar.

Tabelle 4: Merkmalsladungen für die wichtigsten drei Hauptkomponenten hergeleitet von den genetischen Korrelationen aus Tabelle 3 (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 103)

Merkmal	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Frischmasseertrag pro Pflanze von Schnitt auf 10 cm (September 1981)	0,29	- 0,40	- 0,11
Stickstoffgehalt von September 81	0,04	0,35	0,02
Kronenrostbonitierung (1 bis 5) (November 1981)	- 0,34	0,28	0,08
Blattschadensbonitierung (1 bis 5) (Januar 1982)	0,34	0,07	0,36
LT ₅₀ -Wert (Februar 1982)	- 0,30	- 0,51	0,13
Blattschadensbonitierung (März 1982)	0,12	0,17	0,64
Trockenmasseertrag pro Pflanze Schnitt auf 10 cm (März 82)	0,29	- 0,12	0,31
Stickstoffgehalt (März 1982)	- 0,17	- 0,02	0,30
Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (März 1982)	- 0,12	0,42	0,13
Frühlingswachstumsbonitierung (1 bis 5) (Mai 1982)	- 0,01	- 0,12	0,28
Zeitpunkt des Ährenschiebens (dritte Ähre)	0,48	0,22	- 0,29
Trockenmasseertrag pro Pflanze Schnitt auf 10 cm (Oktober 1982)	0,22	- 0,29	0,19
Stickstoffgehalt (Oktober 1982)	- 0,28	- 0,04	0,17
Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (Oktober 1982)	0,31	0,09	0,07
Anteil an der Gesamtvarianz in Prozent	49	21	10

Die erste Komponente ist geprägt vom Zeitpunkt des Ährenschiebens, Blattschadensgrad des Januar, Kronenrostbefall im November und Trockenmasseertrag (März) und stellt nach Meinung von HUMPHREYS das „Winterwachstum“ dar.

Der zweite Faktor kann als „Winterhärte“ bezeichnet werden, da LT₅₀, Gehalt an WKH im März, Kronenrostbefall im November und Stickstoffgehalt (September) stark vertreten sind. Winterhärte ist also v. a. abhängig von der Frosthärte. Hohe WKH-Gehalte im März und niedrige Herbstserträge wirken sich positiv aus.

Der dritte Faktor wird als „Frühlingsaktivität“ angesehen (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 102 f.). Zusammen sind diese drei Hauptkomponenten für 80 % der genetischen Gesamtvarianz verantwortlich, was ein hoher Wert ist.

Resistenz-Anpassung und Ertrags-Anpassung sind oft negativ korreliert (BRESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 79). Dies stellt einen erheblichen Nachteil für die Züchtung dar, da es schwer ist, robuste Hohertragssorten zu erzeugen.

Auch die Kombination einer ausgezeichneten Winterhärte mit gleichzeitig hervorragendem Winterwachstum kommt selten vor (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 99). Da aber die obigen Hauptkomponenten unabhängig sind, wäre demnach ein kombiniertes Zuchtziel gute Winterhärte und gutes Winterwachstum (im späten Herbst und frühen Frühling) dennoch durchaus möglich.

Mit dieser Auswertung wurde von HUMPHREYS der schwierige Versuch unternommen, mit Hilfe der Statistik die Zusammensetzung des komplexen genetischen Merkmals Winterhärte zu ergründen und in die Einflussfaktoren zu zerlegen. Dabei kann das Ergebnis jedoch nur als Diskussionsgrundlage und Hinweis angesehen werden.

Herleitung des Erblchkeitsanteils

Der genetische Anteil kann durch die Formel Erblchkeitsanteil der Merkmale * Beitrag der Merkmalsladung am Faktor Winterhärte als gewichteter Durchschnitt des Erblchkeitsanteils errechnet werden (eigene Überlegung). Danach beträgt die Heritabilität der Winterhärte 48 % und der Umweltanteil 52 %.

Natürlich ist dies nur ein überschlägiger Wert. Auch fehlen in den Angaben der Wert für LT_{50} , der einen großen Anteil darstellt.

Heritabilitätsschätzung von REHEUL

Die Heritabilität im engeren Sinne, hergeleitet mit einer Regressionsanalyse ($h^2 = 2b$) aus den Ergebnissen einer Polycrossanlage mit nicht näher definierten Sorten von *Lolium perenne* von 1985 bis 1987, wurde von REHEUL für die Winterhärte auf den Wert 0,29 geschätzt, mit der Amplitude 0,10 bis 0,47. Eine genaue Herleitung oder Begründung ist nicht angegeben (REHEUL, D., 1989, S. 11).

Der größere Wert stammt aus einem strengen Winter und deutet nach seinen Worten auf eine stärkere genetische Auslese bei besonders ungünstigen Bedingungen hin.

Von REHEUL wurde (ohne Begründung) geschätzt, dass die besten 15 % einer Population herausselektiert werden müssen, um die Nachkommen in ihrer Winterhärte um 10 % zu verbessern (REHEUL, D., 1989, S. 11).

2.6 Zusammenhänge der Winterhärte mit anderen Merkmalen

Variablen der Winterhärte sind laut THOMSON auch Wintervitalität, Winterbrand, Kälteresistenz und früher Frühlingsertrag. In seinem Versuch wurden 24 Sorten durch eine multivariate Analyse auf die Beziehungen zwischen diesen vier Variablen untersucht und dargestellt.

Tabelle 5: Weitere Korrelationen (THOMSON, A. J., 1974, S. 547)

Merkmal	Vitalität	Winterbrand	Frostschäden	Frühjahrsertr.
Vitalität	1,0	- 0,874	0,309	0,793
Winterbrand		1,0	- 0,554	- 0,873
Frostschäden			1,0	0,314
Frühjahrsertrag				1,0

Aufgrund der unterschiedlichen Vorzeichen lassen sich schon wichtige Zusammenhänge erkennen. Diese Matrix zeigt, dass sich Vitalität, Frostempfindlichkeit und Frühjahrsertrag vom Winterbrand abgrenzen. Das bestätigt die Erfahrung, dass mediterrane und nördliche Sorten in diesen einzelnen Eigenschaften entgegengesetzt ausgerichtet sind. Die obigen Werte wurden ebenfalls zu Hauptkomponenten zusammengefügt.

Tabelle 6: Merkmalsladungen der Faktoren (THOMSON, A. J., 1974, S. 547)

Merkmal	Faktor 1	Faktor 2
Vitalität	- 0,262	0,312
Winterbrand	1,502	- 0,301
Frostschädigung	0,171	1,484
Frühjahrsertrag	- 0,001	- 0,001
Anteil an der Gesamtvarianz in Prozent	61,7	26,1

Der erste kanonische Faktor beschreibt die Anpassung an die Winterbedingungen, da Vitalität und Winterbrand stark darin eingehen, und ist daneben auch eine biologische Beschreibung des komplexen Charakters der Winterhärte. Der zweite Faktor erklärt das Frühjahrsertragspotential (THOMSON, A. J., 1974, S. 547). Verwunderlich ist dann aber, warum die Frostschäden stark positiv darin eingehen. Interessant ist, dass die Winterhärte nicht vom Frühjahrsertrag beeinflusst wird, also nach dem ersten Schnitt noch Regenerationsvorgänge möglich sind.

WALDRON et al. untersuchten Nachkommen (Halbgeschwister) einer Topcross-Kreuzung zwischen einem winterharten Vater (NK-200) und 121 etablierten nicht winterharten Hohertragsorten.

