Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Agronomische und qualitative Eigenschaften alpiner Sommerweizenlandsorten

verfasst von

Emil PLATZER, BA

im Rahmen des Masterstudiums

Nutzpflanzenwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Wien, Jänner 2022

Betreut von:

Ao. Univ.Prof. DI Dr. Heinrich Grausgruber
Institut für Pflanzenzüchtung
Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, Jänner 2022 Emil PLATZER (eigenhändig)

„Über Jahrtausende war das Getreide eines der wesentlichen Elemente der bäuerlichen Autarkie. Mit der beinahe vollständigen Selbstversorgung konnten die Bauernhöfe im Alpenraum sich und anderen auch während wirtschaftlicher Krisen das Überleben sichern.“

Roland Girtler, Sommergetreide, 1996

Danksagung

Hiermit möchte ich mich herzlich bei den vielen Personen und Institutionen bedanken, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nie zu Stande gekommen wäre: bei meinem Betreuer, Ao. Univ. Prof. Dr. Heinrich Grausgruber für die wissenschaftliche Begleitung, bei Waltraud Hein und den MitarbeiterInnen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein für die Versuchsdurchführung, bei der Bäckerei Unterbäck in Henndorf und Bäckermeisterin Elisabeth Eisl für die Durchführung des Backversuchs, bei Stefan Kutschka (BOKU, Institut für Pflanzenzüchtung) und Violet Berger (BOKU, Institut für Lebensmitteltechnologie) und Martin Fuchs für die Unterstützung bei den Laborversuchen, beim Verein ARCHE NOAH, dem Land Tirol und der Saatzucht Donau für die Bereitstellung von Saatgut, bei Christian Partl vom Land Tirol, Michael Grau vom IPK Gatersleben und Bäckermeister Simon Wöckl für detaillierte Auskünfte, bei meiner Freundin Anna Altmanninger für das penible Lektorat, bei meinem Bruder Benjamin Platzer für die Hilfe beim Ernten des Weizens und bei meinen Eltern Christine Platzer und Max Kreuzberger für ihre großartige und bedingungslose Unterstützung während der gesamten Studienzeit. Danke!

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung i
Danksagung iii
Inhaltsverzeichnis iv
Kurzfassung vi
Abstract vii
1. Einleitung und Fragestellung 1
2. Literaturübersicht 3
2.1. Der Weichweizen (*Triticum aestivum*) 3
2.1.1. Biologie und Morphologie des Weichweizens 3
2.1.2. Stammesgeschichte 4
2.1.3. Sommerweizen 6
2.2. Techniken und Entwicklung des Ackerbaus im Berggebiet im 20. Jahrhundert 6
2.3. Die alpinen Weizenlandsorten 8
2.3.1. Die Erforschung der alpinen Getreidelandsorten Österreichs 9
2.3.2. Die Entstehung der Landsorten 10
2.3.3. Auslese durch die BäuerInnen und Umweltbedingungen 11
2.3.4. Verdrängung der Landsorten 13
2.3.5. Phänotypische und genetische Vielfalt der alpinen Sommerweizenlandsorten 13
2.4. Weizen als Rohstoff für die Broterzeugung 16
2.4.1. Physiologie und Inhaltsstoffe des Weizenkorns 17
2.4.2. Inhaltsstoffe mit Einfluss auf die Backqualität 18
2.4.3. Inhaltsstoffe mit gesundheitlichen Wirkungen 19
2.4.4. Qualitätsklassen und Methoden zur Qualitätsbestimmung 20
3. Material und Methoden 22
3.1. Standort und Klima 22
3.1.1. Bischofshofen 22
3.1.2. Trautenfels 23
3.1.3. Witterung 24
3.2. Herkünfte und Saatgut 25
3.3. Versuchsanlage 26
3.3.1. Bischofshofen 27
3.3.2. Trautenfels 28
3.4. Kulturführung 28
3.5. Feldbeobachtungen 28
3.5.1. Entwicklungsstadien und Bedeckungsgrad 28

3.5.2. Lagerbonituren 29
3.5.3. Blattkrankheiten 29
3.5.4. Phänotypische Merkmale 30
3.6. Ernte und Aufbereitung 30
3.7. Tausendkornmasse, Hektolitergewicht und Siebung 30
3.8. Protein und Gluten Nahinfrarotspektroskopie 31
3.9. Teigrheologie 31
3.9.1. Rapid Visco Analyzer 32
3.9.2. Micro-Doughlab 33
3.9.3. Mikro-Extensogramm 34
3.10. Backversuch 35
3.11. Statistik 37
4. Ergebnisse und Diskussion 38
4.1. Varianzanalyse 38
4.2. Kornfüllungsphase 40
4.3. Gelbrost 42
4.4. Wuchshöhe und Lager 42
4.5. Kornertrag 45
4.6. Tausendkornmasse und Hektolitergewicht 46
4.7. Protein und Feuchtkleber 47
4.8. Wasseraufnahme und Teigstärke 48
4.9. Viskositätskurven 50
4.10. Extensogramm 52
4.11. Backversuch 56
4.12. Qualität der Binkelweizen 57
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung 59
Literaturliste 61
Abkürzungsverzeichnis 71
Abbildungsverzeichnis 73

Kurzfassung

Die Sammlung alpiner Sommerweizenlandsorten von Erwin Mayr ist ein wichtiger Teil der noch erhaltenen Kulturpflanzenvielfalt Österreichs aus den 1920er Jahren mit hoher genetischer Vielfalt innerhalb und zwischen den Populationen. Über die Eignung dieser Landsorten für Anbau und Verarbeitung ist wenig bekannt, keine davon wird derzeit außerhalb von Genbanken angebaut. Für die Erhaltung der Landsorten und ihrer gesamten genetischen Vielfalt *on-farm* sollen sie wieder in Wertschöpfungsketten eingebunden werden. Im Jahr 2018 wurden neun Sommerweizenlandsorten an den zwei inneralpinen Standorten Bischofshofen und Trautenfels in randomisierten Parzellenversuchen mit je zwei Wiederholungen kultiviert. Die agronomischen und qualitativen Merkmale der Landsorten wurden mit den Merkmalen einer aktuellen Standardsorte verglichen sowie auf ihre Eignung für eine Wiederaufnahme des Anbaus zum Zweck einer lokalen Erzeugung von Bio-Brot geprüft. Die Backqualität wurde in einem Backversuch mit Vorteig ermittelt. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Landsorten und zur Vergleichssorte, die bei vielen Parametern von einer signifikanten Genotyp×Umwelt-Interaktion überlagert werden. Die Mehrzahl der Landsorten zeigte eine im Mittel längere Wuchshöhe, eine höhere Lagerneigung, ähnliche Kornerträge und ein geringeres Hektolitergewicht als die Vergleichssorte. Die Rohproteingehalte der meisten Landsorten waren höher, die Teigstabilität jedoch deutlich geringer als die der Vergleichssorte. Dadurch waren Brote aus Landsortenmehlen geringfügig breiter. Einzelne Landsorten erzielten höhere Erträge und Brotvolumina als die Vergleichssorte, diese sind bei einer Wiedereinführung zu bevorzugen. Eine angepasste Teigführung kann die Backeigenschaften der Landsorten verbessern und macht sie zu interessanten Bestandteilen einer handwerklichen, lokalen Broterzeugung.

Abstract

The collection of Alpine spring wheat landraces of Erwin Mayr is an important part of the preserved plant diversity of Austria from the 1920s with high genetic diversity within and between the populations. Little is known about the suitability of these landraces for cultivation and processing under today's practices. None of them is currently grown outside of gene banks. In order to preserve the local varieties and their entire genetic diversity *on-farm*, they should be reintroduced into value chains. In 2018, nine spring wheat landraces were cultivated at the two Alpine locations Bischofshofen and Trautenfels in randomized plot trials with two replicates each. The agronomic and qualitative characteristics of the landraces were compared to a modern check variety and tested for their suitability for reintroduction into cultivation for local production of organic bread. The baking quality was determined in a baking test with a poolish. Significant differences between the landraces and the check variety were observed, which were overlaid for many parameters by a significant genotype × environment interaction. The majority of the local landraces were taller and more susceptible to lodging compared to the check variety. Grain yield was similar, test weight lower than for the check variety. The crude protein content of most landraces was higher, but dough stability was significantly inferior to that of the check variety. Breads made from landrace flours are slightly broader and flat. A few landraces produced higher grain yields and bread volumes than the check variety. These are to be preferred for reintroduction. An adapted dough management can improve the baking properties of the landraces and make them interesting for artisanal, local bread production.

1. Einleitung und Fragestellung

In dieser Arbeit werden alpine Sommerweizen-Landsorten aus der Sammlung von Erwin Mayr auf ihre agronomischen Eigenschaften (Anbaueignung) und ihre qualitativen Eigenschaften für die Verarbeitung zu Brot untersucht. Ziel ist die Identifikation von Landsorten, die sich für die Wiedereinführung in den alpinen Regionen Österreichs und zur Erzeugung von Brot eignen.

Der Sommerweichweizen (*Triticum aestivum* L.) war lange Zeit eine charakteristische Kulturart für den Getreidebau des Alpenraums in hohen Lagen, in denen die ertragreicheren Wintergetreide nicht gedeihen konnten. Der Getreidebau war bis weit ins 20. Jahrhundert hinein eine wichtige Säule der Autarkie der Bergbauern. Er ermöglichte weitestgehende Selbstversorgung und Unabhängigkeit von der wirtschaftlichen Lage (Girtler, 1996). Roland Girtler (1996) stilisierte die Abkehr der Bergbauern vom Getreidebau als den Untergang einer bäuerlichen Kultur und das Sommergetreide als Symbol dieser Kultur. Die Sammlung alpiner Getreidelandsorten (Mayr, 1956a) und die Publikationen von Erwin Mayr (Mayr, 1922, 1928, 1935a, 1954) ermöglichen uns einen einzigartigen Einblick in diese beinahe vergessene Zeit.

Die Sommerweizen bilden in der Sammlung von Mayr die größte Gruppe. Die Sommerweizen-Landsorten zeichnen sich durch eine hohe phänotypische und genetische Vielfalt sowohl zwischen als auch innerhalb der Landsorten aus. Diese Vielfalt wurde von Erwin Mayr (1956a) und von Tobias Fegg (2012) untersucht. Die Verarbeitungseigenschaften der Sommerweizenlandsorten wurden nach unserem Wissen bisher noch nicht untersucht. Für eine erfolgreiche On-Farm Erhaltung ist eine Charakterisierung der vorhandenen Landsorten unter landwirtschaftlichen Bedingungen besonders wichtig (FAO, 2010). Monika Tobler (2016) untersuchte bereits Verarbeitungseigenschaften von Roggen- und Dinkellandsorten aus der Genbank Tirol. Die vorliegende Arbeit soll in diesem Sinne unser Wissen über die Getreidelandsorten Österreichs erweitern.

Die Vereinheitlichung von Produktionssystemen und die Einführung von modernen Sorten hat weltweit zu einer Verringerung der genetischen Vielfalt der Kulturpflanzen geführt, Landsorten sind vielerorts verloren gegangen (FAO, 2010, 2019). Diese Verengung kann die globale Ernährungssicherheit gefährden (FAO, 2019; Khoury et al., 2014). Die On-Farm Erhaltung, eingebettet in landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten, ist die effektivste Art der Erhaltung genetischer Sequenzen in einer Population und erhält gleichzeitig traditionelles, lokales Wissen (FAO, 2010; Negri & Tiranti, 2010). Dennoch müssen die Methoden der On-Farm Erhaltung verbessert werden (Hammer & Knüpffer, 2015). Landsorten bilden einen wichtigen Genpool für die Entwicklung neuer Sorten. Eigenschaften wie Krankheitsresistenzen oder die Anpassung an besondere Umweltbedingungen können in der Züchtung Eingang finden. Landsorten selbst können sich für extensive Anbaubedingungen und die ressourcenschonende Landwirtschaft eignen (FAO, 2010). Eine höhere Diversität innerhalb von Kulturpflanzenbeständen kann die Produktionssysteme widerstandsfähiger gegen Schaderreger und Klimaextreme machen (FAO, 2019). Dieser Umstand wurde inzwischen von den Gesetzgebern der Europäischen Union anerkannt und so wird ab 2022 die Vermarktung von biologischem Saatgut heterogener Populationen ermöglicht (VERORDNUNG (EU) 2018/848).

Weizen ist das weltweit dritthäufigste Getreide im Anbau und steuert über 20% der Kalorien für die Ernährung der Weltbevölkerung bei (Shewry & Hey, 2015; Shiferaw et al., 2013). Als Teil der „westlichen Diät“ hat der Weizenkonsum in den letzten 50 Jahren um mehr als 50% zugenommen (Khoury et al., 2014). In dieser Rolle ist der Weizen im letzten Jahrzehnt in Verruf geraten. Er gilt als Auslöser mehrerer Krankheitsbilder des Verdauungssystems. Es wurde vermutet, dass Weizenlandsorten besser verträglich seien als moderne Sorten (van den Broeck et al., 2010). In neueren Studien konnte dies nicht bestätigt werden, es gibt große Unterschiede innerhalb alter Landsorten und moderner Zuchtsorten (Ribeiro & Nunes, 2019). Alte Weizensorten werden zunehmend von Bäckern verwendet (Brenneis & Kötter, 2016). Brotbacken im Haushalt ist seit Jahren

im Trend. Die COVID-19 Pandemie im Jahr 2020 verstärkte diesen Trend nochmals, bisweilen war sogar in österreichischen Supermärkten Germ vergriffen (Reinhardt, 2020). Österreichische KonsumentInnen legen beim Einkaufen von Lebensmitteln immer mehr Wert auf Regionalität, was die Wertschöpfung regionaler Produkten fördert (Netzwerk Zukunftsraum Land, 2018).

In der vorliegenden Masterarbeit werden die Anbaueignung sowie die qualitativen Eigenschaften von alpinen Sommerweizenlandsorten unter den entsprechenden Standortbedingungen behandelt. Die vorliegende Arbeit soll folgende Fragen beantworten:

- Welche der untersuchten Landsorten eignen sich auf Grund ihrer agronomischen und qualitativen Eigenschaften am besten für eine Wiederaufnahme des Anbaus zum Zweck einer lokalen Erzeugung von Bio-Brot?
- Wie verhalten sich alpine Sommerweizenlandsorten hinsichtlich ihrer agronomischen
- Merkmale im Vergleich zu einer aktuellen Standardsorte?
- Wie verhalten sich alpine Sommerweizenlandsorten hinsichtlich ihrer qualitativen
- Merkmale im Vergleich zu einer aktuellen Standardsorte?

Die Beantwortung dieser Forschungsfragen soll einen Beitrag zur Wiedereinführung einzelner alpiner Landsorten für die Erzeugung von Brot leisten. Aktuelle Trends in Gesellschaft, Ernährung, Landwirtschaft und Klima könnten die Wiedereinführung begünstigen.

2. Literaturübersicht

2.1. Der Weichweizen (*Triticum aestivum*)

Der Weichweizen (auch Brotweizen, *Triticum aestivum*) ist eine Getreideart aus der Gattung Weizen (*Triticum* L.), welche der Familie der Süßgräser (*Poaceae*) zugeordnet ist. Der Begriff Weizen stammt vom germanischen Adjektiv „weisz“ und bezieht sich auf das helle Korn und das daraus gewonnene weiße Mehl des Weizens (Miedaner, 2014). Weizen wird von Menschen seit etwa 10 000 Jahren zu Ernährungszwecken kultiviert und entwickelte sich in dieser Zeit zu einer der wichtigsten Kulturpflanzen der Menschheit.

Im Jahr 2019 wurden weltweit 766 Mio. Tonnen Weizen auf einer Fläche von 216 Mio. Hektar geerntet, Weizen ist somit die häufigste Getreideart (FAO, 2019). Die EU und China sind die größten Weizenproduzenten. In Österreich wurden 2018 1,24 Mio. t Weichweizen geerntet. Angebaut wurden 255 108 ha Winterweichweizen und 3131 ha Sommerweichweizen. Der Anbau von Sommerweichweizen sank in den letzten Jahren stetig (BMLRT, 2020a).

Der durchschnittliche Weizenertrag betrug in Österreich 4,8 t ha^{-1} im Jahr 2018, das auf Grund der Witterung eher niedrige Erträge brachte. In besseren Jahren (z.B. 2015, 2019) lagen die Durchschnittserträge bei 6 t ha^{-1} (BMLRT, 2020a). Modelle sagen Ertragseinbußen bei Weizen von 6 bis 13% je 1°C Erderwärmung voraus (Mondal et al., 2016). In Österreich werden Weizen mit höchsten Backqualitäten produziert (Miedaner, 2014). Im Jahr 2019 wurden 77% als Premium und Qualitätsweizen und 23% als Mahl- und Futterweizen eingestuft (BMNT, 2019)

Die Österreicherinnen und Österreicher verbrauchten im Jahr 2018 jeweils 63,8 kg Weizen pro Person, der Selbstversorgungsgrad betrug 92% (BMLRT, 2020a). Von insgesamt 1,64 Mio t Weizen dienten 38,4% der menschlichen Ernährung, 28,6% als Industrierohstoff, 28% als Tierfutter, 3% als Saatgut und 2,1% wurden als Verluste verzeichnet (BMLRT, 2020b). Weichweizen wird hauptsächlich für die Herstellung von Brot und anderen Backwaren verwendet (Shewry & Hey, 2015).

2.1.1. Biologie und Morphologie des Weichweizens

Der Weichweizen (*T. aestivum*) ist eine einjährige Art. Es gibt sommerannuelle (Sommerweizen – wird im Frühling gesät) und winteranuelle Formen (Winterweizen – wird im dem Erntejahr vorangehenden Herbst gesät) sowie winterharte Sommerformen (Wechselweizen). Botanisch werden mehrere Unterarten unterschieden. Der Gewöhnliche Weizen *T. aestivum* subsp. *aestivum* hat schmale Ähren, gewöhnlich länger als 5 cm. Die Deckspelzen können begrannt (Grannen- oder Bartweizen) oder unbegrannt (Kolbenweizen) sein (Fischer et al., 2008). Auch Zwischenformen, die als „grannenspitzig“ bezeichnet werden, sind bekannt (Schilperoord, 2017). Bei der Unterart Zwergweizen *T. aestivum* subsp. *compactum* ist die Ähre sehr kurz (unter 5 cm) und dick, die Ährchen breit und kurz. Auch beim Zwergweizen treten begrannte (Igelweizen) und unbegrannte (Binkelweizen) Formen auf (Fischer et al., 2008).

Eine Weizenpflanze besteht aus den Wurzeln, einem kurzen Rhizom, aus dem die Halme und Blätter entspringen und den Ähren, die Blüten tragen, in denen sich die Körner entwickeln (Percival, 1921). Am Rhizom bilden sich mehrere Bestockungstriebe, jeder davon kann eine Ähre und mehrere Blätter bilden (Waines & Hedge, 2003). Das oberste Blatt, welches der Ähre am nächsten ist, wird Fahnenblatt genannt (Peterson, 1965). Die Ähre besteht aus mehreren Ährchen, die jeweils 2 bis 9 Blüten enthalten (Waines & Hedge, 2003). Die meisten Blüten enthalten drei männliche Staubbeutel und zwei weibliche Narben (Willenborg & Van Acker, 2008). Weizen gilt landläufig als selbstbefruchtende Art, bei der man keine Verkreuzung vermuten würde. In Experimenten werden jedoch 1 bis 10 % Fremdbefruchtung

nachgewiesen (Willenborg & Van Acker, 2008). Jede Blüte ist von einer dünnen Vorspelze und einer Deckspelze umgeben. Die Ährenachse des Weichweizens ist zäh und zerfällt nicht bei der Reife. Das Korn fällt bei vollständiger Reife aus der Spelze (unbespelzt; „Nacktweizen“) (Fischer et al., 2008).

Ein großer Abstand der Ähre zum letzten Halmknoten kann Pilzerkrankungen der Ähre vorbeugen, da Sporen vom Fahnenblatt schwieriger auf die Ähre überspringen können und die Luftfeuchtigkeit um die Ähre geringer sein kann. Ein großer Abstand ist auch von Vorteil für die Kornfüllung, wenn die Blätter wegen Trockenheit, Hitze oder Krankheitsstress keine Photosynthese mehr betreiben (Dawson et al., 2011). Die Länge der Internodien wurde durch die Einführung von Kurzstrohgenen in der Grünen Revolution wesentlich reduziert, dadurch ist bei modernen Sorten das letzte Internodium deutlich kürzer als bei Sorten aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Youssefian et al., 1992).

2.1.2. Stammesgeschichte

Die Gattung *Triticum* ist äußerst vielseitig und beinhaltet Formen (Reihen) mit drei verschiedenen Chromosomensätzen (Abbildung 1). Jeder Satz beinhaltet sieben Chromosomen. Während Einkorn zwei Chromosomensätze beinhaltet, besitzen Emmer und Hartweizen 4, und Weichweizen und Dinkel 6 Chromosomensätze (2n = 6x = 42). Die Genome des Weichweizens werden mit den Buchstaben A, B und D bezeichnet und liefern gemeinsam mit archäologischen Funden die Erklärung für die Entstehung der heute am häufigsten angebauten, hexaploiden Weizenform.