243 zufällig ausgewählte Nachkommen wurden an zwei Standorten in Minnesota in einem Feldversuch gepflanzt. Im Folgejahr der Anpflanzung wurden die Winterhärte (tot - gesund), Blattstruktur (grob - fein), Kronenrostresistenz (krank - gesund), Rasenqualität (schlecht - gut), Wuchsform (daniederliegend - aufrecht) und Ausbreitungsfreudigkeit (klein - groß) bonitiert. Es ergab sich folgendes Bild.

Tabelle 7: Genotypische Korrelationen (WALDRON, B. L. et al., 1998, S. 820) von 243 Nachkommenschaften aus einem Topcross mit einem sehr winterhartem Vater (Auspflanzung Mai 1993 in Minnesota, Bonitierung 1994 und 1995)

	Rasenqualität	Kronenrostresistenz	Blattstruktur	Wuchsform	Ausbreitungsfreudigkeit
Winterhärte	- 0,15	0,01	- 0,25	- 0,08	0,36
Rasenqualität		0,34	0,83	0,10	- 0,01
Kronenrostresistenz			0,13	- 0,24	0,18
Blattstruktur				0,20	- 0,42
Wuchsform					- 0,72

Die Winterhärte ist unerwünschterweise genetisch mit der Rasenqualität (Dichte, Farbe), der Blattstruktur und der Wuchsform verbunden. Danach wären winterharte Züchtungen mit grober Blattstruktur, schlechter Rasendichte und daniederliegendem Wuchs kombiniert und anhand dieser Merkmale selektierbar. Die Kronenrostresistenz verhält sich in dieser Auswertung überraschend neutral (0,01) (siehe 2.4.1.2). Die Ausbreitungsfreudigkeit (Bestockung) ist vorteilhaft korreliert.

Es wiesen einige Nachkommen sogar eine bessere Winterhärte auf, als der sehr harte Vater, was auf eine sogenannte transgressive Segregation schließen lässt (WALDRON, B. L. et al., 1998, S. 819). Auch bei Kronenrostresistenz und der Rasenqualität wurde Ähnliches beobachtet. Das geringe Auftreten dieser Segregation erklärt den geringen Zuchtfortschritt über diesen Weg. Die Wuchsform wird ebenfalls polygen vererbt (HOFFMANN, W. et al., 1985, S. 387) und daher können bestimmte Wuchsformen nur sehr bedingt als Hinweis auf Winterhärte dienen.

Geeignete Selektionsverfahren für Persistenz

Bei einem Versuch in Göttingen wurden vier einheimische Sorten von Deutschem Weidelgras von 1986 bis 1988 bezüglich ihrer Persistenz beobachtet. Dabei wurden unterschiedliche Stickstoffstufen (180 bis 440 kg / ha), Schnitthäufigkeiten (drei und sechs) und Schnitthöhen (3 und 7 cm) angewandt.

Es zeigte sich, dass insbesondere ein sechsmaliger Schnitt pro Jahr, kombiniert mit tiefer Schnitthöhe (3 cm) einen besonderen und sortenabhängigen Stress auf die Pflanzen ausübt, wobei eine niedrige Schnitthöhe den Hauptstressor darstellt. Ab dem zweiten Behandlungsjahr ließen sich die geringer persistenten Pflanzen durch diese Behandlung schon frühzeitig ausselektieren (BUGGE, G., 1991, S. 305).

Allerdings lassen sich die Ergebnisse, die von Einzelpflanzen im Zuchtgarten gewonnen wurden, nicht uneingeschränkt auf landwirtschaftliche Bestände übertragen, da auch Konkurrenzwirkungen im Bestand eine Rolle spielen (BUGGE, G., 1991, S. 306) und diese im Versuch nicht abgebildet wurden.

Schätzung der Frosthärte mit Hilfe der Internodienlänge

Dieses Verfahren nach WOOD und COHEN verwendet im Gegensatz zu vielen anderen wissenschaftlichen Prüfungen die ganze Pflanze als Untersuchungsgegenstand. Bereits sieben Tage nach der Keimung ist diese Methode an Keimlingen durchführbar.

Es besteht eine negative Beziehung zwischen der Internodienlänge unterhalb der Krone und der Überlebensrate nach dem Gefrieren. Die Korrelation lag in mehreren Versuchen zwischen - 0,54 und - 0,90 (WOOD, G. M. u. COHEN, R. P., 1984, S. 517). Kurze Internodien deuten dabei auf eine bessere Frosthärte hin. Die Autoren vermuten, dass dann wertvolle Pflanzenteile durch den Boden länger geschützt bleiben bzw. nicht so schnell der kalten Atmosphäre ausgesetzt sind. Aus obigen Werten ist jedoch die große Unsicherheit zu ersehen, mit der dieses Verfahren behaftet ist.

Zusammenhang zwischen Kälteresistenz und Ploidiestufe

Bei Deutschem Weidelgras gibt es diploide und tetraploide Sorten.

Die Chromosomenverdopplung hat zwei genetische Wirkungen: Es erhöht den Gehalt an DNA und führt zu einem tetrasomischen Vererbungssystem. Welches davon den Haupteffekt darstellt ist noch ungeklärt. Weiterhin besitzen tetraploide Pflanzen gegenüber diploiden größere Zellen, ihre Zellteilungsrate ist jedoch geringer (SUGIYAMA, S., 1998, S. 58).

Beim Versuch von SUGIYAMA konnte die gesamte Sortenvariation bezüglich der Kälteresistenz (Messung von LT_{50} am 20. Dezember 1996 in Hirosaki) zu 72 % auf die Ploidiestufen, zu 21 % (diploid) bzw. 7 % (tetraploid) auf die Unterschiede innerhalb der beiden Stufen zurückgeführt werden (gemessen anhand der Summenquadrate einer Varianzanalyse von fünf autotetraploiden und sechs diploiden Sorten aus Niederlande, Schweden und Finnland) (SUGIYAMA, S., 1998, S. 57). Bemerkenswert ist, dass die Chromosomenverdoppelung mehr Gewicht hat als die Unterschiede in der genetischen Zusammensetzung der Sorten.

2.7 Physiologie

Stoffwechsel ist ein Kennzeichen des Lebens. Auch in der Pflanze laufen eine Vielzahl von chemischen Vorgängen ab. Diese hängen von Umwelteinflüssen ab. Auch Frost verursacht physiologische Veränderungen in der Zelle, insbesondere beim Kohlenhydratgehalt und bei den Aminosäuren.

2.7.1 Wasserlösliche Kohlenhydrate

Erkenntnisse über die Gehalte an löslichen Kohlenhydraten (Monosaccharide, Disaccharide, Fruktosane) ermöglichen, da sie Energiespeicher darstellen, Rückschlüsse auf die Überwinterungsfähigkeit (MATTHES, K., 1986, S. 132). So ist der Gehalt an WKH positiv mit der Frosthärte und der Abnahme des Wachstums bei niedrigen Temperaturen verbunden (EAGLES, C. F. u. WILLIAMS, J., 1992, S. 334). Besonders Saccharose und die Fruktosane - eine Klasse von Polysacchariden aus Fruktoseeinheiten - stellen die Hauptreservekohlenhydratform der ausdauernden Gräser in unseren Breiten dar (MATTHES, K., 1986, S. 5, 83). Mono- und Trisaccharide bilden den untergeordneten und schwankenden Anteil (POLLOCK, C. J. et al., 1988, S. 97).

Eine frostempfindliche Sorte hat einen geringeren Gehalt an Fruktosanen und an Saccharose. Der Saccharosegehalt ist stark positiv korreliert mit der Frostresistenz (BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995b, S. 190). Mit zunehmendem Gehalt dieser Stoffe steigt die Winterhärte („Frostschutzmittel“) (DEXTER, S. T., 1956, S. 209; HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 99; LAWRENCE, T. et al., 1973, S. 344).

Bei einem Düngungssteigerungsversuch wurde die Veränderung des WKH-Gehalts festgestellt. Es gab drei Düngestufen: Null, 250 und 500 kg / ha mit einem Volldünger (12/4/12). Somit gab es drei Stickstoffstufen: Null, 30 und 60 kg / ha, gedüngt jeweils im Februar und nach jedem Schnitt. Geschnitten wurde stets bei Erreichen von 20 cm Hö-

he, die Anzahl der Schnitte (einer bis fünf) war also abhängig vom Nachwuchsvermögen und damit der Düngermenge.

Dabei ergab sich in der Tendenz, dass mit steigender Stickstoffmenge die Schnitthäufigkeit (mehr Wachstum) und der Rohproteingehalt zunahm, der WKH-Gehalt jedoch abnahm. Dies traf besonders für den Hauptbestandteil Fruktosan zu, während Saccharose, eine Hexose, stabil blieb oder anstieg und damit zur größten Zuckerfraktion wurde (WAITE, R., 1958, S. 41). Da Stickstoff das Wachstum fördert, sinkt die Konzentration an WKH. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Versuch bei Trockenheit und Kälte stattfand. Diese Umstände wirkten sich überproportional ungünstig auf das Blattwachstum der 0-Variante aus und verzerrten das Ergebnis.

Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten während der Überwinterung wird durch Krankheiten in Herbst und Winter, vermehrtes Herbstwachstum durch späte Stickstoffdüngung oder spätes Schneiden und Winterwachstum erniedrigt, was sich auf die Winterhärte negativ auswirkt (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 106). Eine N-Düngung bis 30 kg / ha und Aufwuchs bewirkte einen Anstieg der WKH, eine weitere Erhöhung führte wieder zu einem Rückgang (WAITE, R., 1958, S. 42). MATTHES ermittelte, dass über der Variante mit 60 kg pro ha und Aufwuchs schon ein Rückgang des Fruktosangehalts zu verzeichnen war (MATTHES, K., 1986, S. 39, 59 f., 71, 80, 82, 124 f., 136, 139).

Dieser Zusammenhang ist auch an der Frosthärte ablesbar.

Tabelle 8: Auswirkung von Stickstoff und Schnitt auf die Kälteresistenz (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 84)

	Anteil überlebender Pflanzen in Prozent *			
	kein Stickstoff		Stickstoff	
	Kein Schnitt	Schnitt	kein Schnitt	Schnitt
1. Wdh	80	48	48	10
2. Wdh	33	18	2	1

* Stickstoff und Schnitt jeweils 10 Tage vor der Härtung von 12 Tagen bei 2 °C, Gefrieren von 3 Tagen bei - 8 °C.

Unter den Versbedingungen wirken sich Stickstoffdüngung und Schnitt negativ auf die Überlebensfähigkeit der Pflanzen aus. So kann hohe Temperatur, Stickstoff oder auch Schneiden vor dem Härten das Wachstum anregen, somit den WKH-Gehalt verringern und eine Verminderung der Kälteresistenz bewirken.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass jeder genetische oder umweltbedingte Faktor, der im Herbst und Winter eher das Wachstum fördert als die Akkumulation von Assimilaten, die Winterhärte senkt.

Umgekehrt zeigten Pflanzen, die unter Wasserknappheit litten und denen nur ein eingeschränktes Wachstum ermöglicht wurde, ebenfalls eine erhöhte Kälteresistenz (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 83).

Kurze Tage (im Herbst) reduzieren die Konzentration von bestimmten Enzymen, die für das Wachstum verantwortlich sind, stärker als diejenigen, die für die Assimilation maßgebend sind (LEVITT, J., 1980, S. 289). Außerdem stoppt bei niedriger Temperatur (im Herbst) das Wachstum nahezu und die Photosyntheserate sinkt. Die Photosynthese hat einen hohen Temperaturkoeffizienten, d. h. sie ist sehr von der Temperatur abhängig, und kommt bei niedrigen Temperaturen daher fast zum Erliegen. Die Photosynthese nimmt aber nicht so stark ab wie das Wachstum. Die Netto-Akkumulation von WKH ist somit bei 5 °C größer als bei 25 °C, die Konzentration von WKH steigt an (LEVITT, J., 1980, S. 283 f.).

Die Anreicherung von WKH ist eine Folge des reduzierten Wachstums der Pflanze bei etwa gleicher Photosynthese (Balanceverschiebung) und keine direkte Reaktion der Pflanze an sich (POLLOCK, C. J. et al., 1988, S. 95, 99).

Dabei gibt es jedoch Sortenunterschiede. Es besteht eine inverse Assoziation von Winterwachstum zu Winterhärte und Winterdormanz, die in ihrer Ausprägung von den Winterbedingungen der Ursprungsregion des Genotyps abhängig ist (COOPER, J. P., 1964, S. 55, 59 f.; THOMSON, A. J., 1974, S. 545). So zeigen skandinavische Sorten eine hohe Winterdormanz (Ruhezustand) und wachsen bei tiefen Temperaturen nicht. Dormanz ist ein Stadium von Wachstumsstillstand, kein Stadium von metabolischem Stillstand (LEVITT, J., 1980, S. 285). Aufgrund dieses fortgesetzten Metabolismus (Photosynthese) kommt es bei Wachstumsstillstand zu einer Akkumulation von WKH und damit zu einer Frostresistenzsteigerung (LEVITT, J., 1980, S. 286). Die mediterranen Sorten hingegen verwenden die Assimilate eher für das Winterwachstum (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 79, 83; COOPER, J. P., 1964, S. 57). Die Unterschiede in den Herkünften kommen also nicht durch eine unterschiedliche Photosyntheseleistung sondern durch eine unterschiedliche Verwendung der WKH zustande. Diese Unterschiede verschwinden erst bei + 20 °C völlig (COOPER, J. P., 1964, S. 57). Die Ersteren akkumulieren WKH als Reservestoff, die Letzteren achten - auch bei niedrigen Temperaturen - mehr auf das Blattwachstum und verbrauchen viel WKH.

Die Reaktion der einzelnen Herkunftse auf niedrige Temperaturen ist somit unterschiedlich und abhängig von den Winterbedingungen der Heimatregion (siehe 2.7).

Schlüsselenzyme

Bestimmte metabolische Prozesse werden auch bei niedrigen Temperaturen aufrechterhalten, um Frosthärte zu entwickeln. Aus der Konzentrations- und aktivitätsänderung einzelner Stoffe lassen sich daher Rückschlüsse auf die Frosthärte erstellen.

Interessante Schlüsselenzyme für den Zuckermetabolismus sind:

- für die Glykolyse Phosphofruktokinase (PFK)
- für die Bildung der Pentose-Phosphate Glukose-6-phosphat-dehydrogenase (G6PDH) und 6-Phosphoglukonat-dehydrogenase (6PGDH)
- für die Glukoseneubildung Fruktose-1,6-biphosphatase (FBPase)
(BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995b, S. 190)

Winterharte Sorten haben erhöhte Gehalte an Zuckerstoffen und Enzymen. In der kälteempfindlichen Sorte Yatsyn 1 wurde ein niedrigerer Gehalt an Zuckerstoffen und Enzymen in den Blättern festgestellt. Ein Zusammenhang scheint naheliegend. Der spezifische Effekt der vier Schlüsselenzyme erhärtet sich, weil Fruktanexohydrolase und Invertase, zwei andere Enzyme, keine Sortenunterschiede aufwiesen (BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995b, S. 193). Yatsyn 1 wies speziell eine verminderte Aktivität von PFK auf. Die niedrigere Aktivität von PFK war darauf zurückzuführen, dass die zytosolische Form dieses Enzyms (= PFK 1), die ein höheres molekulares Gewicht aufweist, vermindert vorhanden war (BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995b, S. 192). Frosthärte ist demnach zumindest zum Teil abhängig von hohen Gehalten an Zuckerstoffen und hoher metabolischer Aktivität.