Diese komplexe Entstehungsgeschichte wurde intensiv erforscht und konnte so weitgehend erklärt werden, wenngleich manche Details noch nicht vollständig gelöst sind. Sie hängt eng mit Anfängen des Ackerbaus in der Jungsteinzeit im Gebiet des „Fruchtbaren Halbmondes“ zusammen (Miedaner, 2014). Der Fruchtbare Halbmond zwischen den Flüssen Euphrat, Tigris und Jordan gilt als Wiege des Ackerbaus sowie als Genzentrum von heute wichtigen Kulturarten. Eine ursprüngliche Weizenart, eine Art des Wildeinkorns (*T. urartu,* Genom AA), kam in diesem Gebiet vor und kreuzte sich vor rund einer halben Million Jahren mit einem Wildgras der Gattung *Aegilops* (Genom BB), das noch nicht bestimmt werden konnte (Dvořák et al., 1993). Aus dieser Kreuzung ging der Wildemmer (*T. turgidum* subsp. *dicoccoides,* BBAA) hervor. Nach derzeitigem Wissensstand bildete sich der Weichweizen (BBAADD) ca. 7000 v. Chr., kurz nach den Anfängen des Ackerbaus durch eine Kreuzung des Wildemmers mit dem Wildgras *Ae. tauschii* (DD) (Dvorak et al., 2012; McFadden & Sears, 1946). Das D-Genom brachte Backqualität und Anpassungsfähigkeit an feuchtere, kühlere Klimabedingungen (Miedaner, 2014). Es sind keine wilden hexaploiden Weizenbestände bekannt (Zohary & Hopf, 2000). Im Südosten der Türkei wurden die frühesten Nachweise von hexaploidem Weizen gefunden (ca. 7250 v. Chr.). Die beiden Hybridisierungen fanden zwischen verschiedenen Arten statt, welche normalerweise wegen der Verschiedenartigkeit der Chromosomen nur unfruchtbare Nachkommen hervorbringen. Nur durch eine spontane Verdopplung der Chromosomen konnte eine neue Art entstehen (Miedaner, 2014). Der Weichweizen ist freidreschend, das heißt die Spelzen sind weich, umschließen das Korn nur locker und können beim Dreschen einfach vom Korn getrennt werden. Diese Eigenschaft bringt sowohl Vorteile (einfachere Ernte und Verarbeitung) als auch Nachteile (Vogelfraß, höhere Krankheitsanfälligkeit und geringere Haltbarkeit), welche für die Verbreitung des Weizens von entscheidender Bedeutung waren (Miedaner, 2014). Kerber & Rowland (1974) gehen nach experimentellen Kreuzungen davon aus, dass die ersten hexaploiden Weizen nicht freidreschend waren und diese Eigenschaft erst später entstanden ist.

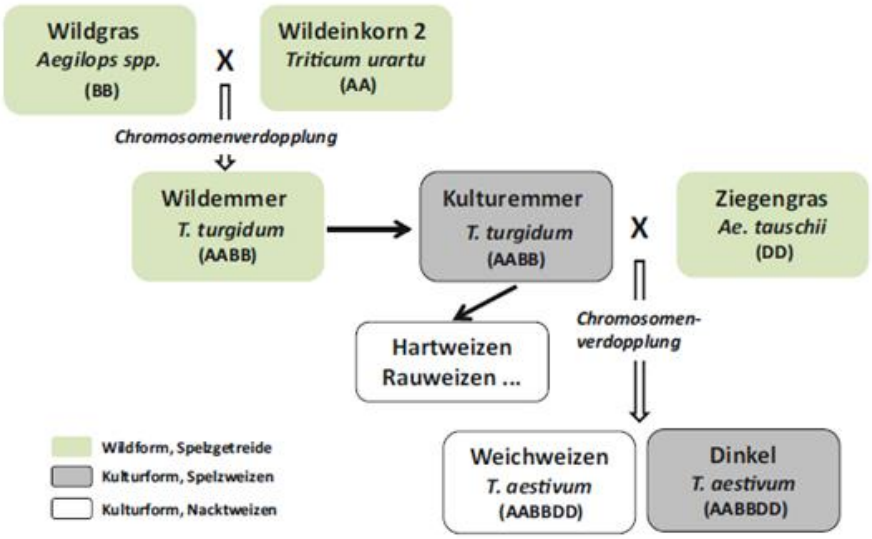

Abbildung 1: Der Stammbaum des hexaploiden Weizens (Quelle: Miedaner, 2014)

Der Ackerbau erreichte das heutige Österreich etwa 5500 v. Chr. mit der Kultur der Bandkeramiker über Südosteuropa. Sie brachten die frühen Weizenformen Einkorn und Emmer mit sich. Erst wesentlich später, um 4400 v. Chr. gibt es die ersten Nachweise von freidreschendem Weizen in den Pfahlbausiedlungen im nördlichen Alpenvorland, wobei hier nicht festgestellt werden konnte, ob es sich um tetra- oder hexaploiden Weizen handelt (Miedaner, 2014).

In der Bronze- und Eisenzeit nahm der Anbau von Nacktweizen zugunsten der widerstandsfähigeren Getreidearten Roggen, Gerste, Hafer und Dinkel ab (Tabelle 1) Erst mit den Römern tauchte der Anbau von Nacktweizen wieder auf (Miedaner, 2014). In Ausgrabungen von römischen Militärlagern in Süddeutschland bestanden die Getreidevorräte zu 80% aus hexaploidem Weizen, oft als Mischung von Weichweizen (Unterart *aestivum*) und Zwergweizen (Unterart *compactum*), und bis zu 20% aus Roggen. Die Römer bevorzugten das weiße Mehl des Weizens. Wo aus klimatischen Bedingungen kein Weizenanbau möglich war, kultivierten sie den robusteren Dinkel (Miedaner, 2014). Nach dem Zusammenbruch des römischen Imperiums ging der Weichweizenanbau nördlich der Alpen stark zurück und spielte lange eine untergeordnete Rolle, was mit seiner hohen Anfälligkeit für Stressfaktoren, Nährstoffarmut, Trockenheit und Staunässe zusammenhängt (Miedaner, 2014).

Der weltweite Siegeszug des Weichweizens ging erst mit der Mechanisierung der Landwirtschaft Ende des 19. bis Mitte des 20. Jahrhunderts einher, welche vor allem in den USA schnell voranschritt (Miedaner, 2014). Durch die Züchtung von Winterformen Ende des 19. Jahrhunderts konnten die Erträge deutlich gesteigert werden. Der erste selbstfahrende Mähdrescher kam 1951 auf den Markt. Danach wurde die Eignung für den Mähdrusch zu einem wichtigen Zuchtziel. Weizensorten mussten bis zum Eintreten der Vollreife aufrecht stehen bleiben. Es wurde auf erhöhte Standfestigkeit gezüchtet und die Pflanzenlänge verkürzt. Während Weizenlandsorten im 19. Jahrhundert noch 1,3 bis 1,5 m hoch waren, messen moderne Sorten nur mehr 0,8 bis 1 m. Durch die Einführung von Kurzstrohgenen, besonders durch das Internationale Weizen- und Mais Forschungszentrum CIMMYT, konnten die Erträge erhöht und die mechanische Ernte bei hohen Düngergaben verbessert werden. Die Kurzstrohgene sind genetisch allerdings mit einer verringerten Resistenz gegen Ährenfusariose verknüpft (He et al., 2016; Srinivasachary et al., 2008). Die Weizenerträge haben sich beispielsweise in Deutschland in den letzten 130 Jahren versechsfacht. Diese Entwicklung ging aber auch mit einem massiv gestiegenen Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln einher (Miedaner, 2014).

Tabelle 1: Die Verbreitung des Nacktweizens in Europa seit der Steinzeit; verändert nach Miedaner (2014)

Zeitalter	Zeit (ab ca.)	Verbreitung
Bandkeramiker	5700	nicht
„Pfahlbauten“	4400	sehr häufig (Ploidie unbekannt)
Bronzezeit	2200	selten
Vorrömische Eisenzeit	800	gering
Römerzeit	0	regional häufig
Mittelalter	700	regional gering
Neuzeit	1600	gering
Heute	1960	sehr häufig

2.1.3. Sommerweizen

Sommerweizen (in Österreich auch Lanz- oder Lenzweizen) bezeichnet Weizen, der im Frühjahr gesät wird und im Sommer des gleichen Jahres geerntet wird. Die Vegetationsdauer ist wesentlich kürzer als beim Winterweizen, welcher im Herbst des Vorjahres gesät wird. Im Gegensatz zum Winterweizen benötigt der Sommerweizen keine Anregung des Schossens und Blühens durch eine längere Kältephase im Winter (Vernalisation). Die botanische Bezeichnung *T. aestivum* (aestivum – sommerlich), deutet darauf hin, dass es in Europa bis ins 19. Jahrhundert nur Sommerformen gab. Die Züchtung von Winterformen begann erst Ende des 19. Jahrhunderts. Vor dem 1. Weltkrieg wurde der Winterweizen zum Standard (Miedaner, 2014). Aufgrund der kürzeren Vegetationsdauer des Sommerweizens sind auch die Erträge im Durchschnitt um etwa ein Drittel geringer, in Mitteleuropa wird Winterweizen dem Sommerweizen gegenüber bevorzugt. Sommerweizen dient hier lediglich zur Nachsaat nach Frostschäden oder wenn die Aussaat im Herbst nicht möglich war (Miedaner, 2014). In kalten Klimazonen, beispielsweise Kanada wird hauptsächlich Sommerweizen kultiviert (Willenborg & Van Acker, 2008). Diese Motive für den Sommerweizenanbau waren bereits vor 100 Jahren dieselben (Burggasser, 1927; Girtler, 1996). Auch kulturelle Aspekte spielten eine Rolle. In Lagen, die für den Weizenanbau nicht so günstig waren, wurde etwas Sommerweizen für das Festtagsgebäck angebaut (SAVE Foundation, 2018a). Rudolph et al. (1975) stellten am Sortiment des IPK Gatersleben fest, dass Sommerweizenmehle im Durchschnitt höhere Proteingehalte haben als Winterweizenmehle. Im Schnitt ist die Mehlausbeute von Sommerweizen um 3-7% geringer als bei Winterweizen, auf Grund einer unterschiedlichen Endospermstruktur (AGES, 2019).

2.2. Techniken und Entwicklung des Ackerbaus im Berggebiet im 20. Jahrhundert

Der Formenreichtum der Weizenlandsorten ist durch die Co-Evolution von Mensch und Natur entstanden. Deshalb können sie nicht getrennt betrachtet werden von der Gesellschaft, die sie nutzte. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts betrieben die BäuerInnen im österreichischen Alpengebiet Ackerbau, so wie bereits viele Generationen vor ihnen. Sie konnten alle wesentlichen Lebensmittel und Rohstoffe selbst herstellen. Die Landwirtschaft war eine Kombination aus Viehhaltung und Ackerbau. Viehhaltung erzeugte Fleisch, Fasern und stellte Arbeitskraft zur Verfügung, Ackerbau erzeugte Getreide und Fasern. Der Krautacker und der Hausgarten dienten der Versorgung mit Vitaminen (Schilperoord & Heistinger, 2011).

„Über Jahrtausende war das Getreide eines der wesentlichen Elemente der bäuerlichen Autarkie. Mit der beinahe vollständigen Selbstversorgung konnten die Bauernhöfe im Alpenraum sich und anderen auch während wirtschaftlicher Krisen das Überleben sichern." (Girtler, 1996). Wo es möglich war, wurden meist vier Getreidearten angebaut. Davon zeugen die großen Getreidekisten mit vier Kammern, die in vielen Bauernhäusern erhalten sind (Girtler, 1996). Weizen und Roggen (in Österreich „Korn" genannt) wurden meist als Wintergetreide, Hafer und Gerste als Sommergetreide kultiviert. Bei Ausfällen der Wintergetreide wurden Sommerweizen (Lenz- oder Lanzweizen) und Sommerrroggen (Lanzkorn) nachgesät. Je rauer das Klima, desto weniger Getreidearten konnten angebaut werden. Statt Winterungen kamen in hohen Lagen nur mehr Sommerungen vor. In den extremsten Lagen wurde nur mehr Sommerroggen kultiviert, der trotzdem teilweise nicht zur Reife kam (Mayr, 1922). In Vorarlberg wurde auch Dinkel und Einkorn angebaut (Mayr, 1935a). Meist wurden die Getreide als Monokultur gebaut, seltener auch in Mischungen (Mengkorn).

Charakteristisch für den Ackerbau im Berggebiet war die Egartwirtschaft. Auf zwei bis drei, selten mehr Jahre Getreide folgten fünf Jahre Grünland zur Heugewinnung und als Tierweide. Oft waren nur Weizen und Roggen in die Fruchtfolge einbezogen, Hafer und Gerste wurde auf eigenen, kleineren Flächen angebaut (Mayr, 1922). Roggen und Weizen wurden vorwiegend für die menschliche Ernährung verwendet, Hafer und Gerste dienten als Tierfutter. Im Alpenvorland herrschte die Drei-Felder-Wirtschaft vor (Burggasser, 1953).

Im Berggebiet verhinderte oft eine lang liegende Schneedecke im Frühjahr die rechtzeitige Saat der Sommergetreide. In manchen Regionen wurden Ochsen über die schneebedeckten Felder getrieben, um die Schneedecke zum Schmelzen zu bringen (Burggasser, 1953). Die BäuerInnen bearbeiteten den Boden mit von Ochsen gezogenen Pflügen in einer Tiefe von 8-10 cm. Gesät wurde breitwürfig entweder direkt auf die Furche oder nach einem Mal Eggen. Auf sehr steilen Flächen war das Streuen nicht möglich, so wurde Korn für Korn gesetzt (Mayr, 1935a). Manchmal wurde das Saatgut mit natürlichen oder chemischen Mitteln gebeizt (Burggasser, 1953). Beikraut wurde händisch gejätet. Durch zu hohe Stallmistgaben und zu dichten Anbau kam es oft zu starkem Lagern der Bestände (Mayr, 1928). Das Getreide wurde vor der Totreife mit der Sichel auf Kniehöhe geschnitten (Mayr, 1935a), Hafer und Gerste später mit der Sense, die sich ab 1907 durchsetzte (Girtler, 1996). Der Schnitt vor der Totreife war notwendig, um gleichmäßige Reife zu erreichen und Ausfallen der Körner zu verhindern. Die Landsorten zeigten durch ihre genetische Vielfalt oft eine ungleichmäßige Reife. Dann erfolgte das Nachtrocknen auf dem Feld, je nach Region unterschiedlich, das längere Wintergetreide oft in Garben, die zu Mandeln zusammengestellt wurden, das Sommergetreide auf Holzgerüste („Hiefeln" oder „Hiefler") gehängt (Girtler, 1996). Das gut abgetrocknete Getreide wurde dann in die Scheune gebracht. Hier erfolgte zuerst die Saatgutgewinnung (siehe 2.3). Der Drusch der restlichen Ernte erfolgte später im Winter mit Dreschflegeln. Das Erntegut wurde mit Reutern gereinigt, in Troadkästen gelagert und Schritt für Schritt in hofeigenen oder gemeinschaftlichen, wasserbetriebenen Mühlen vermahlen (Girtler, 1996).

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erfolgten viele ackerbauliche und technologische Neuerungen in der Landwirtschaft. In abgelegenen Berggebieten setzten sich diese erst später durch als in den Gunstlagen. Der Naturegart, bei dem der Bewuchs von ehemaligen Getreideflächen sich selbst überlassen war, wurde vom Kunstegart (gezielte Ansaat des Grünlandbestands) abgelöst. Die ersten Sämaschinen wurden in den 1920er Jahren auf Gutsbetrieben verwendet (Biebl, 1925), wodurch die Saatdichte deutlich verringert werden konnte. Nach und nach kamen Mähmaschinen, Standdreschmaschinen, Stiftendrescher, Dampfdrescher, Windfegen und Trieure hinzu.

Trotz dieser technischen Neuerungen war der Ackerbau im Berggebiet dem Untergang geweiht. Bereits der Bau der Eisenbahnen Ende des 19. Jahrhunderts führte bei vielen Bergbauern zu einer Aufgabe des Ackerbaus. Getreide oder Mehl aus Ostösterreich und Ungarn wurden mit der Eisenbahn nach Westösterreich transportiert. Abgelegene Täler wurden mit Karrenwegen erschlossen (Schilperoord, 2017). Die Bauern begannen, das günstige Getreide zuzukaufen, anstatt es mühsam selbst zu erzeugen. Flächennutzungskonflikte beschleunigten diesen Prozess. Im Salzkammergut

führten die Steigerung der Holzwirtschaft der Salinen, der Forstwirtschaft und der Jagd zu einem Rückgang des Getreidebaus (Burggasser, 1953). Auch die Neugründung von Genossenschaftsmolkereien machten die Ausweitung der Grünlandflächen notwendig (Biebl, 1925; Burggasser, 1953). Arbeitskräfte wechselten wegen besserer Bezahlung in den Fremdenverkehr, in die Industrie und die Holzarbeit (Burggasser, 1953). Mit Ausnahme der Zeit während der beiden Weltkriege war der Getreidebau stets rückläufig, am raschesten war der Rückgang in den Höhenlagen (Burggasser, 1927, 1953). In den 1960er Jahren dürfte in den meisten Gebirgslagen der Getreidebau verschwunden sein, wie 1965 in Spital am Pyhrn (Girtler, 1996). Es kam zu einem Strukturwandel und einer Spezialisierung in der Landwirtschaft, teilweise auf Grund der Produktionsbedingungen, aber zu einem großen Teil auch politisch gewollt und gefördert. Ganze Regionen spezialisierten sich, eine Entwicklung, die sich bis heute fortsetzt. *„Aufgrund der klimatischen Bedingungen und auch wegen des ÖPUL-Programms „Salzburger Regionalprogramm“ bzw. „Vorbeugender Grundwasserschutz Grünland“ hat der Ackerbau in Salzburg laufend abgenommen”* (Land Salzburg, 2017).

Biebl (1925) und viele von ihm befragte Landwirte hielten es noch für nicht vorstellbar, dass der Getreidebau jemals ganz zum Erliegen kommen würde. Zu wichtig erschien ihnen das Getreide zur Selbstversorgung der abgelegenen Höfe und als Einstreu für die Viehhaltung. Er war überzeugt davon, dass es auch in Höhenlagen möglich sei, rentabel Getreidebau zu betreiben.

Heute befindet sich nur 5% der Ackerfläche Österreichs in den alpinen Bundesländern Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Kärnten (BMNT, 2019). Die Aufgabe des Ackerbaus im Berggebiet ging mit einer Verarmung der Kulturlandschaft einher (Schilperoord, 2004). Eine vielfältige Kulturlandschaft kommt der natürlichen Biodiversität zu Gute, denn Grenzlinien zwischen verschiedenen Nutzungsformen sind besonders artenreich (Global 2000, 2020). In Tirol (Tiroler Umweltanwaltschaft, 2020) und der Schweiz (Fossati & Ingold, 2001; Schilperoord, 2014) gibt es Initiativen zur Erhaltung des Bergackerbaus und der lokalen Sorten. Die Wiedereinführung der Landsorten ist schwierig, weil inzwischen viel Wissen verloren gegangen ist (Schilperoord, 2014).

2.3. Die alpinen Weizenlandsorten

Es existieren verschiedene Definitionen des Begriffs „Landsorte“. Manche beziehen sich auf die Herkunft, Entstehungsgeschichte oder Dauer des Anbaus in einem bestimmten Gebiet, manche auf die Eigenschaften einer solchen Population. Laut Zeven (1998) ist eine Landsorte (engl. *landrace*) eine Population einer Kulturart mit hoher Toleranz gegen biotischen und abiotischen Stress, was in einem extensiven landwirtschaftlichen System zu einer hohen Ertragsstabilität bei einem mittleren Ertragsniveau führt. Landsorten können sowohl im Gebiet ihres Anbaus entstanden sein oder auch durch den Menschen in dieses eingebracht worden sein. Mayr (1935b) ging davon aus, dass die in dieser Arbeit untersuchten Sommerweizen-Landsorten autochthon (landeigen – schon seit Besiedelung des Gebiets angebaut) oder autochthogen (durch Mutationen oder spontane Kreuzungen im Gebiet entstanden) sind.

Die genetische Vielfalt innerhalb der Weizenlandsorten ist oft auf den ersten Blick erkennbar. Eine Landsorte enthält verschiedene Formen (Varietäten), die sich in Aussehen, Wuchs und Farbe der Ähren und Körner unterscheiden (Schilperoord, 2017). Die Formen unterscheiden sich auch in nicht offensichtlichen Merkmalen wie Reifezeitpunkt und Krankheitsanfälligkeit. Nicht alle Linien einer Landsorte verfügten über die gleichen Resistenzen, doch innerhalb der Population reagierten die Pflanzen unterschiedlich stark auf Krankheiten. So wurde eine starke Schädigung des Bestandes verhindert. Landsorten konnten so sehr dynamisch auf äußere Umstände reagieren, was sichere, aber keine maximalen Erträge gewährleistete (Schilperoord, 2017). Landsorten sind wichtige Resistenzquellen für die Weizenzüchtung. So wurden zum Beispiel Resistenzen gegen Steinbrand (*Tilletia caries*) wurden in Landsorten aus dem Iran, der Türkei und dem Balkan gefunden (Bonman et al., 2006; Muellner et al., 2020). Schilperoord (2017) vermutet Resistenzen gegen samenbürtige

Krankheiten wie Rost und Brand in den alpinen Landsorten. Schwarzrost sei die wichtigste Selektionskrankheit gewesen, daneben Mehltau (Schilperoord & Heistinger, 2015). Es gibt Resistenzpotenzial gegen noch unbekannte Mehltaurassen, die von heutigen Rassen überdeckt werden (M. Grau, persönliche Mitteilung). Frauensteil & Lehmann (1979) konnten in der Sammlung alpiner Weizenlandsorten von Erwin Mayr Akzessionen mit geringen Anfälligkeiten gegen die Halmbruchkrankheit (*Pseudocercosporella herpotrichoides*) identifizieren. Diese Toleranz ist heute nicht mehr relevant, weil inzwischen andere Rassen des Schaderregers vorhanden sind (M. Grau, persönliche Mitteilung).

Vorteile der phänotypisch vielfältigen und lokal angepassten Landsorten waren eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen klimatische Einflüsse wie Trockenheit und Kälte, Anspruchslosigkeit gegenüber den Bodenverhältnissen, gute Keimenergie, höhere Verdrängungskraft gegen spätkeimenden Unkräutern (Schachl, 1975; Schilperoord, 2017), hohe Verarbeitungsqualität und vor allem Beständigkeit der Erträge. Nachteile waren die Lagerneigung, die ungleiche Reife, die Anfälligkeit gegen Krankheiten, und niedere Erträge (Burggasser, 1953; Miedaner, 2014). Landsorten sind ein wichtiger Genpool für Ertragssteigerung, sowohl unter bewässerten als auch unter Hitze und Trockenstress Bedingungen (Lopes et al., 2015; Mondal et al., 2016; Reynolds et al., 1994). Schilperoord (2004) empfiehlt den Ackerbau mit trockenheitstoleranten Sorten für trockene Bergtäler, wo die Grünlandwirtschaft wegen geringer Niederschläge niedrige Erträge bringt. Die alpinen Landsorten dürften unbekannte Allele enthalten und sind bereits hervorragend and das mitteleuropäische Klima angepasst, bieten also Potential für die Weizenzüchtung (Fegg, 2012).

2.3.1. Die Erforschung der alpinen Getreidelandsorten Österreichs

Den Großteil des heutigen Wissens über die historischen österreichischen Getreidelandsorten, stammt von Forschern, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts detaillierte Arbeiten über den Getreidebau in den Gebirgsregionen verfassten. Allen voran Erwin Mayr (1899 - 1969), welcher den Getreidebau und die Getreidelandsorten im Salzachtal (Mayr, 1922), Nordtirols, Vorarlbergs (Mayr, 1935a) und Kärntens (Mayr, 1954) erforschte. Daraus entstand eine umfassende Arbeit über die Getreidebauzonen der westlichen Bundesländer (Mayr, 1956b). Als Gründer und Leiter der Tiroler Landesanstalt für Pflanzenzucht verwendete er die Landsorten auch in der Züchtung angepasster Getreidesorten für den Alpenraum (Winkler, 1970). Erwin Biebl erforschte den Getreidebau und Varietäten im Ennstal und im steirischen Salzkammergut (Biebl, 1925). Egon Burggasser erhob zwei Mal im Abstand von 27 Jahren den Getreidebau und die Varietäten im Alpengebiet Oberösterreichs (Burggasser, 1927, 1953), was einen Einblick in die Veränderungen dieser Zeit bietet. Somit liegt eine umfassende Übersicht über den Getreidebau in den Alpengebieten Österreichs am Anfang des 20. Jahrhunderts vor. Die *„große Sortengeographie der Alpenländer“* setzt die Entwicklung der Getreidesorten in Verbindung mit mineralogischen, bodenkundlichen, klimatologischen und geographischen Faktoren (Biebl, 1925). Die Wissenschaftler hatten das Ziel, den Getreidebau in den Bergtälern zu erhalten, die Erträge zu steigern (Burggasser, 1953) sowie den Aufbau einer Landsortensammlung und Züchtung von Sorten für das Berggebiet (Schilperoord, 2017). Eine Resolution des Internationalen Landwirtschaftinstituts (FAO) in Rom hielt die Staaten zur Sammlung von Getreidelandsorten an (Mayr, 1928). Der Berggetreidebau wurde für die Selbstversorgung abgelegener Täler und in wirtschaftlichen Krisen, für die Streugewinnung und für die bessere Arbeitseinteilung der BäuerInnen als wichtig angesehen (Biebl, 1925; Burggasser, 1953). Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit wurden Versuchsanstalten im Berggebiet eröffnet, wie die Versuchsaußenstelle der Bundesanstalt Linz in Spital am Phyrn auf 1000 m Seehöhe (Burggasser, 1953) sowie die Landesanstalt in Rinn in Tirol auf 900 m Seehöhe (Köck, 1989). Die Erforschung der Landsorten war von hohem Interesse, weil eingeführte Zuchtsorten in den rauen Gebirgslagen oft versagten (Biebl, 1925). Die Landsorten-Sammlung von Erwin Mayr (Mayr, 1956a) wird seit den 1920er Jahren von der Landesanstalt in Rinn erhalten. Im Jahr 1964 erhielt das jetzige Leibniz-Institut für

Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung ein Duplikat der Sammlung (Frauenstein & Lehmann, 1979). Dort wurden die Populationen zusätzlich in verschiedene Phänotypen aufgeteilt und getrennt erhalten, um dem Verlust einzelner Typen vorzubeugen (M. Grau, persönliche Mitteilung).

2.3.2. Die Entstehung der Landsorten

Die Entstehung der Landsorten war ein langer, teilweise zufälliger Züchtungsprozess. Die zwei Schritte der Pflanzenzüchtung, die Erzeugung genetischer Variation und die Auslese von Pflanzen mit vorteilhaften Eigenschaften, passierten durch Mensch und Natur im Alpenraum über 3000 Jahre (Fossati & Ingold, 2001). Die genetische Vielfalt in einer Population kann grundsätzlich innerhalb der Population selbst entstehen oder von einer anderen Population eingeführt werden.

Neue Merkmale entstehen, indem innerhalb der Population einzelne Pflanzen mutieren. In einer Population bereits vorhandene Merkmale können sich durch Kreuzungen neu kombinieren. Weizen gilt als selbstbefruchtende Art, bei der man keine Verkreuzung vermuten würde (Percival, 1921). In Experimenten werden jedoch Fremdbefruchtungsraten von mehreren Prozent nachgewiesen (Allan, 2015; Waines & Hedge, 2003). Fremdbefruchtung kann eine wichtige Rolle bei der Entstehung der Landsorten gespielt haben (Schilperoord, 2017).

Die Übertragung von Genen (Genfluss) aus einer anderen Population kann durch Pollen, Samen oder Pflanzen passieren (Slatkin, 1987). Damit diese neuen Elemente in der empfangenden Population weiterbestehen, müssen sie einen Vorteil gegenüber der Ursprungspopulation besitzen (Arnold & Hodges, 1995; Arriola & Ellstrand, 1997). Saatguttausch und Vermischungen beeinflussten die Entwicklung der Landsorten im Alpenraum nur in geringem Maße und nur über kurze Distanzen (Fegg, 2012; Zeven, 1999). Burggasser (1953) vermutet den Ursprung der Landsorten in mehr oder weniger benachbarten Gebieten in ähnlicher Höhenlage und/oder ähnlichem Kleinklima. Solche Tauschbeziehungen wurden mehrfach nachgewiesen (Mayr, 1928).

Zwei sich widersprechende Theorien versuchen die Entstehungsgeschichte der alpinen Weizenlandsorten zu erklären. Die Theorie der „autochtogenen (landbürtigen) Landsorten“ geht davon aus, dass die Landsorten, die in den 1920er Jahren gesammelt wurden, in den Alpentälern ihren Formenreichtum entwickelten (Mayr, 1935a). Es wird vermutet, dass die Landsorten direkt von den „Pfahlbauweizen“ *T. antiquorum* Heer abstammen, und bereits seit der Jungsteinzeit im Alpenraum kultiviert werden (Bertsch, 1950; Mayr, 1935a; Schiemann, 1947). Schilperoord (2017) schreibt, dass es „typische“ Landsorten, die über Jahrhunderte in der gleichen Region angebaut wurden, nur in den Grenzregionen des Ackerbaus gab. Kompakte Weizenähren wurden in Ausgrabungsstätten von neolithischen Pfahlbausiedlungen gefunden. Es konnte nicht festgestellt werden, ob es sich um hexaploiden oder tetraploiden Weizen handelte (Bertsch, 1950). Inzwischen geht man davon aus, dass frei dreschende Weizenfunde in temperaten Klimazonen wie Mitteleuropa vom Neolithikum und Bronzezeit wahrscheinlich großteils hexaploid sind (Zohary & Hopf, 2000). Schachl (1988) bezweifelt die Kontinuität des Anbaus, weil große Gebiete im Laufe der Geschichte entvölkert waren, und Getreidesorten in diesen Perioden verloren gingen. Tatsächlich gibt es wenige Nachweise von Nacktweizen in der Bronzezeit und im Mittelalter (Miedaner, 2014).

Dem Binkelweizen *T. aestivum* subsp. *compactum* wird eine besondere Rolle als Urform aller hexaploiden Weizen und auch als Vorfahre des europäischen Dinkels zugeschrieben (Bertsch, 1950). Laut Mayr (1935a) sind die *Compactum*-Formen älter und dominant, und aus ihnen spalteten sich in den Gebirgstälern die lockerährigen Typen heraus. Viele lockerährige Typen seien somit autochtogen (landbürtig) und Mitteleuropa somit ein sekundäres Genzentrum des Weizens (Fegg, 2012; Mayr, 1935a). Fegg (2012) fand Indizien, welche diese Theorie bestätigen. Die genetische Ähnlichkeit innerhalb der Population bei oft völlig unterschiedlichen Ährentypen spricht dafür, dass verschiedene Linien auseinander entstanden (Fegg, 2012). Mayr (1928) berichtet auch von häufigen Kreuzungen zwischen kompakten und lockerährigen Formen.

Schachl (1975) untersuchte die Weizenlandsorten des westlichen Alpenvorlands. Seine „Verdrängungstheorie“ besagt, dass in den Alpentälern keine neuen Formen entstanden, sondern alle Formen durch Tausch und Handel eingeführt wurden (Schachl, 1988). Historische Quellen belegen früh regen Handel mit Getreide und Versuchsanbauten, vor allem im 18. Jahrhundert aufgrund von Missernten (Schilperoord, 2017). Neue Populationen wurden jeweils zuerst in den günstigeren Anbaulagen des Alpenvorlandes eingeführt und sind dann nach und nach in die höheren Lagen vorgedrungen. Dort haben nur die widerstandsfähigsten Typen überlebt und die vorher vorhandenen Sorten verdrängt, weshalb die Landsorten ein *„Abriss des Widerstandsfähigsten aus den letzten Jahrhunderten*“ sind (Schachl, 1988). Der Selektionsdruck nimmt mit steigender Höhenlage zu, deshalb sind Populationen mit zunehmender Höhenlage uniformer (Schachl, 1988). Eine größere Vielfalt ist hingegen in niedrigeren Lagen vorhanden. Schachl (1988) sieht in der Massenauslese der Bauern nach strengen Kriterien seit 1850 eine Ursache für die zunehmende genetische Einengung. Die übliche Praxis der Beimengung von Restsaatgut aus dem Vorjahr oder von neuen Sorten zum jeweiligen Saatgut hingegen trägt zur Erhaltung des Formenreichtums bei. Schachl (1988) begründet seine Theorie mit der Einheitlichkeit der Winterweizen-Landsorten vom Inntal bis in den Attergau.

Für diese Winterweizen möge die Sortenverdrängungstheorie gelten, beziehungsweise handelt es sich vermutlich um frühe Zuchtsorten (Fegg, 2012). Für die alpinen Sommerweizen kann die Sortenverdrängungstheorie abgelehnt werden. Die verschiedenen Ährenformen innerhalb einer Population müssten sich genetisch stark voneinander unterscheiden, wenn sie Relikte von eingeführten Sorten wären (Fegg, 2012). Auch die starke Umweltselektion durch die harten Winter, die Schachl (1988) für die Einheitlichkeit der Winterweizenpopulationen verantwortlich macht, trifft auf die Sommerweizen nicht zu. Eine genetische Studie von Khlestkina et al. (2004) legt nahe, dass es keine enge Verbindung der Sommerweizen der Alpen mit den Winterweizen des Voralpenlands gibt.

2.3.3. Auslese durch die BäuerInnen und Umweltbedingungen

Jahr für Jahr gewannen die Bauern und vor allem die Bäuerinnen aus ihrer Ernte Saatgut für das nächste (oder übernächste) Jahr. Bei der Körnerfrucht Weizen wirkt sich eine Beeinträchtigung der Pflanzen direkt auf den Körnerertrag aus. So sind Pflanzen, die geschwächt sind, im Saatgut und in der nächsten Generation weniger vertreten (Schilperoord & Heistinger, 2015). Durch Anpassung über viele Generationen verändert sich bei selbstbefruchteten Arten die Genotypfrequenz dadurch, dass Genotypen verschwinden (Zeven, 1998). Eine strenge Selektion erfolgte bei den Winter- und Wechselweizen vor allem im Winter (Schilperoord & Heistinger, 2015). Die häufigsten Gründe für das Versagen von Winterweizenbeständen waren das Erfrieren durch Kahlfröste im Frühjahr (Mayr, 1954; Pammer & Ranninger, 1928), Zerstörung der Pflanze durch wechselndes Frieren und Auftauen und Ersticken unter der Schneedecke und Schneeschimmel (Schilperoord, 2017). Dies machte die Kultivierung von Winterweizen in Höhenlagen unmöglich, deshalb wurde dort vor allem Sommerweizen gebaut.

Bei Roggen und Gerste wurde vor allem auf Frühreife selektiert, die erhaltenen Sommerweizen – Landsorten sind jedoch eher spätreif (Mayr, 1928). Auch Verunkrautung konnte eine Rolle spielen. Schilperoord (2017) berichtet, dass Bauern wegen starker Verunkrautung des Weizens mit Kornrade *Agrostemma githago*, deren Samen sich schwer von Weizen trennen lässt, vollständig auf Dinkelanbau umstiegen. Tierische Schädlinge konnten erheblichen Schaden anrichten. Im Saalfeldener Becken wurde Anfang des 20. Jahrhunderts der Sommerweizenanbau durch die Getreidehalmfliege *Chlorops taeniopus* völlig zum Erliegen gebracht (Mayr, 1928). Demgegenüber schreiben Pammer & Ranninger (1928) den Landsorten wegen ihrer Zartwüchsigkeit eine geringere Anfälligkeit für die Getreidehalmfliege zu als den ausländischen, spät reifende Sommerweizensorten. Im 21. Jahrhundert wird der Anbau von Sommerungen vor allem durch zunehmende Trockenheit im Frühjahr erschwert (BMLRT, 2020a). Weiters wird von einem fortschreitenden „Abbau“ der Landsorten berichtet, wenn sie lange nachgebaut wurden, was alle paar Jahre einen Saatguttausch notwendig machte (Burggasser,

1927; Zeven, 1999). Mayr (1934) vermutet die Ursache in der schwindenden Sorgfalt der BäuerInnen bei der Auslese des Saatguts. In stärkerem Maße betraf der „Abbau“ aber neu eingeführte Sorten, die im ersten Jahr gute Erträge lieferten, dann jedoch jäh einbrachen. Die Ursache könnten lokale samenbürtige Krankheiten sein (Schilperoord & Heistinger, 2015).

Die technischen Mittel der Zeit führten zu einer Auslese der Typen, welche für diese Methoden geeignet waren. Damit das Getreide nicht bei der Ernte ausfiel, schnitt man es am Morgen (Schilperoord, 2017). Weizen wurde im Gegensatz zu Roggen nach dem Schneiden nicht am Feld belassen, sondern geerntet, wenn *„wunderbare Naturmusik mit Knistern und Lispeln der sich öffnenden Samenhülsen“* zu hören war, also an sonnigen, heißen Tagen mit niedriger Luftfeuchtigkeit (Ortmann, 1779; Schilperoord, 2017). In Grenzlagen reifte das Getreide in der Regel nicht am Feld aus und musste nachgetrocknet werden. Für die Gewinnung von Saatgut wurden die gebundenen Garben nur leicht angedroschen. Die Körner, die am reifsten und schwersten waren, fielen aus. Durch diese Art der Saatgutgewinnung entwickelten sich Sorten mit schwachem Spelzenschluss. Das Saatgut wurde in der Tenne am Boden nachgetrocknet und täglich bewegt (Schilperoord, 2017).

Manche Eigenschaften der Landsorten, brachten für die händische Ernte einen Vorteil (schwacher Spelzenschluss) oder zumindest keinen wesentlichen Nachteil (starke Lagerneigung), können aber eine Wiedereinführung in der modernen Landwirtschaft und die On-Farm Erhaltung erschweren (Schilperoord, 2017). Moderne Weizensorten umschließen das Korn viel fester, damit es weniger Ausfallgetreide bei der Ernte mit dem Mähdrescher gibt. Bemerkenswerterweise haben Binkelweizen einen festeren Spelzenschluss als andere Landsorten, was auf eine Nachreife am Feld hindeutet (Percival, 1921). Bei Binkel wurde also nicht auf lockeren Spelzenschluss selektiert (Schilperoord, 2017).

Die BäuerInnen griffen durch Massenauslese, Saatgutreinigung und Einzelkornauslese aktiv in die Entwicklung der Landsorten ein. Belegt ist die Ährenauslese zur Erhaltung eines bestimmten Ährentyps, z.B. von Binkel-Formen. Vor allem die Frauen waren im Winter für die Einzelkornauslese zuständig (Schilperoord, 2017). Laut Mayr (1934) hat die Sorgfalt der Auslese wegen vermehrtem Saatgutkauf nachgelassen. Sorgfältiges, händisches Jäten der Getreidebestände hat wohl auch Vermeidung von Vermischungen von Kulturarten und möglicherweise Sorten beigetragen. Landsorten wurden ausgelesen, um ihre Eignung für die Herstellung von traditionellen Speisen und Produkten zu erhalten (Schilperoord, 2017) wie die Herstellung von Lebzelten im Gurktal aus Binkelweizen (Mayr, 1954). Im Vergleich zu modernen Sorten haben Landsorten deutliche Unterschiede in der Backqualität. Schilperoord (2017) schließt daraus, dass bei Landsorten keine Selektion auf backtechnische Merkmale stattgefunden habe. Einwandfreie Brote wurden durch Teigsäuerung und die Benutzung von Formen erzeugt. Die Teigsäuerung bewirkt eine Straffung von zu weichen Teigen und die Benutzung von Backformen das Breitlaufen.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurden vermehrt einzelne Linien aus den Landsorten ausgelesen. Jene Linie wurde ausgewählt, die die meisten positiven Eigenschaften der Population in sich vereinte (Schilperoord, 2017), oder die am häufigsten vorkam (Biebl, 1925) und zu sogenannten „verbesserten oder veredelten Landsorten“ hochvermehrt. Sowohl Mayr (1928), Burggasser (1953) als auch Schilperoord (2017) berichten von regionalen Zentren, von denen aus sich Landsorten und „verbesserte Landsorten“ verbreiteten. Diese etablierten sich entweder wegen der guten Lage für die Saatgutproduktion (z.B. Lungau, Haunsberg in Salzburg), herausragender Qualität der Landsorten (z.B. Sipbachzell in Oberösterreich) oder von frühen Züchtungsaktivitäten (z.B. Stift Schlägl in Oberösterreich) (Burggasser, 1953). Die Namen dieser Orte wurden so zu Bezeichnungen für die verbesserten Landsorten (z.B. Sipbachzeller Weizen).

2.3.4. Verdrängung der Landsorten

Durch die Einführung von Zuchtsorten und vor allem durch die völlige Aufgabe des Ackerbaus im Berggebiet (vgl. 2.2) wurde der Anbau der Landsorten beendet. Die Landsorten kamen mit veränderten Wirtschaftsweisen nicht zurecht: Düngung mit Stickstoff führte zum Lagern der Landsorten (Burggasser, 1953). Hafer und Gerste wurde zuerst von Zuchtsorten verdrängt (Burggasser, 1953). Neue Winterweizensorten versagten aber in Grenzlagen oft, so konnten sich Landsorten dort bis zur Aufgabe des Ackerbaus erhalten (Burggasser, 1953; Schilperoord, 2017). Nach Schilperoord & Heistinger (2015) führten in der Schweiz folgende Ereignisse in mehreren Phasen zur Verdrängung der Landsorten, was weitgehend auch für Österreich zutrifft:

- Ab 1750 wurden neue Getreidesorten getestet und der Kartoffelbau etabliert.
- Ab 1850 wurden ausländische Sorten getestet und Saatgutkontrollstationen gegründet
- Durch verbesserte Transportbedingungen wurde in vielen Gebieten der Zukauf von Getreide günstiger als selbst produziertes Getreide.
- Lokale Sorten wurden in Gunstlagen von neuen Zuchtsorten verdrängt – hier kam es innerhalb kurzer Zeit zu einer Ertragssteigerung (Burggasser, 1953).
- Ab 1900 gab es eigene Zuchtbestrebungen, weil neue Sorten nicht immer funktionierten.
- Ab 1900 wurden durch Auslese einzelner Linien Landsorten verbessert.
- Ab 1910 wurde Kreuzungszucht betrieben.
- In den 1940er und 1950er Jahren wurden spezielle Sorten für das Berggebiet entwickelt, teilweise unter Verwendung von Landsorten.
- Die alpinen Landsorten wurden in der österreichischen Weizenzüchtung ab den 1950er nicht mehr verwendet (Fossati & Ingold, 2001).