Diese Aussagen wurden in einer anderen Untersuchung bestätigt. Dabei wurde nachgewiesen, dass die Aktivität von G6PDH während einer Härtung in der Klimakammer um bis zu 40 % angestiegen ist (BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995a, S. 566).

2.7.2 Aminosäuren

Sieben Wochen alte Pflanzen des Deutschen Weidelgrases wurden bei 2 °C und 8 h Tageslänge für zwei Wochen gehärtet. Dabei ergab sich die Beobachtung, dass sich der Gehalt an Aminosäuren in der Summe von 7,45 µg / g FM auf 19,9 µg / g FM fast verdreifacht hat (DRAPER, S. R., 1972, S. 640). Auch das Spektrum der einzelnen Aminosäuren hat sich geändert.

Tabelle 9: Veränderung des prozentualen Anteils der einzelnen Aminosäuren am gesamten Aminosäuregehalt (DRAPER, S. R., 1972, S. 640)

Aminosäure	Anteil vorher	Anteil nachher
Asparaginsäure	10,5 %	4,6 %
Threonin	15,2 %	2,5 %
Serin	10,9 %	27,2 %
Glutaminsäure	11,4 %	17,4 %
Prolin	2,1 %	14,4 %
Glycin	0,3 %	1,6 %
Alanin	18,4 %	6,8 %
Valin	2,3 %	2,7 %
Phenylalanin	14,1 %	6,3 %
Asparagin	10,0 %	7,3 %
Glutamin	4,7 %	9,4 %
Summe	= 100,0 %	= 100,0 %

Besonders Serin, Glutamin, Glutaminsäure, Glycin und Prolin haben sich drastisch erhöht. Das ist wahrscheinlich auf Veränderungen des Aufbaustoffwechsels zurückzuführen.

Insbesondere Prolin - eine zyklische Aminosäure - scheint als Indikator für die Resistenz gegen Frost gut geeignet zu sein. In anderen Versuchen hat sich nämlich herauskristallisiert, dass die Frostresistenz im Zusammenhang steht mit dem Gehalt an Prolin in den überirdischen Pflanzenteilen. Höhere Werte ergaben eine bessere Frosthärte. Bei Kälteeinwirkung - etwa im Herbst - erhöhte sich der Gehalt um mehrere 10 µmol pro g FM von fast Null auf 30 bis 70 µmol pro g und die Pflanzen wurden härter (SLIESARAVICIUS, A., 1998, S. 214 f.).

2.7.3 Abhärtung

Der Grad der Winterhärte einer Pflanze kann nicht als ein absoluter, vorherbestimmter Wert angesehen werden, sondern vielmehr als das Ergebnis eines ständigen Anpassungsprozesses mit genetischen Voraussetzungen und starken Umwelteinflüssen (DEXTER, S. T., 1956, S. 228). Überlebensfähigkeit ist unter anderem gekennzeichnet durch das Vermögen des Härtens und damit dem Widerstehen von ungünstigen Bedingungen (OLIEN, C. R., 1967, S. 388). Härtung ist die Vorbereitungsphase bei mildem Stress, die zu einer verbesserten Resistenz führt (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 72). Frostabhärtung ist somit das Ansteigen der Resistenz gegenüber Minus-Temperaturen, verursacht durch eine vorherige Behandlung der Pflanzen mit wenigen Graden über Null. Durch das langsame Gewöhnen an tiefe Temperaturen konnte so z. B. bei der winterharten Winterweizensorte Mironovskaya 808 eine deutliche Absenkung des LT_{50} -Wertes von $-16,5\text{ °C}$ auf -20 °C erreicht werden (WISNIEWSKI, K. et al., 1997, S. 224).

Das Härten und Enthärten sind komplexe metabolische Pflanzenreaktionen auf die schwankenden Lufttemperaturen im Feld. Vor allem eine gesteuerte Veränderung des WKH-Gehalts ist zu erwähnen. Im Herbst findet eine Erhöhung der Frostresistenz statt, im Frühling eine Erniedrigung. Auch warme Temperaturen während Warmperioden im Winter können zu einer Verringerung der Kälteresistenz führen (LEMEZIS, E, 1998, S. 106).

In einem Versuch wurden eine winterharte US-Sorte, eine mittlere litauische Sorte und eine empfindliche spanische Wildform mittels LT_{50} -Messung bei verschiedenen Gefrier-temperaturen im Labor verglichen (LEMEZIS, E, 1998, S. 107 ff.). Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass je nördlicher die Sorten beheimatet waren, desto schneller erreichten sie einen tiefen LT_{50} -Wert im Herbst und eine höhere maximale Kälteresistenz im Winter.

Durch warme Witterung entsteht eine schnelle Enthärtung der Pflanzen. Bei erneutem Frieren erreichen nur die winterharten Sorten wieder die maximale Kälteresistenz (Wiedererhärten). Die nicht so angepassten Sorten fallen dem wiedereinsetzenden Frost zum Opfer.

Zu Beginn des Frühlings war dagegen keine Sorte mehr in der Lage, auch bei starkem Frost die maximale Kälteresistenz zu erreichen. Der Beginn dieses Frühjahrsenthärtens ist wahrscheinlich durch den Biorhythmus der generativen Pflanzenentwicklung automatisiert und vorbestimmt (HUMPHREYS, M. O. u. EAGLES, C. F., 1988, S. 83). Die Fähigkeit einer Sorte, die maximale Kälteresistenz über den ganzen Winter - auch bei Warmperio-

den - zu behalten und ist somit ein weiteres interessantes Zuchtziel (LEMEZIS, E, 1998, S. 108 f.; EAGLES, 1989, S. 345).

Wichtige und erstrebenswerte Kriterien sind hierbei:

- die anfängliche Härtungsrate (schneller Schutz)
- der Grad der größtmöglichen Härte (Klimaeignung)
- die Stabilität bei Temperaturschwankungen
(EAGLES, 1989, S. 339)

Härten und Enthärten unterliegen einer voneinander unabhängigen Steuerung. Das Enthärten geht dabei zeitlich schneller vonstatten als das Härten (GAY, A. P. u. EAGLES, C. F., 1995, S. 345). Die ersten sieben Tage des Härtens oder Enthärtens sind dabei am wichtigsten und effektivsten (EAGLES, C. F. u. WILLIAMS, J., 1992, S. 335). Schon im Zwei-Blatt-Stadium zeigt *Lolium perenne* die Fähigkeit zum Abhärten (FULLER, M. P. u. EAGLES, C. F., 1978, S. 218, 221).

Entscheidend für eine Abhärtung ist die Temperaturbehandlung, die zu einer Steigerung der Frosthärte führt. Die Schwellentemperatur, oberhalb derer keine Härtung stattfindet, dürfte bei ca. 8 °C (5 °C bis 10 °C) liegen (LORENZETTI, F. et al., 1971, S. 200). Die untere Schwelle dürfte bei 2 °C liegen. Unter 2 °C bis 0 °C kann nur noch eine gering stärkere Härtung erreicht werden (GAY, A. P. u. EAGLES, C. F., 1995, S. 344). Eine Härtungstemperatur unter 2 °C ist daher oft nicht nötig (DEXTER, S. T., 1956, S. 216). Der förderliche Temperaturbereich lässt sich somit auf maximal 0 ° bis 10 ° eingrenzen (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 79).