Allgemein blieben die Landsorten in den Gebirgstälern länger erhalten als in Gunstlagen. Weltweit ist das Phänomen erkennbar, dass die genetische Vielfalt der Kulturpflanzen in Regionen mit schwierigen Produktionsbedingungen (Wüstengebieten, Gebirgslagen) besonders hoch ist (FAO, 2010).

Heute in Österreich kultivierte Landsorten sind oft nur Linien, die aus einer Population ausgelesen wurden und sind daher nicht unbedingt an lokale Bedingungen angepasst (Schilperoord, 2017). Das gilt auch für sogenannte „Erhaltungssorten“ laut EU-Gesetzgebung und Sorten, die im österreichischen Programm zur Förderung von seltenen Landwirtschaftlichen Kulturpflanzen angeführt werden (AGES, 2015). Echte Getreide-Landsorten, mit einer gewissen phänotypischen und genetischen Vielfalt, wie die alpinen Sommerweizen befinden sich in Österreich nicht mehr im Anbau.

2.3.5. Phänotypische und genetische Vielfalt der alpinen Sommerweizenlandsorten

„Der Wert der Landsorten liegt nicht in der reinen Linie, sondern in der Population, in den verschiedenen Formen, die sich in verschiedenen Beziehungen ergänzen“ (Biebl, 1925)

Die alpinen Landsorten waren Populationen, Mischungen aus mehreren phänotypisch und genotypisch unterschiedlichen Linien. Weizen wird botanisch anhand morphologischer Merkmale in verschiedene Varietäten eingeteilt (Mansfeld, 1951). Die Zugehörigkeit zu einer Varietät erlaubt aber keine Rückschlüsse auf eine genetische Verwandtschaft (Fegg, 2012). Unterschiede zwischen zwei Sorten einer Varietät können größer sein als zwischen zwei Sorten, die unterschiedlichen Varietäten zugeordnet sind. Oft gibt es keine Korrelation der Varietät mit agronomischen Eigenschaften (Reife, Wüchsigkeit, Bestockung, Wuchshöhe) (Schilperoord, 2017). Die Varietäten erlauben aber eine

schnelle und einfache Einteilung der Vielfalt sowie eine Beurteilung von Veränderungen der phänotypischen Vielfalt (Diederichsen et al., 2013; Hammer & Knüpffer, 2015; Schilperoord, 2017).

Tabelle 2 zeigt die 12 verschiedenen Varietäten der alpinen Sommerweizenlandsorten (Fegg, 2012; Mayr, 1928). Die Kornfarbe ist bei allen „braun" (Mansfeld, 1951) bzw. synonym „rot" (Schilperoord, 2017). Bei keiner Varietät sind die Spelzen behaart. Die Bezeichnung der Ährendichte ist in der Literatur nicht einheitlich: „Dicht" bei Mansfeld (1951) entspricht „mitteldicht" bei Mayr und „kompakt" bei Mansfeld entspricht „sehr dicht" bei Mayr (1956a). Begrannte Formen gelten als besser angepasst an kontinentales Klima, da die Assimilation in den Grannen bei Trockenheit langsamer zurückgeht als in den Blättern (Schilperoord, 2017).

Tabelle 2: Varietäten der alpinen Sommerweizen-Populationen (verändert nach Fegg, 2012; Mayr, 1956a und Schilperoord, 2017)

Unterart	Begrannung	Spelzenfarbe	Ährendichte	Varietät
aestivum	unbegrannt	weiß	locker	*lutescens*
	unbegrannt	weiß	dicht	*lutescenscompactoides*
	begrannt	weiß	locker	*erythrospermum* (syn. *aestivum*)
	begrannt	weiß	dicht	*erythrospermum-compactoides*
	unbegrannt	braun	locker	*milturum*
	unbegrannt	braun	dicht	*milturumcompactoides*
	begrannt	braun	locker	*ferrugineum*
	begrannt	braun	dicht	*ferrugineumcompactoides*
compactum	begrannt	weiß	sehr dicht	*icterium*
	begrannt	braun	sehr dicht	*erinaceum*
	unbegrannt	weiß	sehr dicht	*wernerianum*
	unbegrannt	braun	sehr dicht	*creticum*

Die Varietäten kamen in vielen verschiedenen Mischungsverhältnissen vor. Burggasser (1927) erhob die genaue Aufteilung der von ihm untersuchten Bestände. Laut Mayr (1934) bestand ein typischer Sommerweizenbestand in den Alpen zu 20% aus subsp. *compactum* und zu 80% aus subsp. *aestivum* (bei Mayr *vulgare*). Es gab regionale Unterschiede. Burggasser (1953) beschreibt etwa Zusammenhänge zwischen Höhenlage und den Eigenschaften der Landsorten: Das Tausendkorngewicht und die Korngröße sinken mit steigender Seehöhe, die Keimgeschwindigkeit und der Eiweißgehalt steigen und die Spelzen sind dunkler.

Neben der phänotypischen Vielfalt sind die alpinen Sommerweizenlandsorten auch genetisch sehr divers. Es sind wesentlich mehr Allele vorhanden als im Standardsortiment mitteleuropäischer und britischer Standardsorten und im Vergleich zu Landsorten aus dem Oman. Die Träger derselben Ährenformen aus einem Gebiet unterscheiden sich genetisch voneinander, während völlig unterschiedliche Ährentypen innerhalb einer Population genetisch ähnlich sind. Die verschiedenen Linien sind vermutlich auseinander entstanden (Fegg, 2012). Laut (Mayr, 1935a) sind die *compactum*-Formen älter und dominant, aus ihr spalteten in den Gebirgstälern lockerährige Typen heraus. Die Sommerweizen unterscheiden sich genetisch eindeutig von nicht-alpinen Zuchtsorten und auch von den Winterformen. Das deutet darauf hin, dass die Winterformen getrennt von Sommerformen eingeführt wurden (Fegg, 2012).

In der Landsortensammlung von Mayr (1956a) fanden sich unter den Sommerweizen acht verschiedene Varietäten, die der Unterart *aestivum* zugeordnet wurden. Darunter waren begrannte und unbegrannte Varietäten, mit weißen oder braunen Spelzen und Unterschieden in der Ährendichte. Man geht davon aus, dass sich diese lockerährigen Typen aus ursprünglich reinen Binkelweizen-Populationen abspalteten (Schiemann, 1932) und deshalb als autochtogen (landbürtig) gelten können (Mayr, 1935b). Biebl (1925) berichtet von Übergangsformen zwischen *compactum* und *aestivum*. Moderne Sorten können beinahe ausschließlich der Varietät var. *lutescens* (Alef.) Mansf. zugeordnet werden (Hammer & Knüpffer, 2015).

Die dichtährigen Binkel- oder Zwergweizen, die als Unterart subsp. *compactum* oder zumindest als Varietäten zusammengefasst werden (Fischer et al., 2008; Mansfeld, 1951), sind ein Spezifikum der alpinen Landsortensammlung. Diese Gruppe ist charakterisiert durch eine kurze, gedrungene Ähre. Die kurze Ährenform wird dominant vererbt (Schiemann, 1947). Der Halm von *T. aestivum* subsp. *compactum* ist fest, steif, aufrecht, oft mit Mark gefüllt und daher lagerfest (Biebl, 1925). Der Begriff Binkel bedeutet Sack auf österreichisch oder bayrisch (Girtler, 1996) bzw. Beutel oder Beule (Duden online, 2020) und bezeichnet im engeren Sinne unbegrannte Formen. Ist die Ähre begrannt, spricht man auch von Igelweizen. Die Farbe der Spelzen zur Reifezeit variiert von rötlich-braun (var. *creticum*) bis weiss (var *wernerianum*) (SAVE Foundation, 2018b). Weitere Bezeichnungen sind Kugelweizen, Buckel-Weizen (Fischer et al., 2008), Bolzweizen, Kölbelweizen (Mayr, 1935a), im Englischen *hedgehog* oder *club wheat*, sowie im Französischen *blé hérisson* (Schilperoord, 2017). Binkelweizen sind in der alpinen Landsortensammlung nur in den Sommerweizen vorhanden. Braungart (1914) berichtet auch von einem Winterweizenbestand in Tirol mit einem Drittel Binkelanteil. Moderne Binkelweizen, z.B. Zuchtsorten in Nordamerika sind (auch) Winterformen (Carter et al., 1999). In Nordamerika werden die Trockenheitstoleranz, Frühreife, geringe Ausfallneigung und konkurrenzfähiger Ertrag geschätzt (Johnson et al., 2007).

Die Ährenform des Zwergweizens ist typisch für die allerersten Weizensorten des Alpenraums (SAVE Foundation, 2018b). Bei Ausgrabungen von jungsteinzeitlichen Pfahlbausiedlungen wurden Ähren und Ährenabdrücke gefunden, die den rezenten Binkelweizen sehr ähneln (Abbildung 2). Daher geht man davon aus, dass der Binkelweizen ein direkter Nachfahre der jungsteinzeitlichen Weizen ist (Schiemann, 1932). So erreichte der Binkelweizen unter ExpertInnen einen Kultstatus als „Pfahlbauweizen“ (Schilperoord, 2017). Es konnte jedoch nie nachgewiesen werden, ob die jungsteinzeitlichen Weizen tetraploid oder hexaploid waren (Schilperoord & Heistinger, 2015). Jedenfalls dürfte die gedrungene, kompakte Ähre über lange Zeit die vorherrschende Form gewesen sein (SAVE Foundation, 2018b). So ist der Nacktweizen auch bei Funden aus der Metallzeit und dem Mittelalter meist kompaktährig (Schilperoord & Heistinger, 2015). Bereits im 19. Jh. nahm der Anbau des Binkelweizens im Alpenraum ab, und verschwand im des 20. Jh. vollständig (Schilperoord, 2017). Erwin Mayr selektierte aus alpinen Landsorten drei Binkelweizenlinien als verbesserte Sorten (Tiroler Früher, Mittelfrüher und Begrannter Binkel), welche von der Tiroler Genbank erhalten wurden und heute vereinzelt in Tirol wieder kultiviert werden (Tiroler Umweltanwaltschaft, 2020). Dem Binkelweizen wird auch eine Rolle bei der Entstehung des Europäischen Dinkels zugeschrieben. Dieser soll aus einer Kreuzung von Emmer und Zwergweizen in Mitteleuropa entstanden sein (Bertsch, 1950).

Abbildung 2: Negativabdruck einer Getreideähre in der Jungsteinzeitlichen Siedlung Arbon-Bleiche (3384-3370 v.Chr.) (Bildquelle: Steiner D., Amt für Archäologie Thurgau, Schweiz)

In Europa gibt es heute keinen nennenswerten Anbau des Binkelweizens. Dennoch ist es weltweit gesehen eine der häufiger im Anbau befindlichen domestizierten Weizen-Arten (Hammer & Knüpffer, 2015). Heutige Anbaugebiete liegen im Nordwesten der USA zur Herstellung von Keksen und flachen Gebäcken (Carter et al., 1999) und in Afghanistan (Zohary & Hopf, 2000). Historisch war der Binkelweizen in den kühleren Gebieten Mitteleuropas verbreitet (Miedaner, 2014), in den Alpen oft oberhalb der Anbaugrenze des Winterweizens (Mayr, 1935a) und in anderen Gebirgsgegenden z.B. im Hindukusch als Einsprengsel in *T. aestivum* (Schiemann, 1947). Positive Eigenschaften des Binkels sollen Widerstandsfähigkeit gegen Rost und Brand, gute Standfestigkeit und im Vergleich zu damaligen (1901) Zuchtsorten eine gute Kornqualität sein (Braungart, 1914). In Kärnten wurde der Binkelweizen besonders zum Backen von Lebzelten verwendet (Mayr, 1954).

2.4. Weizen als Rohstoff für die Broterzeugung

Vom Getreide am Feld bis zum Brot sind viele Schritte notwendig. Bei der mechanischen Ernte mit dem Mähdrescher werden die Körner aus den Spelzen geschlagen. Weizenkörner und Stroh werden im Mähdrescher voneinander getrennt. Danach erfolgt eine Reinigung zur Entfernung von Beikrautsamen und beschädigten Körnern. Bei zu hohen Wassergehalten (über 14%) wird das Erntegut zusätzlich getrocknet. Für den landwirtschaftlichen Betrieb sind der Ertrag und das Erreichen einer guten Handelsklasse wichtig. In der Mühle wird das Erntegut zu Mehl verarbeitet. Die Körner werden mit Wasser angefeuchtet (genetzt), um den optimalen Wassergehalt für den besten Mehlertrag zu erreichen. Die Körner werden meist von Walzen zerquetscht, die den Mehlkörper freisetzen. Mit Sieben wird die Kleie vom Mehl getrennt. Als Rohstoff für die Broterzeugung muss eine Charge Weizen eine bestimmte Qualität verfügen, die von den Inhaltsstoffen abhängig ist.

Eine der wichtigsten Verwendungen für Weizen ist das Backen von Broten und Gebäcken. Brotbacken war in Europa lange Zeit eher die Ausnahme - bis ins 18. Jahrhundert wurde Getreide vor allem als Brei

verspeist. Die reichere, städtische Bevölkerung ernährte sich bereits seit dem 13. Jahrhundert von Brot. Weizenbrot setzte sich erst im 20. Jahrhundert durch, davor war Roggen das wichtigste Brotgetreide. Brote bestanden meist aus Vollkornmehl, seit den 1970er Jahren wird von Bäckereien hauptsächlich Weißmehl verwendet (Miedaner, 2014).

2.4.1. Physiologie und Inhaltsstoffe des Weizenkorns

Das Weizenkorn ist der Samen des Weizens. Es enthält die Bausteine einer neuen Weizenpflanze und speichert die Stoffe, um diese während der Keimung zu ernähren (Abbildung 3). Der Embryo macht nur einen kleinen Teil, ca. 2,5% des Gewichts eines Getreidekorns aus. Den größten Teil, über 83% des Gewichts, bildet das Endosperm (der Mehlkörper) und ca. 14,5% die Frucht- und Samenschale (nach dem Mahlen Kleie genannt) (Nelson, 1985).

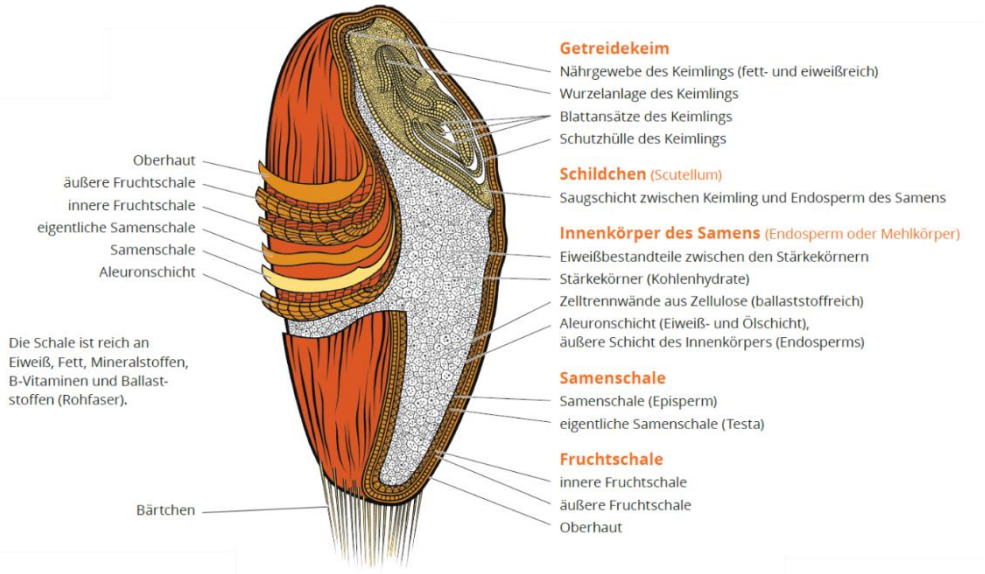

Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Weizenkorns (Bildquelle: Berghof W., Bonn; in: Lobitz, 2019)

Die Zellen des Mehlkörpers sind abgestorben und dienen der Versorgung des Keims mit Nährstoffen (Schilperoord, 2017). Der Mehlkörper besteht aus Stärke und Eiweiß. Der Samen wird von Frucht- und Samenschale umgeben. Zwischen Mehlkörper und Samenschale liegt die Aleuronschicht, die aus lebenden Zellen besteht und Eiweiß und Stärke für die Ernährung des Keimlings verfügbar macht. Sie enthält zwei Arten von Enzymen, die den Mehlkörper auflösen: Proteasen für den Eiweißabbau und Amylasen für den Stärkeabbau (Goesaert et al., 2005). Die Verteilung der Inhaltsstoffe in den Teilen des Weizenkorns ist in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Zusammensetzung der einzelnen Bestandteile des Weizenkorns (%) (Quelle: Schäfer & Flechsig, 1985)

Kornteil	Asche	Eiweiß	Stärke	Fett	Andere Kohlenhydrate[1]
Fruchtschale	5,0	7,5	0	0	72,5
Samenschale	8,0	15,5	0	0	61,5
Aleuronschicht	11,0	24,0	0	8,0	42,0
Keim	4,5	26,0	0	10,0	34,0
Mehlkörper außen	0,8	16,0	62,7	2,2	3,3
Mehlkörper innen	0,5	7,9	71,7	1,6	3,3

[1] Zucker, Pentosane

2.4.2. Inhaltsstoffe mit Einfluss auf die Backqualität

Für die Brotherstellung werden Weizenmehl, Wasser, Salz und Hefe und/oder andere Mikroorganismen zu einem elastischen Teig vermischt. Weizenmehl ist die Hauptzutat und besteht hauptsächlich aus Stärke (ca. 70-75%), Wasser (ca. 14%) und Proteinen (ca. 10-15%). Weiters beeinflussen Nicht-Stärke Polysaccharide (ca. 2-3%, insbesondere Arabinoxylane) und Lipide die Brotqualität (Goesaert et al., 2005).

Die Stärke liegt in Form von teilkristallinen Körnchen vor und besteht aus den Glukose-Polymeren Amylose und Amylopektin. Amylose ist kürzer und linear, während das Amylopektin große, stark verzweigte Moleküle bildet. Üblicherweise sind 25-28% der Stärke Amylose und 72-75% Amylopektin (Goesaert et al., 2005). Bei Raumtemperatur können die Stärkekörnchen etwa 50% ihres Gewichts an Wasser aufnehmen und schwellen. Beim Erhitzen über eine spezifische Temperatur (etwa 45°C) wird die Struktur der Stärkekörner irreversibel zerstört (Verkleisterung) (Balet et al., 2019; Goesaert et al., 2005). Dabei nehmen die Stärkekörner weiteres Wasser auf. Vor allem Amylose wird aus der Struktur gelöst und die Körner verformen sich. Diesen Zustand bezeichnet man als Stärkekleister (Goesaert et al., 2005; Zeng et al., 1997). Amylose kann mit polaren Lipiden schraubenförmige Komplexe bilden, die die Stärkeeigenschaften und Verkleisterung stark beeinflussen können (Goesaert et al., 2005). Beim Backen schwellen und verkleistern die Stärkekörner. Kleine Mengen an Amylose treten aus und bilden teilweise Komplexe mit Lipiden, doch die Stärkekörner behalten ihre Struktur. Beim Abkühlen bilden die restlichen gelösten Amylose-Moleküle ein Netz, in dem die gequollenen Stärkekörner eingebunden sind. Dieses Netz ist ein Hauptbestandteil der Krumenstruktur des Brotes.

Amylasen können die Polymerketten der Stärke in kleinere Bestandteile zerlegen. Dies ist bei der Keimung erforderlich, um dem Keimling Energie (Zucker) für das Wachstum zur Verfügung zu stellen. Die α-Amylasen spalten nur innere α (1–4) Glykosidbindungen der Amylose, dadurch entstehen Maltose, Maltotriose und Oligosacharide. Die β-Amylasen spalten vom Kettenende her ein Maltose-Molekül nach dem anderen ab (Goesaert et al., 2005). Der enzymatische Abbau von Stärke kann auch vor der Ernte durch Regenperioden ausgelöst werden, was die Backqualität negativ beeinflussen kann.