In einen Versuch wurde die Überlebensrate von Weidelgraspflanzen 14 Tage nach dem Gefrieren gemessen. Dabei wurden die Auswirkungen der unterschiedlichen Lichtbedingungen vor und während der Härtungsphase ergründet (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 80; LAWRENCE, T. et al., 1973, S. 345). Es erfolgte eine Vor-Härtung von 41 Tagen bei 20 °C. Daran schloss sich eine Abhärtungsphase von 14 Tagen bei 2 °C an. Schließlich wurden die Pflanzen 3 Tage bei - 8 °C gefroren. Höhere Lichtintensität und kürzere Photoperiode bei insgesamt gleicher Lichtmenge (= Lichtintensität [Lux] * Photoperiode [h]) vor dem Härten steigern die Frostresistenz. Während des Härtens ist die umgekehrte Verteilung etwas besser, also lange Tage und geringe Intensität. In beiden Fällen gilt jedoch, dass eine höhere Gesamtlichtmenge immer von Vorteil ist, da dadurch die Photosynthese gestärkt wird. Geringe Intensität mit hoher Temperatur (10 °C ~ Warmperioden im Spätherbst) reduziert die Assimilatbildung bei gleichbleibender Respiration, was den WKH-Gehalt insgesamt reduziert. Geringe Intensität mit niedriger Tem-

peratur (2 °C) stoppt die Respiration und führt zu einer Akkumulation von WKH (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 82).

Wünschenswert sind also im Herbst und Anfang Winter eine hohe Lichtintensität (die Photoperiode ist dann sowieso kurz) und Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt, um eine optimale Härtung zu erreichen.

Der Wechsel von niedrigen Nacht- (2 °C) und hohen Tagestemperaturen (10 °C) erhöht den WKH-Gehalt am schnellsten (EAGLES, C. F. u. WILLIAMS, J., 1992, S. 336 f.). Am Tag ist die Produktion der Assimilate durch die Wärme begünstigt. Die Kühle der Nacht sorgt dafür, dass die Veratmung der Kohlenhydrate moderat von statten geht.

Kriterium des elektrochemischen Widerstands

Im folgenden Versuch wurden Keimlinge herangezogen, zuerst bei 2 °C gehärtet und dann bei -16 °C gefroren.

Tabelle 10: Prozentuale Sterblichkeitsrate nach einer Abhärtung
(REPO, T. u. PULLI, S., 1996, S. 606)

Sorte	Sterblichkeitsrate nach - 16 °C in Prozent
Norlea	7
Riikka	7
Gunne	14
Fennema	17
Swea	23
Viris	29
Taptoe	60
Bastion	73
Raigt	73
Tove	87
Castillo	90
Condesa	93

Man erkennt auch nach dem Abhärten eine erhebliche Variabilität in der Frostresistenz. Vor dem Abhärten, danach und nach dem Gefrieren wurden der intrazelluläre Widerstand und der extrazelluläre Widerstand gemessen. Die Messungen erfolgten an 10 mm langen Stücken von der Basis des Stängels, die den Vegetationskegel einschlossen.

Folgende Ergebnisse wurden berichtet:

Der intrazelluläre und der extrazelluläre spezifische Widerstand sind nach der Abhärtung angestiegen (durchschnittlich von 0,4 Ωm auf 0,8 Ωm), dies hat sich aber nach dem Gefrieren nicht fortgesetzt. Nach dem Gefrieren ist der extrazelluläre Widerstand abgesunken. Eine biologische Erklärung wurde nicht gefunden.

Ein Vergleich mit der Sterblichkeitsrate nach dem Gefrieren ergab, dass die höchste Korrelation mit dem interzellulären Widerstand vor dem Abhärten (- 0,77) gebildet wurde. D. h., dieser Parameter würde sich eignen, die Frostresistenz der Pflanzen mit einer relativ großen Wahrscheinlichkeit vorauszusagen, ohne einen Gefrierversuch zu benötigen (REPO, T. u. PULLI, S., 1996, S. 606 f.).

Tabelle 11: Variabilität von LT_{50} nach einer Abhärtung
(BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995b, S. 189)

Sorte	Winterhärte (ganze Pflanze) nach Dutch Variety List 1990 1 (gering) bis 9 (gut)	LT_{50} (nur Blatt) nach Abhärtung bei 2 °C für 2 Wochen
Avenue	9,0	- 1,9
Mondial	8,5	- 13,4
Troubadour	8,0	- 12,3
Elka	7,5	- 11,7
Barry	7,0	- 11,1
Score	6,5	- 11,2
Yatsyn 1	< 5,5	- 8,9

Die Reihenfolge der Sorten ist nach der LT_{50} -Reihung ähnlich wie nach der offiziellen Bonitierung, aber es sind doch erhebliche Ausreißer festzustellen. D. h., die LT_{50} der Blätter stimmt mit der Winterhärte der gesamten Pflanze nicht überein. Diese Abweichung von Gesamtpflanzenwinterhärte und Frostresistenz der Blätter kann einerseits damit erklärt werden, dass andere Ursachen wie Krankheit in diesem Frostungsversuch nicht berücksichtigt sind. Andererseits liefert es einen Hinweis, dass Blätter und Restpflanze sortenspezifisch unterschiedlich reagieren.

2.8 Anpassung an Klimaverhältnisse

Niedrige Temperaturen beeinflussen die geographische Verteilung von Genotypen nach ihrer Kältehärtigkeit. Es lässt sich daher eine natürliche klimatische Vorselektion vermuten (COOPER, J. P., 1964, S. 55). Die Frostresistenz zwischen dieser Ökotypen ist beeinflusst von ihrer Herkunft, d. h. besonders des Breitengrades und der Höhenlage ihres Fundortes. So ist bekannt, dass nordeuropäische Herkünfte Frost leichter verkraften, mediterrane dagegen die verlängerte Vegetationszeit nutzen. Kälteresistenz einer Population ist sozusagen ein Gradmesser für die Anpassung an vorherrschende Winterbedingungen eines Lebensraumes (LORENZETTI, F. et al., 1971, S. 204.). Auch Moorherkünfte sind im Vergleich mit angestammten Populationen von Mineralböden üblicherweise winterhärter, da dort strengere Fröste vorkommen und somit ein gesteigerter Selektionsdruck die Auslese verstärkt. In einer Untersuchung wurde der Einfluss der Herkunftsregion bekräftigt.

Tabelle 12: Abhängigkeit der Frosthärte von temperaturklimatischen Gegebenheiten der Heimatregion (LORENZETTI, F. et al., 1971, S. 206)

Kenngroße (bezogen auf die Heimatregion)	jeweiliger Korrelationskoeffizient bezüglich dem Anteil überlebender Pflanzen in der Klimakammer
mittlere Tagestemperatur im Januar	- 0,755
mittlere tägliche Minimaltemperatur im Januar	- 0,678
Minimaltemperatur im Januar	- 0,765

Die partielle Regressionskoeffizienten in diesem Klimakammertest zwischen dem prozentualen Anteil überlebender Triebe und der Minimaltemperatur des kältesten Monats lag bei - 0,978. Diese Zahlen verdeutlichen die Ausbildung der Kälteresistenz in der Heimatregion in Abhängigkeit von der Temperatur. Je strenger die Auslesebedingungen, desto besser die Anpassung.