Weizenproteine werden nach Osborne (1924) nach ihrer Löslichkeit in Wasser, Salzlösung, Alkohollösung und saurer oder basischer Lösung in Albumine, Globuline, Gliadine und Glutenine eingeteilt. Ein Teil der Proteine ist aber in keiner dieser Lösungen löslich und Forschungen zeigten, dass diese Einteilung die biochemischen/genetischen Unterschiede der Proteine sowie ihren Einfluss auf die Brotqualität nicht klar abbildet (Goesaert et al., 2005). Heute werden die Begriffe Gliadin und Glutenin eher für biochemische/funktionell verwandte Moleküle verwendet. Funktionell werden die Weizenproteine in Gluten (80-85%) und Nicht-Gluten (15-20%) Proteine unterschieden, wobei Nicht-Gluten Proteine bei der Broterzeugung kaum Einfluss haben. Gluten (Weizenkleber) sind die Haupt-

Speicherproteine des Weizens. Es werden zwei Gruppen unterschieden, die in etwa der gleichen Menge vorkommen, die monomeren Gliadine und die polymeren Glutenine (Goesaert et al., 2005). Manche Glutenine sind Riesenmoleküle unter den größten Proteinen, die es in der Natur gibt (Wrigley, 1996). Über ihre Struktur ist noch wenig bekannt. Lange wurde ein enger Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Backqualität angenommen (Finney & Barmore, 1948), neuere Studien sehen aber die Zusammensetzung der Proteinfraktion als wichtiger an (Dobraszczyk & Schofield, 2002).

Während dem Mischen des Teiges nimmt das Mehl Wasser auf und durch die mechanische Einwirkung werden Ansammlungen von Glutenmolekülen voneinander getrennt und bilden ein verbundenes, viskoelastisches Proteinnetzwerk (Singh & MacRitchie, 2001). Während der Teiggare verändert sich die Struktur des Proteinnetzwerkes weiter. Es spielt eine Hauptrolle beim Zurückhalten von CO_2, das während der Teiggare und zu Beginn des Backens freigesetzt wird. Je besser die Kohlensäure zurückgehalten wird und je elastischer und dehnbarer der Teig ist, desto luftiger das Gebäck (Schilperoord, 2017). Menge und Qualität der Glutenmoleküle beeinflussen den Knetbedarf, die Empfindlichkeit auf Übermixen und die rheologischen Teigeigenschaften. Das Gasrückhaltevermögen beeinflusst das Brotvolumen und die Krumenstruktur (Goesaert et al., 2005). Zwei Faktoren beeinflussen die Kleberqualität: Das Gliadin/Glutenin Verhältnis ist eine Kennzahl für das Verhältnis von Elastizität (Stärke) und der Verformbarkeit/Viskosität des Teiges. Der zweite Faktor ist die Glutenin-Qualität, welche vermutlich von Zusammensetzung, Struktur und/oder Größenverteilung der Glutenin-Polymere begründet ist. Es gibt sehr große Variation in der Glutenin-Zusammensetzung zwischen verschiedenen Sorten (Goesaert et al., 2005).

Nicht-Stärke Polysaccharide befinden sich hauptsächlich in den Zellwänden der Endosperm-Zellen und der Großteil davon sind Arabinoxylane. Wasserlösliche und wasserunlösliche Arabinoxylane können entgegengesetzte Wirkungen auf die Teig- und Backeigenschaften haben (Goesaert et al., 2005). Lipide stammen aus Membranen, Zellorganellen und Spherosomen. Diese werden unterschieden in Stärke-Lipide, die in Stärke-Körnchen gebunden sind, und Nicht-Stärke Lipide. Vor allem die Nicht-Stärke-Lipide beeinflussen die Backqualität. Es wird vermutet, dass sie Lipidmonolayer zwischen Flüssig- und Gasphase bilden und so die Gasblasen stabilisieren (Gan et al., 1995).

2.4.3. Inhaltsstoffe mit gesundheitlichen Wirkungen

Da Produkte aus Weizenmehl in vielen Ländern der Erde in großen Mengen konsumiert werden, ist die ernährungsphysiologische Wirkung des Weizenmehls von großer Bedeutung. In Tabelle 4 sind übliche Nährwerte von 100 g ganzen Weizenkörnern dargestellt.

Tabelle 4: Inhaltsstoffe von 100 g „Weizen Korn ganz“ (Quelle: Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien & Dato Denkwerkzeuge, o. J.)

Inhaltsstoff	Gehalt
Fett (g/100g)	2,4
Gesättigte Fettsäuren (g/100g)	0,3
Kohlenhydrate (g/100g)	60,0
Zucker (g/100g)	0,7
Eiweiß (g/100g)	11,0
Brennwert (kJ)	1377,4

Neben seiner Rolle als Kohlenhydrat-Quelle enthält Weizen auch viele andere Nährstoffe wie Proteine (Eiweiße), Fasern und Komponenten wie Lipide, Vitamine, Minerale und gesundheitsfördernden sekundären Pflanzenstoffen (Shewry & Hey, 2015). Da sich Mineralstoffe und Vitamine im Weizenkorn

vor allem in den Randschichten befinden, welche bei der Gewinnung von Weißmehl entfernt werden, hat Weißmehl einen viel geringeren ernährungsphysiologischen Wert als Vollkornmehl (Miedaner, 2014).

Weizen kann verschiedene Krankheiten verursachen. Durch die öffentliche Diskussion steigt die Anzahl der Menschen, die sich gluten- oder weizenfrei ernähren (Scherf et al., 2016). Medizinisch eindeutig beschrieben sind die Unverträglichkeit gegen Gluten (Zöliakie), und die allergische Reaktion gegen Proteine, die (vorwiegend) im Weizen vorkommen (Weizenallergie). Wissenschaftlich akzeptiert, aber weniger eindeutig ist die Nicht-Zöliakie Gluten Sensibilität (Scherf et al., 2016). Zwei Stoffgruppen stehen im Verdacht, dieses Krankheitsbild zu verursachen: ATIs (Amylase-Trypsin-Inhibitoren) (Junker et al., 2012) und FODMAPS (fermentierbare Oligo-, Di-, und Monosaccharide und Polyole). FODMAPS, unverdauliche Kohlenhydrate, verursachen bei einem kleinen Prozentsatz der Bevölkerung Verdauungsprobleme. Die verwendete Weizenart bringt keine großen Unterschiede im FODMAP-Gehalt im Brot. Die Art der Teig- und Brotherstellung hat hingegen einen großen Einfluss. Eine langsame Teigführung mit Hefe und im Besonderen mit Sauerteig führen zu einem fast totalen Abbau der FODMAPS in Brot (Grausgruber et al., 2020), also könnte die modernen schnelle Teigführung Mitverursacher für den Anstieg der Menschen mit Weizen-Sensibilität sein.

2.4.4. Qualitätsklassen und Methoden zur Qualitätsbestimmung

Weizenzüchtung ist ein Kompromiss. Züchtung auf Erhöhung des Proteingehaltes geht nur zu Lasten des ernährungsphysiologischen Werts (= Verteilung der essenziellen Aminosäuren). Die Züchtung von Sorten mit hohem Ertrag führt zu niedrigeren Proteingehalten. Verbesserungen von modernen Weizensorten passieren durch die Beibehaltung von Qualitätsstandards bei sinkenden Proteingehalten des Mehls (MacRitchie, 1984).

Um auf Unterschiede in der Mehlqualität reagieren zu können, brauchen Bäcker zuverlässige Methoden, um das Verarbeitungsverhalten und den Einfluss auf das Endprodukt einschätzen zu können. Man unterscheidet indirekte Methoden von Backversuchen. Methoden zur Einschätzung der Backqualität sind in Europa von Land zu Land verschieden. Es gibt Methoden, die die Menge von spezifischen Mehlinhaltsstoffen messen (Wasser, Mineralstoffe, Protein, Säuren und geschädigte Stärke) und andere, die die Funktionsfähigkeit von Gluten (z.B. Sedimentationswert), Stärke (z.B. Fallzahl), Pentosanen und α-Amylase bestimmen (Huen et al., 2018). Bei Backversuchen werden direkt die Verarbeitungseigenschaften, das Backvolumen und das Erscheinungsbild des Brotes geprüft (Miedaner, 2014). Die Vergleichbarkeit von verschiedenen empirischen teigrheologischen Methoden (Farinogramm, Extensogramm, Viskometer) und ihre Aussagekraft auf den Backprozess ist begrenzt. Tests sollen unter möglichst ähnlichen Bedingungen durchgeführt werden wie in der praktischen Verarbeitung (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003).

An der österreichischen Börse werden drei Qualitätsklassen unterschieden Tabelle 5. Für alle Qualitätsklassen gelten dieselben Reinheits-Kriterien: Bruchkorn 3%, Kornbesatz 5%, Schwarzbesatz 1%, Auswuchs 2,5%, Summe der genannten Kategorien: 7,5% (Börse für Landwirtschaftliche Produkte in Wien, 2019).

Das österreichische Backqualitätsschema 1994 unterscheidet neun Backqualitätsgruppe (BQG) von 1 (sehr niedrige Backfähigkeit) bis 9 (sehr hohe Backfähigkeit) (Tabelle 6). Weizensorten werden anhand von sieben Merkmalen in eine BQG eingeordnet: Backvolumen und Teigverarbeitungseigenschaften im Semmelbackversuch mit Rapid-Mix-Teigbereitung, Rohproteingehalt, Feuchtklebergehalt, Sedimentationswert, Fallzahl, Qualitätszahl (aus dem Farinogramm), Wasseraufnahme (aus dem Extensogramm) und Teigenergie (aus dem Extensogramm) (AGES, 2020).

Tabelle 5: Weizen-Qualitätsklassen in Österreich (Börse für Landwirtschaftliche Produkte in Wien, 2019)

	Mahlweizen	Qualitätsweizen	Premiumweizen
Hektolitergewicht ohne Abschläge [kg]	78	80	80
Mindest-Hektolitergewicht [kg]	73	76	78
Proteingehalt [%]	12,5	14,0	15,0
Fallzahl [s]	220	250	280
Backqualitätsgruppe[1] mindestens	3	7	7

[1] 1 = sehr niedrige Backqualität, 9 = sehr hohe Backqualität (AGES, 2020)

Tabelle 6: Backqualitätsgruppen von Weizen in Österreich (AGES, 2020)

Backqualitätsgruppe	Beschreibung
7 – 9	Qualitäts- oder Aufmischweizen zeigen eine gute Backfähigkeit und eignen sich zur Aufbesserung schwächerer Mahlweizen
3 – 6	Mahlweizen haben eine ausreichende bis geringe Eigenbackfähigkeit, werden zur Herstellung von Handelsmehlen oft mit Qualitätsweizen aufgemischt
1 – 2	Sonstige und Futterweizen haben eine geringe Eigenbackfähigkeit oder sind nicht backfähig

3. Material und Methoden

3.1. Standort und Klima

Die Versuchsflächen befinden sich am Biohof Gschwendt, Gainfeld 14, 5500 Bischofshofen, Land Salzburg und am Moarhof des Bio-Instituts Raumberg-Gumpenstein, Trautenfels 15, 8951 Stainach-Pürgg, Steiermark.

3.1.1. Bischofshofen

Die Versuchsfläche Bischofshofen liegt auf 830 m Seehöhe auf einem Rücken, 300 m über dem Boden des von Süden nach Norden verlaufenden Salzachtales, am Eingang des nach Westen abzweigenden Gainfeldtales (47°24'54.2"N 13°11'56.6"E, Abbildung 4 a). Die Fläche ist Richtung Osten exponiert und leicht geneigt.

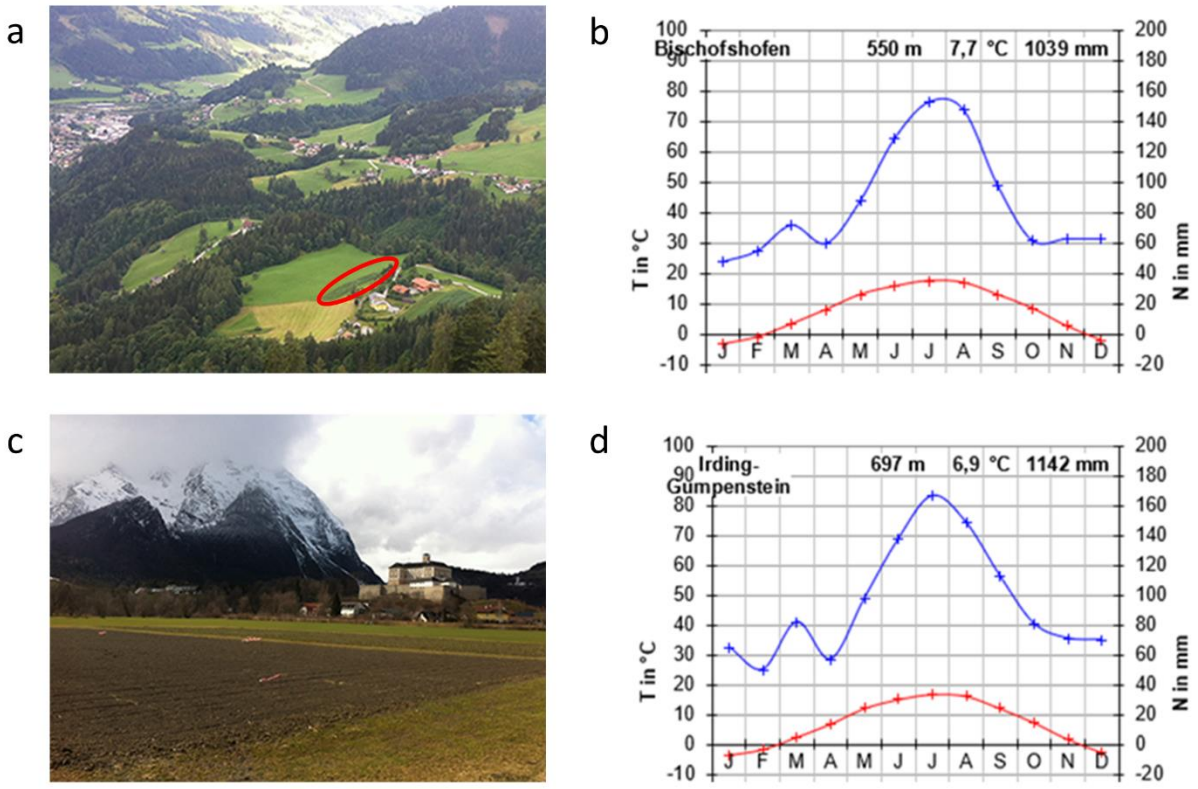

Abbildung 4: Versuchsflächen und Klima: **a** Luftansicht Bischofshofen (Versuchsfläche ist rot eingekreist); **b** Langjähriges Klimadiagramm 1981-2010 für Bischofshofen (T, Temperatur; N, Niederschlag); **c** „Ennsacker“ in Trautenfels vor der Aussaat; **d** Langjähriges Klimadiagramm 1981-2010 für Irdning-Gumpenstein (Datenquelle: ZAMG, 2012)

Geologisch befindet sich dieser Versuchsstandort in der Zone der Nördlichen Kalkalpen an der Grenze zur Grauwackenzone (Furtmüller et al., 2001). Moränen aus Kalken und Werfener Schiefer bilden das Ausgangsmaterial des Bodens. Der Bodentyp ist entkalkte Lockersediment-Braunerde. Die Bodenart ist lehmiger Sand oder sandiger Schluff mit mäßigem Grobanteil. Der Oberboden (A-Horizont) misst 20–25 cm und ist mittelhumos. Dieser Boden ist gut wasserversorgt, mäßig wasserspeicherfähig und eignet sich als mittel- bis hochwertiges Grünland (BFW, 2018).

Der Standort Bischofshofen ist durch einen hohen Jahresniederschlag (> 1000 mm) charakterisiert und mittleren Temperaturen < 0°C während der Wintermonate (Abbildung 4 b). Die höchsten Niederschläge werden im Sommer verzeichnet. In allen Monaten liegt die Niederschlagskurve des Klimadiagramms nach Walter deutlich über der Temperaturkurve; das ganze Jahr über herrschen also sehr humide Bedingungen vor.

Mayr (1956) ordnet das Salzachtal von Pass Lueg bis Lend in die Getreidebauzone II und alle Pongauer Nebentäler in Zone III ein (Abbildung 5). In Zone II überwiegt der Roggenbau aus klimatischen Gründen, Roggen und Weizen werden teilweise in Sommerform kultiviert. Zone III ist das Grenzgebiet des Winterweizenanbaus. Der Getreidebau reichte bis auf 1000 m, stellenweise bis 1200 m Seehöhe. Die Höhengrenze für Winterungen lag für Weizen durchschnittlich bei 800 m, maximal 900 m. Winterungen wurden vornehmlich im Tale, Sommerungen von den Bergbauern kultiviert (Mayr, 1928). Die Versuchsfläche Bischofshofen liegt demnach in Zone III, vermutlich wurde hier vor 100 Jahren Sommerweizen kultiviert. Sommerweizen wurde im April gesät, sobald der Boden bearbeitbar war, und Mitte/Ende August geerntet. Die Aussaatmenge lag bei 300 kg/ha, die Sommerweizenerträge bei 1200–1600 kg/ha (Mayr, 1928).

Der Bezirk St. Johann, in dem der Standort Bischofshofen liegt, ist einer der 5 Bezirke mit den geringsten Ackerlandflächen österreichweit (AGES, 2019). Das deutet neben strukturellen und politischen Rahmenbedingungen auch auf eher ungünstige Produktionsbedingungen für Ackerfrüchte hin.

3.1.2. Trautenfels

Die Versuchsfläche Trautenfels liegt am Boden des von West nach Ost verlaufenden mittleren Ennstales auf 392 m Seehöhe und ist nicht geneigt (Abbildung 4 c).

Das mittlere Ennstal bildet die Grenze zwischen den nördlichen Kalkalpen im Norden und dem Kristallin der Niederen Tauern inklusive der Grauwackenzone im Süden (Humer et al., 2015). Der Boden der Versuchsfläche bildet sich aus schluffigem oder sandig-schluffigem Schwemmmaterial der Enns. Der Bodentyp ist kalkhaltiger, vergleyter Auboden oder typischer Gley. Die Bodenart ist Schluff oder schluffiger Sand. Der Oberboden (A-Horizont) misst 20-25 cm und ist stark humos. Dieser Boden ist feucht, mäßig wasserspeicherfähig und eignet sich als mittelwertiges Grünland (BFW, 2018).

Das Klima in Irdning-Gumpenstein (nächstgelegene Wetterstation) ist feucht-kontinental und ähnlich wie in Bischofshofen (Abbildung 4 d). Die Jahresmitteltemperatur betrug im 30-jährigen Durchschnitt 6,9°C, die Jahresniederschlagssumme 1142 mm. Die niederschlagsreichsten Monate sind Juni bis August. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit beträgt 2,2 m s^{-1}, an 19 Tagen weht starker Wind (>6 Bf) und an 5 Tagen stürmischer Wind (>8 Bf). Durchschnittlich gibt es 26 Gewittertage und einen Tag mit Hagel (ZAMG, 2012). Die Versuchsfläche liegt 300 m niedriger als die Wetterstation, daher liegt die Jahresmitteltemperatur etwas höher.

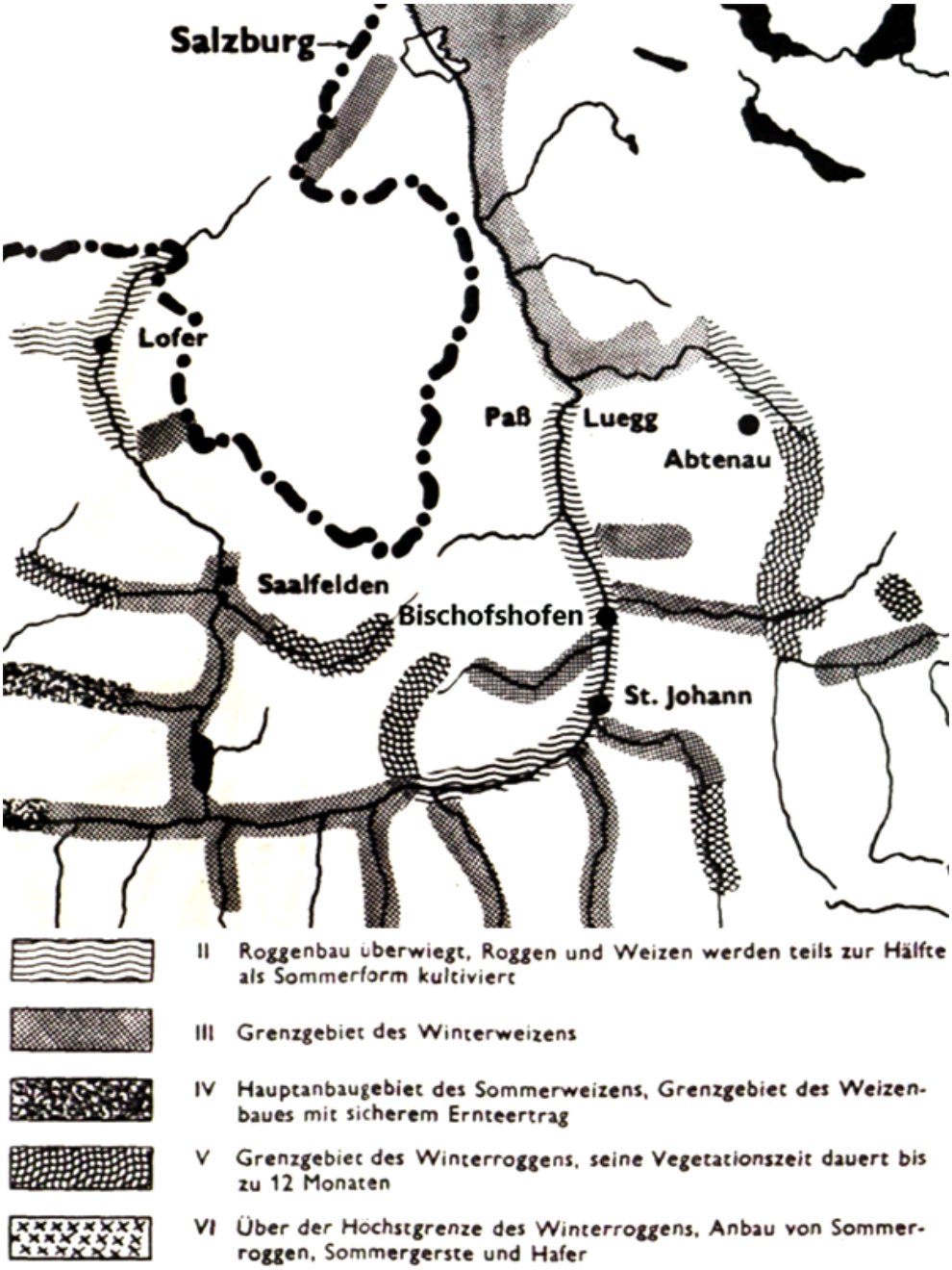

Abbildung 5: Getreidebauzonen im Land Salzburg mit der eingezeichneten Lage von Bischofshofen (verändert nach Mayr, 1956b)

3.1.3. Witterung

Die Witterung im Jahr 2018 in Österreich nördlich der Alpen war charakterisiert von überdurchschnittlich hohen Temperaturen und langen Trockenperioden. Der Frühling war der zweitwärmste der Messgeschichte. Der Getreidebau war von Ertragseinbußen durch Hitze und Wassermangel betroffen (BMNT, 2019). In Trautenfels konnte der Weizen Niederschläge Ende März für die Keimung nutzen, während in Bischofshofen die Trockenheit im April und Mai zu ungleichmäßigem Feldaufgang führten (Abbildung 6 b). Sowohl in Bischofshofen als auch in Trautenfels gab es Anfang Juni starke Gewitter, in Trautenfels mit leichtem Hagel.

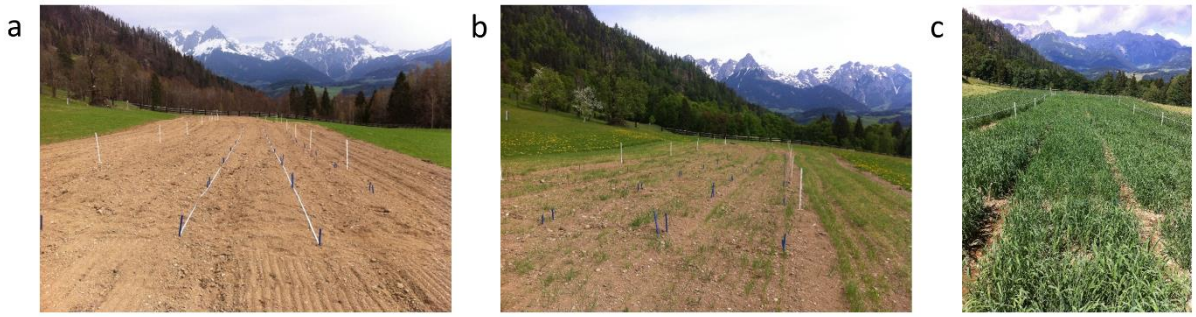

Abbildung 6: Versuchsfläche Bischofshofen: **a** Aussaat am 15. April 2018; **b** Aufgang am 1. Mai 2018; **c** Bestand am 3. Juni 2018 (BBCH32)

3.2. Herkünfte und Saatgut

Es kamen 10 Herkünfte und Sorten zum Anbau (Tabelle 7). Die Herkünfte mit den ID 3, 4 und 6 bis 10 sind alpine Sommerweizenlandsorten, die von Erwin Mayr 1922 bis 1932 gesammelt wurden (Mayr, 1956a) und seither in der Tiroler Genbank, Heiliggeiststraße 7, 6020 Innsbruck, erhalten werden (Holaus, 2000). Eine Kopie dieser Sammlung befindet sich seit 1965 in der Genbank IPK Gatersleben, Corrensstraße 3, 06466 Seeland, Deutschland, die einen Teil der Sammlung 1983 an den Verein ARCHE NOAH weitergab. Am IPK Gatersleben wurden die Landsorten an Hand der Varietäten aufgeteilt und als einzelne Linien erhalten. In jeder der in diesem Versuch verwendeten Landsorten sollte laut dieser Aufteilung 3–6 verschiedene Varietäten enthalten sein. Das im Versuch verwendete Saatgut stammt aus dem Samenarchiv des Vereins ARCHE NOAH, Obere Straße 40, 3553 Schiltern, wo die Landsorten in ihrer Gesamtheit als Population erhalten wurden. Laut Börner et. al. (2000) gibt es bei homozygoten Weizenakzessionen der Genbank Gatersleben nach 48 Jahren und bis zu 25 Vermehrungszyklen keine Veränderungen der Allele, das heißt weder Vermischungen noch Auskreuzungen. Da es sich bei den verwendeten Weizenlandsorten um Populationen handelt, könnten allerdings einzelne Genotypen im Zuge der Vermehrungen auf Kleinparzellen verschwunden sein.

Die Herkünfte Texinger Bergweizen und Binkelweizen Begrannt wurde vom Verein ARCHE NOAH bezogen. Ersterer Weizen stammt ursprünglich von einem Bauern in Texing, Niederösterreich, der sie seit Jahrzehnten am Hof nachbaut. Texing liegt im Mostviertel an den Ausläufern der Niederösterreichischen Alpen auf 370 m Seehöhe. Der Ursprung der Herkunft Binkelweizen Begrannt konnte nicht mehr nachvollzogen werden. Es handelt sich nicht um die von Erwin Mayr gezüchtete Sorte Begrannter Binkel (RINN-213003).

Die drei verbesserten Binkelweizen (RINN-213001 bis 213003) wurden von Erwin Mayr aus Sommerweizenlandsorten ausgelesen und zwei davon im Anschluss in die österreichische Sortenliste aufgenommen (AGES, 2015). In Abbildung 7**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind Ähren und Körner dieser Sorten dargestellt. Bei Versuchsbeginn waren Tausendkornmasse und Keimfähigkeit des Saatguts dieser Sorten unbekannt, deshalb wurden sie nicht in den Exaktversuch aufgenommen, sondern auf jeweils einer Parzelle in Bischofshofen zu Vergleichszwecken angebaut und das Erntegut für qualitative Untersuchungen verwendet.

Die Vergleichssorte Liskamm wurde von der Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil in der Schweiz gezüchtet und ist seit 2015 in Österreich zugelassen (BAES, 2018). Das Saatgut wurde von der Saatzucht Donau bezogen. Sie bringt sehr gute Backqualitäten bei mittleren Erträgen und kombiniert gute Krankheitstoleranz mit günstigem Hektolitergewicht und höherem Rohproteingehalt (AGES, 2019). Liskamm ist im österreichischen Biolandbau verbreitet, zeigte aber unter Bio-Bedingungen etwas geringere Erträge als an konventionellen Standorten (AGES, 2019). Der Ertrag wird bei geringer Bestandesdichte, hoher Kornzahl je Ähre, mittlerem TKG, hoher Kornzahl pro m² und hohen

Ährenerträgen gebildet (AGES, 2019). Eine detaillierte Beschreibung der agronomischen und qualitativen Ausprägungsstufen von Liskamm sind in der Österreichischen Beschreibenden Sortenliste (AGES, 2019) zu finden.

Tabelle 7: Beschreibung der verwendeten Herkünfte und Sorten

ID[1]	ARCHE	IPK	ÖNV	Sammelort bzw. Sortenname	TKM (g)	KF (%)
1	WE029	-	ARCHE-WE029	Binkelweizen Begrannt	56,9	-
2	WE-ZY150	-	-	Texinger Bergweizen	34,8	-
3	WE092	TRI 7495	RINN-212163	Wildschönau, Tirol	33,3	99
4	WE060	TRI 9310	RINN-212170	Wald im Pinzgau, Salzburg	33,9	92
5				Liskamm	38,8	95
6	WE170	TRI 8543	RINN-212014	Alpbach, Tirol	34,9	98
7	WE102	TRI 9054	RINN-212123	Osttirol	35,1	98
8	WE103	TRI 9090	RINN-212130	Lungau, Salzburg	32,6	98
9	WE077	TRI 9134	RINN-212137	Westendorf, Tirol	33,1	99
10	WE101	TRI 9173	RINN-212144	Umhausen, Tirol	40,3	99
11	-	-	RINN-213001	Früher Tiroler Binkel	-	-
12	-	-	RINN-213003	Begrannter Binkel	-	-
13	-	-	RINN-213002	Mittelfrüher Binkel	-	-

[1] ID, Sortennummer im Versuch; ARCHE, Akzessionsnummer in der Sammlung des Vereins Arche Noah; IPK, Akzessionsnummer in der Sammlung der Genbank des IPK Gatersleben; ÖNV, Akzessionsnummer im nationalen Verzeichnis der österreichischen Genbanken (AGES, 2021). Die letzten drei Ziffern der Akzessionen der Tiroler Genbank beginnend mit RINN-212 lauten gleich wie die ursprünglich von Erwin Mayr vergebenen Sammlungsnummern (Mayr, 1956a, 1964); TKM, Tausendkornmasse; KF, Keimfähigkeit

3.3. Versuchsanlage

Der Versuch wurde an beiden Standorten in zweifacher Wiederholung (WH) als vollständig randomisierte Blockanlage angelegt. Die Saatdichte betrug 350 keimfähige Körner pro m². Für die Berechnung der Aussaatmenge wurden die Keimfähigkeit (KF) und die Tausendkornmasse (TKM) berücksichtigt. Auf Grund der geringen Menge an verfügbarem Saatgut wurden die Parzellen am Standort Bischofshofen (3,2×1,4 m = 4,5 m²) kleiner ausgeführt als am Standort Trautenfels (5×1,4 m = 7 m²). Bei der Akzession WE029 Binkelweizen Begrannt reichte das Saatgut aufgrund der hohen Tausendkornmasse nur für eine Parzelle am Standort Bischofshofen. Diese wurde nicht in die Blockanlage aufgenommen.

a

b

Abbildung 7: Getestete Binkelsorten: **a** Tiroler Früher Binkel, Mittelfrüher Binkel, Begrannter Binkel (v.l.n.r.) (Bildquelle: Fegg, 2012); **b** Mittelfrüher Binkel (Bildquelle: AGES, 2015)

3.3.1. Bischofshofen

Auf der Versuchsfläche Bischofshofen wurden 10 Herkünfte in zweifacher Wiederholung in randomisierter Blockanlage angebaut (Abbildung 8), sowie 3 Binkelweizensorten jeweils nur auf einer Parzelle (Vergleichsanbau V). Als Mantel wurde die Sorte Kärntner Früher gesät. Zwischen den Parzellen wurde jeweils ein 30 cm breiter Gehweg freigelassen.

M	M	M	M	M	M	M
M	9 b	3 b	10 b	6 b	4 b	V
M	2 b	5 b	7 b	V	8 b	V
M	6 a	7 a	8 a	9 a	10 a	V
M	V	2 a	3 a	4 a	5 a	V
M	M	M	M	M	M	M

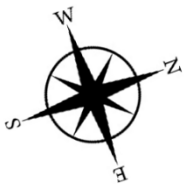

Abbildung 8: Versuchsplan Bischofshofen: M, Kärntner Früher (Mantel), V, Vergleichsanbau-Parzellen

3.3.2. Trautenfels

Auf der Versuchsfläche Trautenfels wurden 10 Herkünfte und Sorten in zweifacher Wiederholung als randomisierte Blockanlage angebaut (Abbildung 9). Als Mantel diente die Sorte Varius. Die Sämaschinenbreite betrug 1,55 m. Zwischen den Parzellen wurde nach dem Auflaufen der Saat jeweils ein 30 cm breiter Gehweg gefräst.

M	M	M	M	M	M	M
M	9 b	3 b	10 b	6 b	4 b	M
M	2 b	5 b	7 b	1 b	8 b	M
M	6 a	7 a	8 a	9 a	10 a	M
M	1 a	2 a	3 a	4 a	5 a	M
M	M	M	M	M	M	M

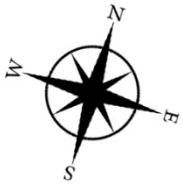

Abbildung 9: Versuchsplan Trautenfels: M, Varius (Mantel)

3.4. Kulturführung

Am Versuchsstandort Bischofshofen wurde im Jahr vor dem Versuch nach einem Grünlandumbruch Sommergerste angebaut, dann lag die Fläche über den Winter brach. Es erfolgte keine Düngung. Am 9. April 2018 wurde in einer Tiefe von 15 cm der Boden gewendet und zwei Tage später mit einer Feldegge geeggt. Die Aussaat erfolgte am 15. April 2018, wobei mit einem Furchenzieher 3 cm tiefe Furchen in einem Abstand von 12 cm gezogen wurden (Abbildung 6 a). Das Saatgut wurde jeweils für zwei Furchen eingewogen und mit einem Särad möglichst gleichmäßig in diese eingebracht. Die Furchen wurden dann mit einem Stahlrechen händisch geschlossen.

Auf der Versuchsfläche Trautenfels befand sich als Vorfrucht Sorghum, die im Herbst gehäckselt wurde. Im Frühjahr wurde die Fläche gepflügt. Es erfolgte keine Düngung. Am 26. März 2018 wurde mit einer Parzellensämaschine mit Reihenabstand 12 cm in 4 cm Tiefe gesät.

An beiden Standorten wurden die Parzellen einmal gejätet sowie die Wege gehackt (Bischofshofen) bzw. gefräst (Trautenfels). Am Standort Bischofshofen trat vor allem die Gemeine Quecke *Elymus repens* auf, am Standort Trautenfels war der Beikrautdruck hoch, weil die Vorfrucht Sorghum von Hagel geschädigt worden war.

3.5. Feldbeobachtungen

3.5.1. Entwicklungsstadien und Bedeckungsgrad

Der Feldaufgang wurde in Trautenfels am 9. April beobachtet, in Bischofshofen erfolgte keine Beobachtung. Der Bedeckungsgrad, definiert als Anteil des Bodens, der von den Weizenpflanzen im BBCH-Stadium 32 bedeckt ist (BAES, 2015), wurde in Trautenfels am 14. Mai, in Bischofshofen am 2. Juni erhoben (Abbildung 6 c).

Das Makrostadium des Ährenschiebens (BBCH 51) beginnt, wenn die Spitze der Ähre heraustritt oder seitlich aus der Blattscheide drängt (Lancashire et al., 1991; Witzenberger et al., 1989) und leitet die

Ertragsbildung ein. Das Datum des Ährenschiebens wurde notiert, sobald die Ähren bei zwei Dritteln der Haupthalme einer Parzelle die oberste Blattscheide zur Gänze verlassen hatten (BBCH 59) (BAES, 2015).

Das Stadium der Gelbreife (BBCH 87) liegt vor, wenn der Abdruck eines Fingernagels in einem Korn nicht mehr elastisch zurückgeht (Lancashire et al., 1991; Witzenberger et al., 1989). Die Ertragsbildung ist damit abgeschlossen. Das Datum, an dem zwei Drittel des Pflanzenbestandes dieses Stadium erreicht hatten, wurde notiert (BAES, 2015).

Gelbreife und Ährenschieben wurde in Tagen nach der Saat aufgezeichnet sowie die Differenz daraus gebildet. Diese Differenz wurde in dieser Arbeit vereinfacht als Kornfüllungsphase (KORNF) bezeichnet. Der Großteil der Kornfüllung passiert nach dem Ährenschieben, diese Phase hat deshalb großen Einfluss auf den Ertrag (Asana & Mani, 1955; Thorne, 1965). Der Einfluss der an der Kornfüllung beteiligten Photosyntheseorgane (Fahnenblatt und Pedunkulus) bleibt gleich, auch wenn man die Blüte statt dem Ährenschieben als Startpunkt betrachtet (Spiertz et al., 1971). Die Kornfüllung ist erst einige Tage nach der Gelbreife abgeschlossen, dies wird bei dieser Betrachtung vernachlässigt.

3.5.2. Lagerbonituren

Die Bewertung der Lagerintensität wurde nach dem Schema in Abbildung 10 durchgeführt. Eine Boniturnote wurde gewählt, wenn mehr als 50% der Pflanzen einer Parzelle die entsprechende Abweichung von der Lotrechten zeigte. Bonitiert wurde in Trautenfels am 12. Juni, 3. Juli du 23. Juli, in Bischofshofen am 18. Juli und am 9. August 2018.

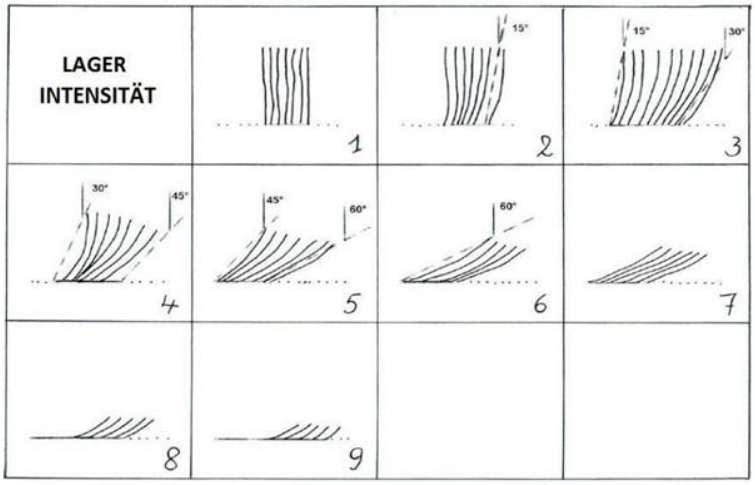

Abbildung 10: Boniturnoten Lager (1, fehlend bis sehr gering; 2, sehr gering bis gering; 3, gering; 4, gering bis mittel; 5, mittel; 6, mittel bis stark; 7, stark; 8, stark bis sehr stark; 9, sehr stark) (Bildquelle: van Waes, 2006)

3.5.3. Blattkrankheiten

In Trautenfels wurde am 3. Juli der Befall mit Gelbrost *Puccinia striiformis* (GRST) an der Blattoberseite nach dem Boniturschema der BAES (Abbildung 11) bestimmt (BAES, 2015).

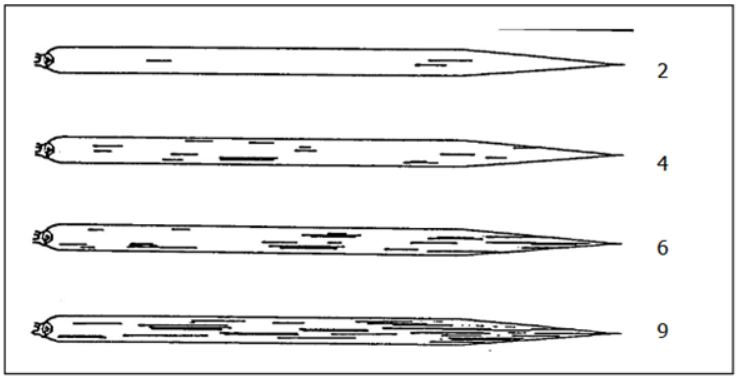

Abbildung 11: Boniturschema für Gelbrost (GRST): 2 = sehr gering bis gering, 4 = gering bis mittel, 6 = mittel bis stark, 9 = sehr stark (Bildquelle: BAES, 2015)

3.5.4. Phänotypische Merkmale

Die Wuchshöhe wurde mit einem Gliedermaßstab vom Boden bis zur Ährenspitze ohne Grannen gemessen (BAES, 2015). In Trautenfels wurde die Wuchshöhe am 31. Juli gemessen. Es wurde die mittlere Wuchshöhe der Parzelle bestimmt. In Bischofshofen wurde die Wuchshöhe am 10. August an 5 Einzelpflanzen je Parzelle bestimmt und der Mittelwert berechnet.

Der Abstand der Ährenbasis zum Fahnenblatt (Pedunkulus) wurde am Standort Bischofshofen am 10. August mit einem Gliedermaßstab an 10 Einzelpflanzen pro Parzelle gemessen.

Am Standort Bischofshofen wurden von allen verschiedenen Varietäten je Akzession fünf Ähren (wenn vorhanden) geschnitten und die Varietät bestimmt. Die Bestimmung erfolgte mit dem Bestimmungsschlüssel von Mansfeld (1951).

3.6. Ernte und Aufbereitung

Die Ernte erfolgte in Bischofshofen am 20. August. Die Parzellen wurden mit einem Motormäher gemäht und zu Garben gebunden. Die Garben wurden trocken gelagert und am 27. August nach Trautenfels transportiert, wo sie mit einem Parzellenmähdrescher der Firma Wintersteiger im Stand gedroschen wurden. Die Versuchsparzellen in Trautenfels wurden am 7. August gedroschen.