Das unterschiedliche Verhalten von Subherkünften (Herkünfte von mehreren Standorten innerhalb einer lokalen Grünlandfläche mit Umweltunterschieden) weist auf kleinräumliche Standortheterogenität hin (OETMANN, A., 1994, S. 38, 86). Diese kann durch Umweltfaktoren und Unterschiede in der landwirtschaftlichen Nutzung bedingt sein. Insbesondere bayerische Herkünfte weisen aufgrund der extremeren und unterschiedlicheren Klimaverhältnisse (natürliche Selektion) die größte Variabilität im innerdeutschen Vergleich auf (OETMANN, A., 1994, S. 41, 46).

3 Schluss

Die Winterfestigkeit von Deutschem Weidelgras ist ein gewichtiger Faktor für Ertragssicherheit und Langlebigkeit des intensiven Dauergrünlandes in Bayern. Die Komplexität und Schwierigkeit dieses Themas wurden in dieser Arbeit deutlich. Es werden jedoch auch Wege aufgezeigt, um die Überwinterungschancen auch in rauen Lagen zu erhöhen. Dabei wurden bereits in der Vergangenheit deutliche Fortschritte verzeichnet.

Ein Ziel in der Züchtung muss jedoch die weitere Verbesserung von Kälteresistenzen und Krankheitsresistenzen sein. Genotypen aus winterrauen Gebieten können hierbei von Nutzen sein.

In dieser Literaturarbeit wurde deutlich, dass der Landwirt schon jetzt neben überlegter Sortenwahl durch die Vermeidung von später und großer Stickstoffdüngung die Auswinterung begrenzen kann. Im mehrjährigen Feldfutterbau ist der Anbau von Sorten- und Artenmischungen zu empfehlen.

Deutsches Weidelgras ist mit die wichtigste Art des intensiven Grünlandes, wie auch des mehrjährigen Feldfutterbaues. Daher sollte die Züchtungsarbeit, mit dem Ziel diese wertvolle Art auch auf zur Zeit noch im Anbau unsicheren Lagen verfügbar zu machen, fortgeführt werden.

Eine Verringerung der Auswinterungsschäden wäre gerade für die bayerische Landwirtschaft von nicht unerheblicher wirtschaftlicher Bedeutung und würde dazu beitragen deren Wettbewerbssituation zu verbessern.

4 Zusammenfassung

Das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) ist das wichtigste Futtergras in Deutschland. Jedoch stellt dessen Winterhärte ein bedeutendes Problem in der landwirtschaftlichen Praxis dar. So wurden während strenger Winter Schäden bis zu 95 % und mehr beobachtet. Bisher ist es der Züchtung nicht vollständig gelungen, auch extremen Verhältnissen gerecht werdende Sorten zu entwickeln. Zwar werden die Grenzen laufend weiter verschoben, dennoch sind weiterhin für wichtige Grünlandgebiete keine ausreichend winterharten Sorten verfügbar.

Pflanzen sind vielerlei Stressfaktoren ausgesetzt und müssen sich den örtlichen Gegebenheiten anpassen. Auswinterung als Teilaspekt der Persistenz kann zum Teil erhebliche Schäden bei Grünland hervorrufen.

Winterhärte ist ein komplexes Problem. Es umfasst im wesentlichen die Fähigkeit zu überleben bei niedrigen Temperaturen, Schnee, Eis und Krankheitsbefall. Um diesen Sachverhalt richtig erfassen zu können, bedient man sich vor allem zweier wichtiger Hilfsmittel: dem Feldversuch und künstlichen Gefrierversuchen.

Besonderer Bedeutung als Bewertungskriterium wird im wissenschaftlichen Bereich dem LT_{50} -Wert beigemessen. Das ist die Temperatur, bei der die Hälfte der Pflanzen nicht überlebt. Die beste Unterscheidung der Frosthärte von Sorten kann bei Gefrierversuchen durch eine vorherige Härtung von zwei Wochen bei 2 °C und drei Tagen Gefrieren bei - 8 °C erreicht werden.

Neben Messungen werden auch Bonituren eingesetzt. Besonderen Stress auf die Pflanzen übt eine Kombination mit häufigem Tiefschnitt aus, die eine Selektion auf Persistenz erleichtert.

Winterhärte lässt sich in eine Vielzahl von einzelnen Ursachen aufspalten. Man unterscheidet biotische und abiotische Ursachen. Zur abiotischen Gruppe gehören vor allem Frost, Eis- und Schneebedeckung. Die biotische Gruppe ist in erster Linie gekennzeichnet durch das schadhafte Auftreten von Auswinterungspilzen, wie z. B. *Fusarium nivale*. Dessen Befall wird durch lange, schneereiche Winter begünstigt. Ebenso wirkt sich hohe und späte Stickstoffdüngung nachteilig aus. Nicht zu vernachlässigen ist die Toxinbildung als Nebeneffekt des *Fusarium*-Befalls, wobei auch Mensch und Tier gefährdet werden können. Als weiterer Pilz wären der Kronenrost und einige *Drechslera*-Arten zu erwähnen. Die Resistenzzüchtung gegen Pilze ist ein wichtiger Baustein zur Vermeidung der Auswinterung. Ein Fungizideinsatz ist bei Futternutzung unwirtschaftlich und nur in der Samenvermehrung und der Rasenpflege ökonomisch vertretbar. Bei den abiotischen Faktoren spielen Kälteschäden eine herausragende Rolle. Hierbei weisen Schnee-

decken einen schützenden Effekt durch die Isolierwirkung auf, gleichzeitig sind sie aber pilzfördernd.

Die genetische Verbesserung der Frosthärte ist eine wesentliche Voraussetzung zur Verbesserung der Winterhärte.

Die Winterhärte in ihren vielfältigen Reaktionseigenschaften wird polygen vererbt und stellt somit eine quantitative Resistenz dar. Ein Hauptziel dieser Arbeit war die Ermittlung des genetischen Anteils an der Winterhärte im Vergleich zum Umwelteinfluss. Leider war es mangels geeigneter Forschungsergebnisse nicht möglich, sichere Aussagen hierüber zu treffen, doch dürfte der Bereich 30 bis 50 % als realistisch angesehen werden. So gibt ein Autor den Wert 0,29 an, andere Herleitungen ergaben 0,48. Daneben wurde eine Vielzahl von mehr oder weniger engen Zusammenhängen der Winterhärte mit vielen anderen Merkmalen und Umwelteinflüssen erforscht. So ist die Winterhärte negativ mit dem Winterwachstum gekoppelt.

Eine besondere Rolle innerhalb der Physiologie spielen wasserlösliche Kohlenhydrate, Aminosäuren und damit zusammenhängend der Vorgang der Abhärtung mit begünstigenden und ungünstigen Bedingungen. Die zumindest zeitweilige und saisonale Verbesserung des Frosthärtezustands ist vor allem auf eine Zunahme an wasserlöslichen Kohlenhydraten zurückzuführen, die sozusagen eine gewisse Frostschutzmittelwirkung besitzen. Insbesondere Fruktosane (eine Stoffklasse von Polysacchariden mit Fruktosegruppen) sowie Saccharose stellen die Hauptreservekohlenhydratform der Futtergräser dar. Wachstum verdünnt die Konzentration dieser Stoffe und verschlechtert somit die Überwinterungschancen. Alle wachstumsfördernden Einflüsse sind daher zu vermeiden. Das gilt insbesondere für die Stickstoffdüngung, die auf 300 kg / ha begrenzt bleiben sollte. Weiterhin sind bestimmte Aminosäuren von Bedeutung. Besonders Prolin scheint eine schützende Wirkung zu haben.