3.7. Tausendkornmasse, Hektolitergewicht und Siebung

Das Hektolitergewicht (HLW) wurde mit dem Pfeuffer Getreideprober Bauart 1938 bestimmt (Abbildung 12 a). Dieser nimmt ein Volumen von 0,25 L an Körnern auf. Diese Menge wurde gewogen und aus der Masse mit einer Umrechnungstabelle das HLW berechnet. Für die Bestimmung der Tausendkornmasse (TKM) wurden 12–14 g (300–500 Körner) je Probe eingewogen und mit dem Saatgutzähler Contador (Pfeuffer, Kitzingen, DE) gezählt (Abbildung 12 b). Aus den so gewonnenen Daten wurde die TKM berechnet.

Die Siebung erfolgte mit dem Pfeuffer Sortimat mit 2,2, 2,5 und 2,8 mm Schlitzsieben (Abbildung 12 c, d). Die Einwaage betrug 50 ± 0,1 g, die Siebdauer zwei Minuten. Die einzelnen Fraktionen wurden ausgewogen und auf Prozent umgerechnet. Alle Messungen für HLW, TKM und Siebung wurden in Doppelbestimmungen ausgeführt.

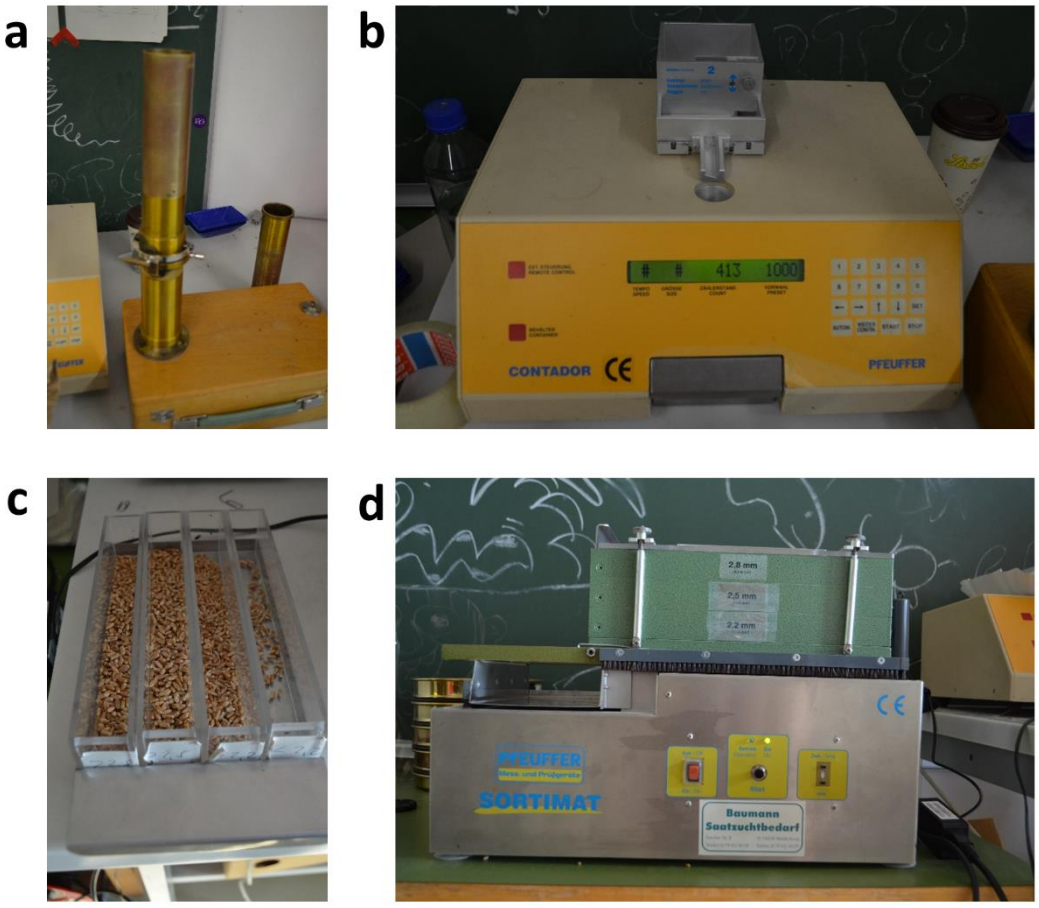

Abbildung 12: Laborgeräte zur Bestimmung von Kornmerkmalen: **a** Getreideprober zur Bestimmung des Hektolitergewichtes; **b** Kornzählgerät zur Bestimmung der Tausendkornmasse; **c, d** Siebmaschine zur Bestimmung der Korngrößen/-fraktionen

3.8. Protein und Gluten Nahinfrarotspektroskopie

Der Protein- und Feuchtklebergehalt der Körner wurden am 14. März 2019 bei der Saatzucht Donau, Probstdorf, bestimmt. Zum Einsatz kam ein NIRflex N-500 (Büchi, Flawil, Schweiz) Fourier-Transform Nah-Infrarot-Reflexionsspektroskopie Gerät mit einer Kalibration der Saatzucht Donau. An jeder Probe wurden zwei Messungen vorgenommen, an zwei Proben drei Messungen. Bei einer Probe wurde die Kalibrationskurve überschritten (20,6 bzw. 20,5% Protein). Diese Messwerte sind daher mit einer größeren Unsicherheit behaftet.

3.9. Teigrheologie

Zur Beurteilung der Teigeigenschaften wurden drei Methoden (Viskositätskurve mittels Rapid Visco Analyser, Kneteigenschaften mittels Micro-Doughlab, Dehneigenschaften mittels Mikro-Extensogramm) verwendet, die mit kleinen Probenmengen und zeiteffizient umsetzbar sind. Die Untersuchungen wurden am Pflanzenzüchtung (beide Universität für Bodenkultur) durchgeführt.

Es wurden jeweils 300 g der Proben mit einer exakten Wassermenge genetzt um eine einheitliche Kornfeuchte von 16% zu erreichen. 24 Stunden später wurden die Proben mit der Labormühle AQC 109 (Agromatic, Laupen, Schweiz) vermahlen. Nach jedem Mahlvorgang wurde die Mühle gründlich gereinigt. Das Mahlgut wurde mit dem Promylograph S1 (Apparatebau Max Egger, Sankt Blasen) 2 min

lang gesiebt. Siebaufsätze mit 224, 275, 500 und 900 µm Maschenweite wurden verwendet. Die Fraktion <224 µm wurde ausgewogen und für die weiteren Laborversuche verwendet.

3.9.1. Rapid Visco Analyzer

Als Vorbereitung für die Analyse mit dem Rapid Visco Analyser (RVA) wurde der exakte Feuchtigkeitsgehalt der Proben bestimmt. Es wurden drei Mal je Probe 1,50 – 1,52 g eingewogen, die exakte Masse notiert und im Trockenschrank bei 103°C für 4 Stunden getrocknet. Die Proben wurden in einem Exsikkator abgekühlt und danach erneut gewogen. Die Differenz der Masse vor und nach dem Trocknen in Prozent ergibt den Feuchtigkeitsgehalt. Aus den drei Werten je Probe wurde der Mittelwert berechnet.

Je nach Feuchtigkeitsgehalt der Probe wurde 2,81–2,85 g Mehl eingewogen und mit 25 mL Wasser in ein Aluminiumgefäß gefüllt. Mit dem RVA 4500 (Perten Instruments) wurde eine Viskositätskurve aufgezeichnet (Abbildung 13). Angewendet wurde die ICC Standardmethode 162 (ICC, 1995) bzw. die AACC Methode 76-21 (AACC, 2000). Der RVA imitiert den Kochprozess einer Mehl-Wasser Suspension in vier Phasen: Erhitzen – Temperatur halten – Abkühlen – Temperatur halten (Chen et al., 2008). Während des Erhitzens wird die Verkleisterungstemperatur von Amylopektin erreicht und die Viskosität steigt zu einem Maximalwert, der Peak Viskosität. Die Stärkekörnchen quellen und Amylose und kleine Amylopektin Moleküle werden ausgestoßen. In der folgenden Haltephase geht die Viskosität plötzlich zurück durch Anschwellen und Verfestigen der Stärkekörner. Während der Abkühlphase steigt die Viskosität erneut durch die Retrogradation der löslichen Amylose, die mit den Stärkekörnern ein Gel bildet (Balet et al., 2019; Chen et al., 2008).

Folgende Messwerte wurden aufgezeichnet:

- die Verkleisterungstemperatur (*pasting temperature*) ist die Temperatur (°C) am ersten Anstieg der Viskositätskurve. Der RVA zeichnet nicht die eigentliche Verkleisterung auf, sondern die nachfolgenden Effekte (Crosbie & Ross, 2007);
- die Peak-Viskosität (*peak viscosity*) ist das Maximum der Viskosität, während der Heizphase und gilt als ein Indikator für die Wasserhaltekapazität;
- die Zeit, die bis zum Erreichen dieses Maximums vergeht (*peaktime*);
- die Halteviskosität (*through viscosity* / *holding viscosity*) ist das erste Minimum nach dem Peak;
- die Abbau-Phase (*breakdown*) ist die Differenz zwischen Peak und Through Viskosität.
- der Rücksprung (*setback*) gibt die Differenz zwischen Endviskosität (*final viscosity*) und Through Viskosität an.

Alle Viskositätswerte werden in Centi-Poise (1 cP = 0,1 $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ = 0,1 Pa·s) gemessen. Die Abbaurate der Viskosität zu einer Halteviskosität hängt von der Temperatur und Knetintensität ab. Die Rückformung, erneute Ordnung und Vernetzung der Stärkemoleküle während des Abkühlens wird Setback genannt. Die Endviskosität ist der am häufigsten verwendete Parameter für die Qualität, weil sie die Fähigkeit eines Materials zur Formung eines zähen Gels nach dem Erhitzen und Abkühlen anzeigt (Crosbie & Ross, 2007; Perten Instruments, 2015).

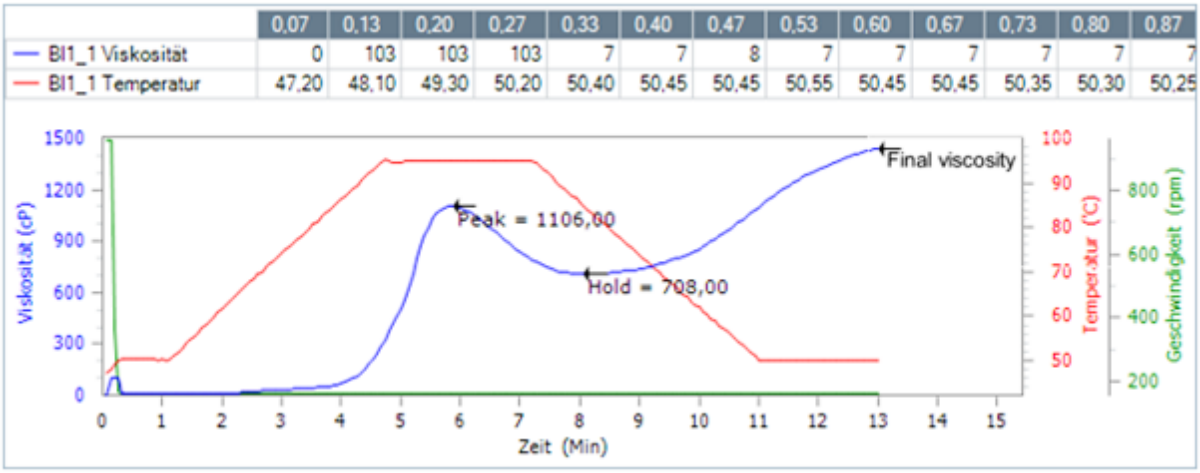

Abbildung 13: RVA Viskositätskurve einer Mehlprobe mit den eingezeichneten Parametern *peak viscosity*, *holding viscosity* und *final viscosity*.

3.9.2. Micro-Doughlab

Die Analyse der Teigkneteigenschaften erfolgte mit dem Gerät Micro-Doughlab 2800 (Perten Instruments, Hamburg). 4 ± 0,01 g Mehl wurden eingewogen. Der Feuchtigkeitsgehalt der jeweiligen Probe wurde in das zugehörige Computerprogramm eingegeben. Die Wasseraufnahme in Prozent (WA) wurde beim ersten Lauf vom Benutzer geschätzt. Das Micro-Doughlab titriert automatisch die berechnete Menge an destilliertem Wasser dazu. Die Proben wurden mit mit der *Standard Flour Testing Method* analysiert: nach einer Vormischzeit von 60 s und dem Einspritzen des Wassers wurde die Probe mit zwei Z-Knetarmen bei konstanter Temperatur von 30°C und konstanter Drehzahl von 63 Umdrehungen pro Minute für 20 min geknetet (Abbildung 14 a).

Das Micro-Doughlab erzeugt ein Diagramm, in dem auf der Ordinate das Drehmoment auf den Knetmessern und auf der Abszisse die Zeit aufgetragen wird. Der Versuch wurde wiederholt, bis pro Probe mindestens zwei Kurven mit einem maximalen Drehmoment von 500 ± 20 FU (Farinogrammeinheiten) aufgezeichnet wurden. Die Wasseraufnahme für den 2. Lauf und alle weiteren Versuche wurde vom Gerät automatisch berechnet. Folgende Parameter werden von der Software ausgegeben (Perten Instruments, 2001):

- die tatsächliche Wasseraufnahme (WA) in %
- die Wasseraufnahme korrigiert für ein exaktes Erreichen eines maximalen Drehmoments von 500 FU (WACOR) in %
- der maximale Teigwiderstand (PEAK) in FU
- die Teigentwicklungszeit (DDT) bis zum Peak in min
- die Stabilität als Zeit zwischen Erreichen des Maximums und der Teigerweichung in min
- die Teigerweichung (SOFT) in FU
- der Knet-Toleranzindex (MTI) ist das Verhältnis des maximalen Drehmoments zum Drehmoment 5 min später (Grad der Erweichung)
- die Energie am Kurvenmaximum (PEAKENER)
- die Kurvenbreite am Maximum (PEAKWIDTH)
- die Qualitätszahl (QN)

3.9.3. Mikro-Extensogramm

Es wurden 10 ± 0,02 g Mehl je Probe eingewogen. Die vom Micro-Doughlab ermittelte ideale Wassermenge wurde hinzugefügt. Mit dem Promylograph T3 (Apparatebau M. Egger, St. Blasen) wurde die Mischung zu einem Teig geknetet (Abbildung 14 b). Der Knetvorgang wurde manuell abgebrochen, sobald die Knetkurve nach dem Maximum zum ersten Mal deutlich abfiel. Anschließend wurde der Teig wurde in gekerbte, mit Kunststoffstreifen ausgelegte und mit Paraffinöl bestrichene Teflonformen gepresst (Abbildung 14 c) und ruhte für 45 min im Gärschank GS 8 Mini R (Wiesheu GesmbH, Affalterbach, Deutschland) bei 45 °C.

Die Bestimmung der Teigdehnungseigenschaften erfolgte mit dem Texture Analyzer TA.XT2i (*Stable* Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK), ausgerüstet mit dem SMS Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig (Abbildung 14 c, d). Für die Messung wurde das vorgegebene Programm *Bakery – Extensibility dough & Gluten* verwendet. Das Gerät zeichnet ein Kraft- Dehnungsdiagramm auf. Die maximale Distanz wurde auf 150 mm eingestellt. Nach jeweils 10 Proben wurde das Texturometer neu kalibriert.

Die Kraft-Dehnungs- Kurven wurden mit der Software Texture Expert Exceed, Vers. 2.64 (Stable Micro Systems Ltd.) ausgewertet. Folgende Parameter wurden ausgewertet (Grausgruber et al., 2002):

- Der maximale Dehnwiderstand (RMAX) in g
- Die Dehnbarkeit (EXE1) in mm am rechtesten Punkt entsprechend dem maximalen Dehnwiderstand minus 0,1 g sowie die Fläche EXA1 unter der Kurve bis EXE1 in N·mm
- Die maximale Dehnbarkeit E in mm an der Stelle, an der der Teig reißt und die Kurve auf <0,1 g abfällt, sowie die Teigenergie als Fläche EXA unter der Kurve bis EXE in N · mm (Dunnewind et al., 2003)

Die Relationszahl (RZ) und die Kurzextensogrammzahl (KEZ) wurden wie folgt berechnet (Grausgruber et al., 2002):

$$\mathrm{RZ} = \frac{\mathrm{EXE1} \cdot 10}{\mathrm{RMAX}}$$

$$\mathrm{KEZ} = \frac{\mathrm{EXE1}}{2} + \frac{\mathrm{EXA}}{20}$$

Es wurden jeweils vier Kurven je Probe statistisch ausgewertet. Zwei Kurven je Probe wurden verworfen.

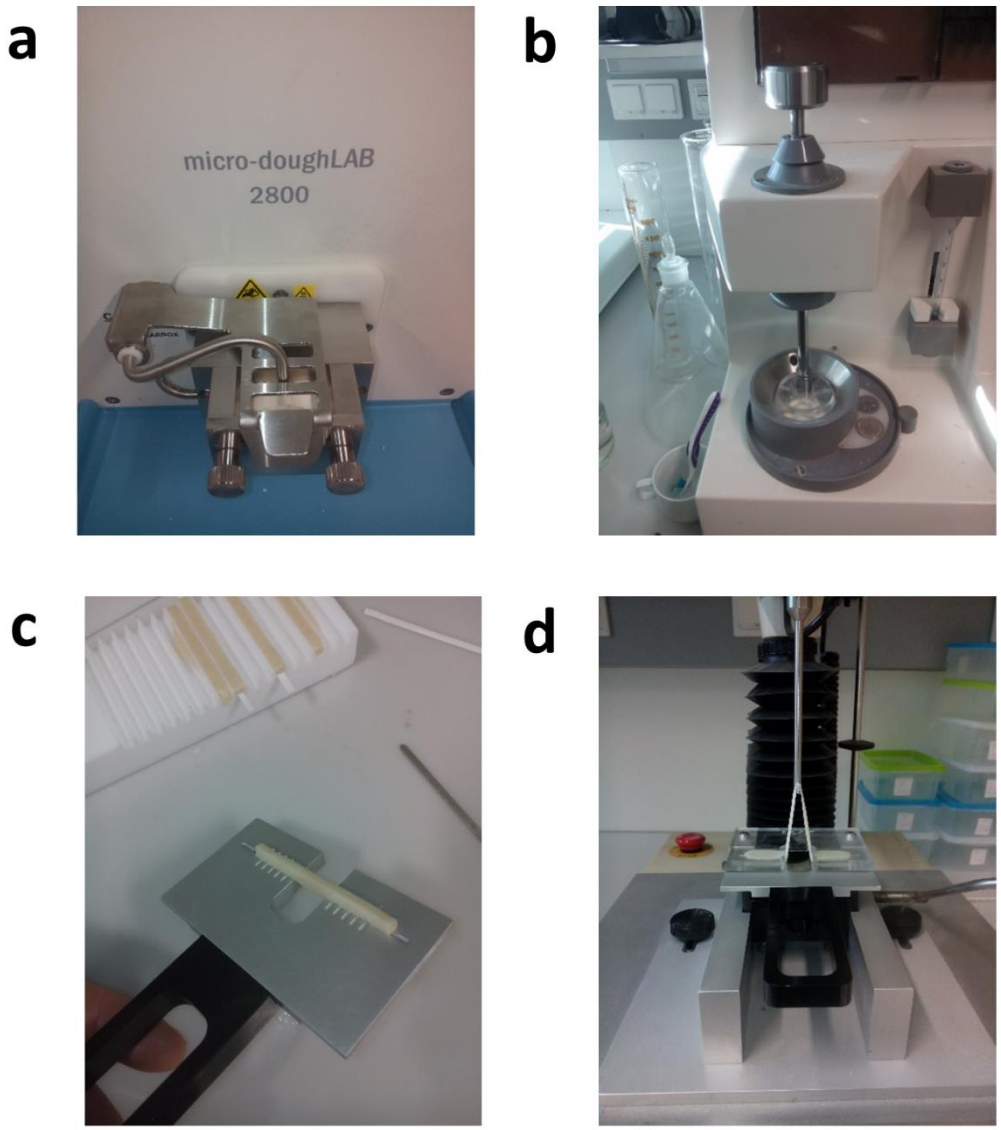

Abbildung 14: Laborgeräte zur Bestimmung der Teigrheologie: **a** Kneteinheit des Perten Micro-Doughlab 2800; **b** Kneteinheit des Promylograph T3; **c** Teflonform (im Bild links oben) und Tisch des Kieffer-Extensibility Rig; **d** Messung der Teigdehnbahrkeit mit dem Texturometer.

3.10. Backversuch

Der Backversuch wurde in der Bäckerei Unterbäck in Seekirchen am Wallersee durchgeführt. Das Rezept wurde von Simon Wöckl erstellt (S. Wöckl, persönliche Mitteilung). Am Vortag wurde ein Vorteig (Poolish) zubereitet, um die enzymatische Aktivität anzuregen. Der Vorteig unterstützt die Standardisierung und sorgt für Homogenität. Mit einem Gesamtwassergehalt von 65% ist der Teig eher weich, die Reifephase sorgt für Stabilität (S. Wöckl, persönliche Mitteilung). Die Zutaten wurden entsprechend Tabelle 8 verwendet.