Durch Abhärtung ist es möglich, die Frosthärte wesentlich zu steigern. Dabei gilt es, den maximal erreichbaren Grad an Frosthärte während des Herbstes schnell zu erlangen und auch bei kurzfristigen Warmperioden während des Winters zu halten. Abhärtung bedeutet, dass Pflanzen einige Tage lang Temperaturen etwas über dem Gefrierpunkt ausgesetzt werden und sich so durch einen Anstieg an Kohlenhydraten an frostige Zeiten gewöhnen können. Dabei ist auch der Lichteinfluss während der Härtungsphase von Bedeutung. Im allgemeinen gilt, dass ein hoher Lichteinfall das Härten beschleunigt und den Härtegrad steigert.

Außerdem ist festzustellen, dass Genotypen aus Regionen mit strengeren Winterbedingungen besser in der Lage sind, zu härten als etwa Sorten aus dem Mittelmeergebiet. Die Ersteren akkumulieren die wasserlöslichen Kohlenhydrate als Reservestoff, die Letzteren achten auch bei niedrigen Temperaturen mehr auf das Blattwachstum und

verbrauchen somit ihre Kohlenhydrate. Eine besondere Auslesefunktion scheint den Temperaturverhältnissen im Januar zuzukommen.

Auch innerhalb Bayerns gibt es beträchtliche genetische Variabilitäten unter den Herkünften. Die Winterfestigkeit von Deutschem Weidelgras ist ein gewichtiges Argument bei der Sortenauswahl. Gerade für die bayerische Grünlandwirtschaft ist eine weitere Steigerung des komplexen Merkmals Winterhärte von Interesse. Als Instrument bleibt dabei die Resistenzzüchtung von herausragender Bedeutung.

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Seite 6

Stressoren für Pflanzen (BRUNOLD, C. et al., 1996, S. 19)

Tabelle 2: Seite 21

Errechnete Erblichkeitsanteile bei den einzelnen Merkmalen (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 101)

Tabelle 3: Seite 22

Genetische Korrelationsmatrix von 14 Merkmalen (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 102)

Tabelle 4: Seite 24

Merkmalsladungen für die wichtigsten drei Hauptkomponenten hergeleitet von den genetischen Korrelationen aus Tabelle 3 (HUMPHREYS, M. O., 1989, S. 103)

Tabelle 5: Seite 26

Weitere Korrelationen (THOMSON, A. J., 1974, S. 547)

Tabelle 6: Seite 26

Merkmalsladungen der Faktoren (THOMSON, A. J., 1974, S. 547)

Tabelle 7: Seite 27

Genotypische Korrelationen (WALDRON, B. L. et al., 1998, S. 820)

Tabelle 8: Seite 30

Auswirkung von Stickstoff und Schnitt auf die Kälteresistenz (BREESE, E. L. u. FOSTER, C. A., 1971, S. 84)

Tabelle 9: Seite 33

Veränderung des prozentualen Anteils der einzelnen Aminosäuren am gesamten Aminosäuregehalt (DRAPER, S. R., 1972, S. 640)

Tabelle 10: Seite 36

Prozentuale Sterblichkeitsrate nach einer Abhärtung (REPO, T. u. PULLI, S., 1996, S. 606)

Tabelle 11: Seite 37

Variabilität von LT_{50} nach einer Abhärtung (BREDEMEIJER, G. M. M. u. ESSELINK, G., 1995b, S. 189)

Tabelle 12: Seite 38

Abhängigkeit der Frosthärte von temperaturklimatischen Gegebenheiten der Heimatregion (LORENZETTI, F. et al., 1971, S. 206)

6 Literaturverzeichnis

- ADAMS, E., ROLDAN-RUIZ, I., VERELST, I., VAN BOCKSTAELE, E. und DE LOOSE, M., 1998: Crown rust tolerance in ryegrasses: a maternal factor may play an important role; Mededelingen, Faculteit Landbouwkundige, Universiteit Gent, 1998, v. 63 (3b), S. 941-946
- ARSVOLL, Kare, 1973: Winter damage in Norwegian grasslands, 1968-1971; Meldinger fra Norges Landbrukshogskole, v. 52 (3)
- BIRCKENSTAEDT, Elisabeth, 1990: Entwicklung von Methoden für die Selektion auf Kronenrostresistenz bei *Lolium spp.* aus phytopathologischer Sicht; Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn
- BOGDAN, Geza, 1970: Ein Beitrag zur Züchtung von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne L.*) und Rotklee (*Trifolium pratense L.*); Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen
- BREDEMEIJER, G. M. M. und ESSELINK, G., 1995a: Glucose 6-phosphate dehydrogenase during cold-hardening in *Lolium perenne*; Journal of Plant Physiology, v. 145, S. 565-569
- BREDEMEIJER, G. M. M. und ESSELINK, G., 1995b: Sugar metabolism in cold-hardened *Lolium perenne* varieties; Plant Varieties and Seeds, v. 8 (3), S. 187-195
- BREESE, E. L. und FOSTER, C. A., 1971: Breeding for increased winter hardiness in perennial ryegrass; Annual Report of the Welsh plant breeding station, University College of Wales, Aberystwyth, for 1970, S. 77-86
- BRUNOLD, Christian, RÜEGSEGGER, Adrian und BRÄNDLE, Roland (Hrsg.), 1996: Stress bei Pflanzen; 1. Auflage, Verlag Paul Haupt, Bern, 407 Seiten
- BUGGE, Gisela, 1991: Ermittlung geeigneter Selektionskriterien zur Verbesserung der Persistenz beim Deutschen Weidelgras; Journal of Agronomy and Crop Science, v. 166, S. 300-307

- BURHENNE, Stefan, 1992: Zur Charakterisierung und zur Biochemie der Blattfleckerreger *Drechslera siccans* Shoem. und *Drechslera andersenii* Lam im Hinblick auf die Krankheitsresistenz von *Lolium perenne*; Dissertation, Universität/Gesamthochschule Paderborn
- COOPER, J. P., 1964: Climatic variation in forage grasses: 1. Leaf development in climatic races of *Lolium* and *Dactylis*; *Journal of applied Ecology*, v. 1, S. 45-61
- DEXTER, S. T., 1956: The evaluation of crop plants for winter hardiness; *Advances in Agronomy*, v. 8, S. 203-239
- DRAPER, S. R., 1972: Amino acid changes associated with low temperature treatment of *Lolium perenne*; *Phytochemistry*, v. 11, S. 639-641
- EAGLES, C. F., 1989: Temperature-induced changes in cold tolerance of *Lolium perenne*; *The Journal of agricultural Science*, v. 113, S. 339-347
- EAGLES, C. F. und WILLIAMS, J., 1992: Hardening and dehardening of *Lolium perenne* in response to fluctuating temperatures; *Annals of Botany*, v. 70, S. 333-338
- ENGELS, Rainer, 1994: Das Vorkommen von *Fusarium* spp. und ausgewählten *Fusarium*-Toxinen in Futtergräsern der Gattung *Lolium* (Weidelgras); Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn
- ENGELS, Rainer und KRÄMER, Johannes, 1995: *Fusarium*-Toxine im Weidelgras; Forschungsberichte aus der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn Nr. 25, S. 73-85
- FRÖHLICH, Gerd, 1991: Wörterbücher der Biologie: Phytopathologie und Pflanzenschutz; 2. Auflage, Gustav-Fischer-Verlag, Jena und Stuttgart, 382 Seiten
- FULLER, M. P. und EAGLES, C. F., 1978: A seedling test for cold hardiness in *Lolium perenne* L.; *The Journal of agricultural Science*, v. 91, S. 217-222
- GAY, A. P. und EAGLES, C. F., 1991: Quantitative analysis of cold hardening and dehardening in *Lolium*; *Annals of Botany*, v. 67, S. 339-345

- HOFFMANN, Walther (Hrsg.), 1985: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen - Bd. 2: Spezieller Teil; 2. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 434 Seiten
- HUMPHREYS, M. O., 1989: Assessment of perennial ryegrass for breeding: II. Components of winter hardiness; *Euphytica*, v. 41, S. 99-106
- HUMPHREYS, M. O., 1991: A genetic approach to the multivariate differentiation of perennial ryegrass populations; *Heredity*, v. 66, S. 437-443
- HUMPHREYS, M. O. und EAGLES, C. F., 1988: Assessment of perennial ryegrass for breeding: I. Freezing tolerance; *Euphytica*, v. 38, S. 75-84
- JAMALAINEN, E. A., 1962: Die Auswinterung bei Futtergräsern und ihre Verhütung in Finnland; Schriftenreihe der Karl-Marx-Universität Leipzig zu Fragen der sozialistischen Landwirtschaft - H 8: Krankheiten und Schädlinge an Futtergräsern, S. 139-154
- KASTIRR, U., 1996: Untersuchungen zur Resistenz von *Lolium*-Arten gegenüber *Rhynchosporium spp.*; Jahresbericht der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, 1996, S. 48-50
- KASTIRR, U., 1998: Resistance evaluation of *Lolium perenne* L. to *Rhynchosporium orthosporum caldwell*; Beiträge zur Züchtungsforschung, Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, 1998, v. 4 (1), S. 30-31
- LAWRENCE, T., COOPER, J. P. und BREESE, E. L., 1973: Cold tolerance and winter hardiness in *Lolium perenne*: 2. Influence of light and temperature during growth and hardening; *The Journal of agricultural Science*, v. 80, S. 341-348
- LELLBACH, H., 1996: Erarbeitung von Selektionsmethoden und -modellen für Kronenrostresistenz bei *Lolium*-Arten; Jahresbericht der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, 1996, S. 128

- LELLBACH, H. und RUGE, B., 1996: Erarbeitung von Selektionsmethoden und -modellen für Kronenrostresistenz bei *Lolium*-Arten; Jahresbericht der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, 1995, S. 119-120
- LEMEZIS, E., 1998: Influence of natural environments fluctuating temperatures on hardening and dehardening of *Lolium perenne*; Horticulture and vegetable growing, Scientific works, v. 17 (3), S. 106-111
- LEVITT, Jacob, 1956: The hardiness of plants; Academic Press, New York, 278 Seiten
- LEVITT, Jacob, 1980: Responses of plants to environmental stresses - v. 1: Chilling, freezing and high temperature stresses; 2. Auflage, Academic Press, New York, 497 Seiten
- LORENZETTI, F., TYLER, B. F., COOPER, J. P. und BREESE, E. L., 1971: Cold tolerance and winter hardiness in *Lolium perenne*: 1. Development of screening techniques for cold tolerance and survey of geographical variation; The Journal of agricultural Science, v. 76, S. 199-209
- MATTHES, Kurt, 1986: Beziehungen zwischen Sortencharakter und den Gehalten wasserlöslicher Kohlenhydrate sowie verschiedener Strukturbestandteile bei der Art *Lolium perenne* L.; Dissertation, Universität Hohenheim
- NEKROSAS, S., 1998: Perennial ryegrass breeding with a view to improving winterhardiness of plants; Horticulture and vegetable growing, Scientific works, v. 17 (3), S. 219-225
- OETMANN, Anja, 1994: Untersuchungen zur intraspezifischen phänotypischen Variabilität autochthoner Weidelgrasherkünfte (*Lolium perenne* L.) und ihre Bedeutung für die Erhaltung wertvoller Standorte vor Ort (in situ); Dissertation, Universität/Gesamthochschule Kassel
- OLIEN, Charles Robert, 1967: Freezing stresses and survival; Annual review of Plant physiology and Plant molecular biology, v. 18, S. 387-408

- PFEFFER, B. und PFEFFER, H., 1991: Resistenzzüchtung bei Gräsern unter besonderer Berücksichtigung der *Lolium*-Arten; Vorträge für Pflanzenzüchtung 1991, v. 19, S. 86-97
- POLLOCK, C. J., EAGLES, C. F. und SIMS, I. M., 1988: Effect of photoperiod and irradiance changes upon development of freezing tolerance and accumulation of soluble carbohydrate in seedlings of *Lolium perenne* grown at 2 °C; Annals of Botany, v. 62, S. 95-100
- RAVEL, C., CHARMET, G., BALFOURIER, F., DEBOTE, B., VEZINE, J. C. und ASTIER, C., 1995: Comparison of predicted and observed response to selection in two breeding populations of perennial ryegrass; Plant Breeding, v. 114 (3), S. 262-264
- REHEUL, Dirk, 1989: Breeding for a better frost- and wintertolerance in perennial ryegrass; Vorträge für Pflanzenzüchtung, v. 15 (10), S. 11
- REHEUL, Dirk und GHESQUIERE, An, 1996: Breeding perennial ryegrass with a better crown rust resistance; Mededelingen, Faculteit Landbouwkundige, Universiteit Gent, 1996, v. 61 (2b), S. 521-531
- REPO, T. und PULLI, S., 1996: Application of impedance spectroscopy for selecting frost hardy varieties of English ryegrass; Annals of Botany, v. 78 (5), S. 605-609
- SCHUMANN, Gail L., 1991: Plant diseases: Their biology and social impact; APS Press, St. Paul (USA), 397 Seiten
- SHURTLEFF, Malcolm C. und AVERRE, Charles W., 1997: Glossary of plant-pathological terms; APS Press, St. Paul (USA), 361 Seiten
- SKIRDE, W., 1980: Epidemisches Auftreten von *Fusarium nivale* im Winter 1978/79; Zeitschrift für Vegetationstechnik im Landschafts- und Sportstättenbau, v. 3, S. 42-46

- SLIESARAVICIUS, A., 1998: Genetic and physiological aspects of cold tolerance and overwinter survival of forage grasses; Horticulture and vegetable growing, Scientific works, v. 17 (3), S. 213-218
- SUGIYAMA, S., 1998: Differentiation in competitive ability and cold tolerance between diploid and tetraploid cultivars in *Lolium perenne*; Euphytica, v. 103, S. 55-59
- THOMSON, A. J., 1974: The examination of some winter hardiness components in grasses using canonical variate analysis; The Journal of agricultural Science, v. 83, S. 545-550
- WAITE, R., 1958: The water-soluble carbohydrates of grasses: IV. The effect of different levels of fertilizer treatment; Journal of Science of Food and Agriculture, v. 9, S. 39-43
- WALDRON, B. L., EHLKE, N. J., VELLEKSON, D. J. und WHITE, D. B., 1998: Genetic variation and predicted gain from selection for winterhardiness and turf quality in a perennial ryegrass topcross population; Crop-science, v. 38 (3), S. 817-822
- WINTER, Walter Eugen, 1986: Auswinterungsschäden in Raigras-Reinbeständen, die Bedeutung pilzlicher Krankheitserreger und ihre mögliche Eindämmung; Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- WISNIEWSKI, K., ZAGDANSKA, B. und PRONCZUK, M., 1997: Interrelationship between frost tolerance, drought and resistance to snow mould (*Microdochium nivale*); Proceedings of the International Symposium on cereal adaption to low temperature stress in controlled environments, Martonvasar phytotron 25th anniversary celebrations, 2-4 June 1997, S. 221-226
- WOOD, G. M. und COHEN, R. P., 1984: Predicting cold tolerance in perennial ryegrass from subcrown internode length; Agronomy Journal, v. 76 (4), S. 516-517