Für den Vorteig wurden die Zutaten klumpenfrei verrührt und 8 h bei Raumtemperatur ruhen gelassen. Für den Hauptteig wurden die Zutaten mit der Küchenmaschine 6 min langsam und 3 min schnell geknetet. Die Teigreife erfolgte bei 28°C für 60 min. Danach wurde der Teig leicht bemehlt, auf die Arbeitsfläche gestürzt, in 510 g schwere Stücke geteilt und zu Laiben gefaltet (Abbildung 15 a). Die Brotlaibe wurden mit dem Schluss nach unten auf die Arbeitsfläche gelegt. Es folgten 30 min

Stückgare. Die Teiglinge wurden im auf 250°C vorgeheizten Backofen gegeben (frei). Nach 8 min wurde die Temperatur auf 200°C reduziert und für 40 min fertig gebacken (Abbildung 15 b).

Tabelle 8: Zutatenliste für die Backversuche und die einzelnen Teige

Teig	Zutat	je Probe (g)	je Brot (g)	Bezogen auf die gesamte Mehlmenge
Poolish	Wasser	360	90	30%
	Mehl	360	90	30%
	Backhefe[1]	0,6	0,15	0,05%
Hauptteig	Poolish			
	Wasser	420	105	35%
	Mehl	840	210	70%
	Backhefe	24	6	2%
	Salz	24	6	2%
	Sonnenblumenöl	12	3	1%

[1] Ottakringer Germ 42 g der Fa. Hagold Hefe GmbH, Wien

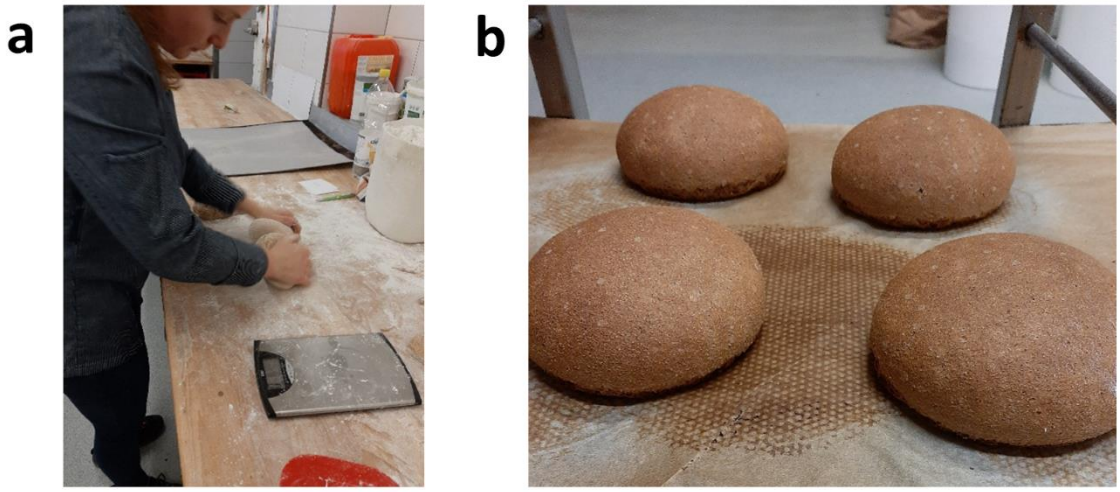

Abbildung 15: Backversuche: **a** Händisches Rundwirken und Formen der Laibe; **b** Gebackene Laibe

Der Umfang der Brote wurde mit einem Schneidermaßband waagrecht und zweimal im rechten Winkel zueinander senkrecht gemessen. Das Brot wurde in der Mitte durchgeschnitten und die Höhe am höchsten Punkt des Querschnitts mit einem Lineal gemessen. Eine Scheibe aus der Mitte wurde vor einem karierten Blatt Papier fotografiert, um daraus das Brotvolumen zu bestimmen (Abbildung 16). Der Abstand zwischen (Mobiltelefon-)Kamera und Brot betrug 185 mm. Die nicht von der Brotscheibe verdeckten Quadrate (bzw. halben Quadrate) des karierten Papiers wurden gezählt und daraus unter Einbeziehung des Abstands zur Mittellinie das Volumen eines halben Hohlzylinders je Spalte berechnet (Abbildung 16). Auf der anderen Seite der Scheibe wurde der Vorgang wiederholt. Die Summe der Volumina $\Sigma\, V_i$ der halben Hohlzylinder wurde vom Volumen des Zylinders mit dem Brotradius R^2 und der Brothöhe H subtrahiert.

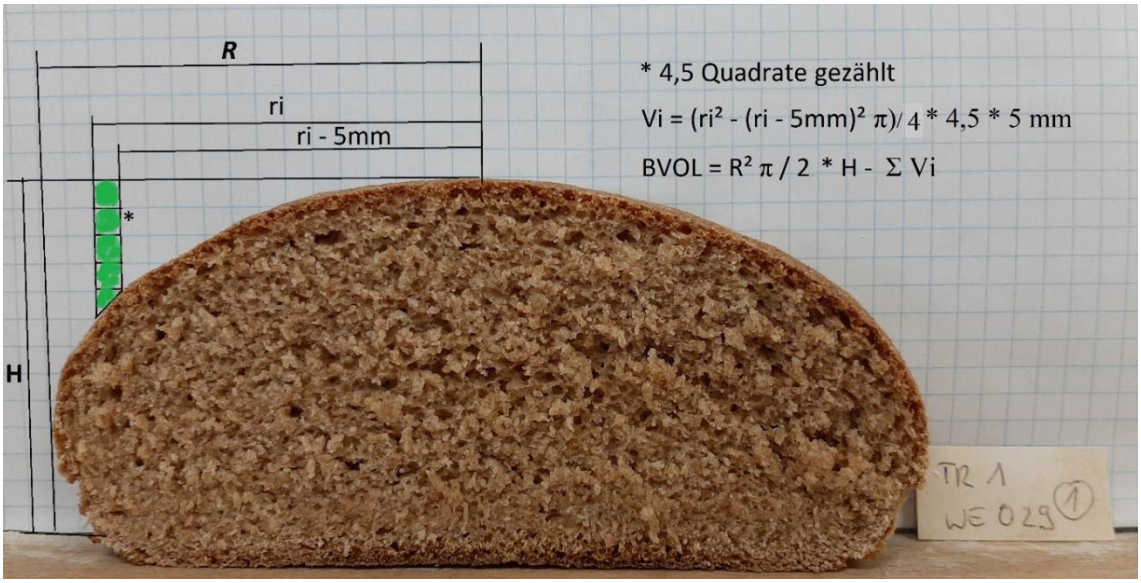

Abbildung 16: Querschnitt einer Brotscheibe mit dem Schema der Volumensberechnung eines halben Hohlzylinders mit der Querschnittsfläche von 4,5 Quadraten je 5×5 mm²

3.11. Statistik

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SAS® 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) und Microsoft Excel®.

Alle Daten wurden mit SAS® 9.4 als allgemeines lineares Modell mit der Prozedur GLM ausgewertet. Zuerst wurde das Modell *Merkmal = BLOCK (LOC) GEN LOC GEN*LOC* berechnet. Wenn BLOCK nicht signifikant ($p > 0.05$) war, wurde das Modell vereinfacht auf *Merkmal = GEN LOC GEN*LOC*. Bei signifikanter GEN×LOC Interaktion wurden nur die Mittelwerte getrennt nach Orten berücksichtigt.

Um die Landsorten mit der Sorte Liskamm zu vergleichen, wurde der paarweise Vergleich PDIFF mit Dunnet-Korrektur verwendet. Um Unterschiede zwischen den Sorten zu finden, wurde der *t*-Test mit Gruppierung verwendet. Korrelationen zwischen Merkmalen wurden mit der Funktion PROC CORR berechnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Varianzanalyse

Für viele Merkmale konnten signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen gefunden werden (Tabelle 9 und Tabelle 10). Oft war die Interaktion zwischen Genotyp und Umwelt (Ort) signifikant, deshalb müssen die beiden Standorte getrennt betrachtet werden und es können keine Aussagen über standortunabhängige Unterschiede zwischen den Akzessionen getroffen werden. Die Mittelwerte der verschiedenen Genotypen wurden miteinander und mit Literaturdaten verglichen.

Tabelle 9: Signifikanzwerte der Varianzanalyse der agronomischen Merkmale. Signifikante Effekte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Merkmale[1]	GEN	LOC	GEN*LOC	GEN[2] Bischofshofen	GEN[2] Trautenfels
DTGR	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0031**	**0,0026**	**0,0207**
KORNF	**0,0003**	**<0,0001**	**0,0065**	**0,0077**	**0,0122**
YLDDT	**0,0006**	0,5231	**0,0046**	0,1033	**0,0003**
WHOE	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0039**

[1] GEN, Genotyp; LOC, Ort; DTGR, Datum Gelbreife; KORNF, Dauer Kornfüllung; YLDDT, Kornertrag gereinigt; WHOE, Wuchshöhe; [2] Ohne nicht signifikanten Faktor Block

Tabelle 10: Signifikanzwerte der Varianzanalyse von qualitativen Merkmalen. Signifikante Effekte ($p < 0,05$) sind fett gedruckt.

Merkmale[1]	GEN	LOC	GEN*LOC	GEN[2] Bischofshofen	GEN[2] Trautenfels
TKM	**<0,0001**	0,7993	**<0,0001**	*	*
HLW	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
NIRSPROT	**<0,0001**	**0,0015**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0023**
NIRSGLUT	**<0,0001**	**0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0042**
PROTYLD	0,3953	0,6396	.	.	.
RVAPEAK	**<0,0001**	0,3707	**<0,0001**	**0,0008**	**<0,0001**
RVABREAKDOWN	**<0,0001**	0,2336	0,1252	.	.
RVAFINVISC	**<0,0001**	0,8426	**<0,0001**	**0,0001**	**<0,0001**
RVARZ	**<0,0001**	0,1744	0,4512	.	.
RVAPEAKTIME	**0,0169**	0,1094	0,3394	.	.
MDL_WA	**0,0373**	**0,0002**	0,1035	**0,0099**	0,5425
MDL_DDT	**0,0043**	0,0785	**0,0046**	**0,0014**	0,1371
MDL_SOFT	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	*	*
MDL_STAB	**<0,0001**	**0,0002**	**0,0001**	*	*
EXA1	**<0,0001**	0,2061	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
EXA	**<0,0001**	0,4077	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0002**
EXRMAX	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
EXE1	**<0,0001**	**0,0018**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
EXE	**0,0002**	**0,0361**	**<0,0001**	**0,0303**	**<0,0001**
EXRZ	**<0,0001**	**0,0002**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
EXKEZ	**<0,0001**	**<0,0019**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
BVOL	**<0,0001**	**0,0011**	0,3644	**0,0055**	**0,0012**
BVH	**<0,0001**	1,000	**0,0092**	**<0,0001**	**<0,0001**
BVUMF	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0002**	**0,0003**	**<0,0001**

[1]GEN, Genotyp; LOC, Ort; TKM, Tausendkornmasse; HLW, Hektolitergewicht; NIRSPROT, Proteingehalt Nahinfrarotspektroskopie (NIRS); NIRSGLUT, Glutengehalt NIRS; PROTYLD, Proteinertrag pro Hektar; RVAPEAK, Viskositätsmaximum im Rapid Visco Analyser (RVA); RVABREAKDOWN, Abbau-Viskosität; RVAFINVISC, Endviskosität; RVARZ, Relationszahl; RVAPEAKTIME, Zeit bis RVAPEAK; MDL_WA, Wasseraufnahme DoughLab; MDL_DDT, Teigentwicklungszeit; MDL_SOFT, Teigerweichung; MD_LSTAB, Teigstabilität; EXA1, Teigenergie bis EXE1 Mikro-Extensogramm; EXA, Teigenergie bis EXE; EXRMAX, maximaler Dehnwiderstand R_m; EXE1, Dehnbarkeit; EXE, Dehnung bei Kraft = 0 g, EXRZ, Relationszahl; EXKEZ, Kurzextensogrammzahl; BVOL, Brotvolumen; BVH, Höhe Brotlaib; BVUMF, Umfang Brotlaibe waagrecht gemessen; * GEN getestet gegen Fehlerterm GEN*LOC noch signifikant, [2] Ohne nicht signifikanten Faktor Block

4.2. Kornfüllungsphase

Die Tage vom Ährenschieben bis zur Gelbreife sowie die Kornfüllungsphase zeigten signifikante Haupteffekte und eine signifikante Genotyp×Umwelt-Interaktion. Der starke Einfluss des Ortes bei den Entwicklungsstadien liegt vermutlich daran, dass die Bonituren von verschiedenen Personen durchgeführt wurden und am unterschiedlichen Saatzeitpunkt (Sharma, 1994). Frühreife ist in manchen alpinen Lagen notwendig, um die Ernte zu ermöglichen (Hein, 2001). An beiden Versuchsstandorten wurden alle Akzessionen rechtzeitig reif. In Bischofshofen erreichte die Landsorte aus Westendorf als Erste das Stadium der Gelbreife, im Mittel 109 Tage nach der Aussaat, in Trautenfels der Texinger Bergweizen nach 120 Tagen, beide signifikant früher als die Vergleichssorte (Tabelle 11). Alle anderen Akzessionen unterschieden sich nicht signifikant von der Vergleichssorte Liskamm. In Trautenfels lagen die Werte zwischen 120 und 125 Tagen. Im Vergleich dazu lag der Mittelwert acht moderner Zuchtsorten beim Bionet-Versuch 2018 in Trautenfels bei 122 Tagen, wobei die Sorte Liskamm mit 123 Tagen eine der späteren Sorten war (FIBL, 2019).

Die auf besondere Frühreife gezüchtete Sorte Kärntner Früher reifte in Trautenfels 2018 bereits nach 117 Tagen. Die besondere Frühreife bedingt eine sehr geringe Bestockung (Schilperoord, 2017). Keine der in dieser Arbeit getesteten Landsorten war vergleichbar frühreif.

Der Großteil der alpinen Landsorten reift im gleichen Zeitraum wie moderne Zuchtsorten. Im Gegensatz dazu gibt es Hinweise, dass mitteleuropäische Zuchtsorten in den letzten 100 Jahren frühreifer wurden. Dvořáček et al. (2014) verglichen über drei Jahre 45 Winterweizenlandsorten und Selektionen aus Landsorten aus der ehemaligen Tschechoslowakei mit 77 Sorten, die zwischen 1991 und 2008 zugelassen wurden. Die modernen Sorten zeigten ein um 4,1 Tage früheres Ährenschieben und eine um 2,4 Tage frühere Reife sowie eine um 1,6 Tage längere Kornfüllungsphase. Dotlačil et al. (2011) stellten fest, dass nordwesteuropäische Winterweizenlandsorten und alte Zuchtsorten eine längere Vegetationsperiode haben als mittel- und osteuropäische.

Nordeuropäische Sommerweizenzuchtsorten haben hingegen signifikant späteres Ährenschieben (3,1 Tage) und spätere Gelbreife (2,8 Tage) als Landsorten. Untersucht wurden 57 Zuchtsorten und 22 nordeuropäische Landsorten während einer Saison (Diederichsen et al., 2013). Bei den Sommerweizen scheint es keinen Trend zur Frühreife zu geben.

In Trautenfels hatte die Akzession Umhausen mit 50 Tagen eine längere Kornfüllungsphase (nicht signifikant) als Liskamm (46 Tage). In Bischofshofen hatte die Landsorten aus Westendorf, Wildschönau und Osttirol eine signifikant kürzere Kornfüllungsphase als Liskamm. Dotlačil et al., (2011) fanden einen nicht signifikanten Trend zu einer längeren Kornfüllungsphase der modernen Sorten beim Vergleich von zwei Sets von 121 bzw. 101 europäischen Landsorten und alten Zuchtsorten mit drei modernen Vergleichssorten.

Der Großteil der Kornfüllung passiert nach dem Ährenschieben, diese Phase hat deshalb großen Einfluss auf den Ertrag (Asana & Mani, 1955; Thorne, 1965). Eine längere Kornfüllungsphase kann einen höheren Ertrag bewirken (Sharma, 1994). Bei Sorten mit kürzeren Kornfüllungsphasen können hohe Erträge auch durch höhere Kornfüllungsraten erreicht werden (Nass & Reiser, 1975). Bei alten europäischen Winterweizensorten konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der Länge der Kornfüllungsphase und dem Tausendkorngewicht festgestellt werden (Dotlačil et al. 2010)

Tabelle 11: Standort-Mittelwerte der agronomischen Merkmale

GEN[1]	YLDDT	DTAE	DTGR	KORNF	WHOE	LLSD
Standort Bischofshofen						
Alpbach	24,80	63,00	118,00	55,00	134,00*	34,25*
Liskamm	28,90	60,00	116,00	56,00	95,00	22,60
Lungau	19,20	68,00*	120,50	52,50	125,50*	31,95*
Osttirol	19,92	64,00	113,00	49,00*	124,00*	36,20*
Texinger Bergweizen	23,58	61,50	116,00	54,50	120,00*	32,20*
Umhausen	29,66	63,50	118,50	55,00	130,00*	43,30*
Wald im Pinzgau	25,19	64,50	115,00	50,50	138,50*	34,35*
Westendorf	21,49	63,00	109,00*	46,00*	128,00*	30,75*
Wildschönau	30,63	63,00	111,50	48,50*	126,50*	31,65*
Standort Trautenfels						
Alpbach	23,59	75,00	120,00	45,00	99,00	
Liskamm	22,34	78,00	124,50	46,50	102,50	
Lungau	21,88	77,00	124,50	47,50	107,50	
Osttirol	22,26	78,50	123,00	44,50	88,50	
Texinger Bergweizen	26,60	77,00	119,50*	42,50	97,00	
Umhausen	36,37*	74,00	124,50	50,50	97,00	
Wald im Pinzgau	15,17*	76,00	121,00	45,00	80,00*	
Westendorf	27,88	75,50	121,50	46,00	105,00	
Wildschönau	21,20	78,00	121,00	43,00	101,00	

[1] GEN, Genotyp; YLDDT, Kornertrag gereinigt in dt; DTAE, Datum Ährenschieben; DTGR, Datum Gelbreife; KORNF, Dauer Kornfüllung; WHOE, Wuchshöhe; LLSD, Abstand Ansatz Fahnenblatt zur Ähre; * Wert signifikant größer oder kleiner ($p < 0,05$) zu Liskamm im Dunnet Test

4.3. Gelbrost

In Trautenfels waren die Sorten Liskamm und die Landsorte aus Westendorf gering (Boniturnote 3) von Gelbrost befallen, die Landsorte aus Wald im Pinzgau war stark bis sehr stark befallen (Boniturnoten 8 und 9). Alle anderen Akzessionen waren nicht anfällig. Gelbrostbefall wird durch kühl-feuchte Witterungsbedingungen sowie durch Regen begünstigt. Der Erreger *Puccinia striiformis* nimmt Wasser und Nährstoffe aus der Wirtspflanze auf. Dies wirkt sich negativ auf die Qualität des Ernteguts aus und kann bei anfälligen Sorten zu einem Totalausfall führen. Die meisten bekannten Resistenzgene gegen Gelbrost stammen aus Winterweizensorten, nur wenige aus Sommerweizensorten (Chen, 2005). Einzelne alpine Sommerweizenlandsorten könnten Resistenzgene enthalten.

4.4. Wuchshöhe und Lager

Die visuelle Beurteilung der mittleren Wuchshöhe einer Parzelle gestaltete sich auf Grund der Heterogenität innerhalb der Landsorten und auf Grund von Lager schwierig (Abbildung 17). Einzelne Halme zeigten große Abweichungen vom Mittelwert. In Trautenfels zeigten die Landsorten mit Ausnahme von Wald im Pinzgau keine signifikant anderen Wuchshöhen als Liskamm (103 cm). Die hier angewandte Methode zum Bestimmen der Wuchshöhe ist demnach nicht geeignet für die phänotypische Beschreibung von heterogenen Landsorten. Wald im Pinzgau wurde hier im Mittel nur 80 cm hoch, was auf den starken Gelbrostbefall zurückzuführen sein könnte. Bever (1937) beschrieb, dass Gelbrostbefall zu geringeren Wuchshöhen führt. Er inokulierte je fünf Pflanzen in Töpfen je Behandlung in verschiedenen Entwicklungsstadien mit Gelbrost. Je früher die Infektion stattfindet, desto größer fällt die Reduktion der Wuchshöhe aus. Bei einer Infektion einer anfälligen Sorte im Keimlingsstadium war die Pflanzenhöhe um 28% reduziert, bei einer Infektion während der Blüte nur um 2,1%. Die Wuchshöhe dieser Sorte betrug ohne Inokulation 117 cm, eine für diese Zeit noch übliche Länge. Auch bei einer resistenten Vergleichssorte fanden bei einer frühen Inokulation eine Verringerung der Wuchshöhe statt. Murray et al. (1995) fanden in New South Wales keine signifikanten Unterschiede in der Wuchshöhe zwischen mit Fungizid behandelten Parzellen und unbehandelten Parzellen, wobei der Kornertrag der unbehandelten Parzellen um bis zu 84% geringer ausfiel. Der Einfluss von Gelbrost auf die Wuchshöhe könnte bei modernen Sorten durch die generell kürzere Wuchshöhe geringer ausfallen oder schwerer messbar sein. Dennoch könnte es auch bei modernen Sorten einen negativen Einfluss auf die Wuchshöhe geben (Gaudet et al., 2013 zitiert in Xi et al. 2015).

Abbildung 17: Heterogenität in der Wuchshöhe und Lager in den Parzellen am Standort Trautenfels

In Bischofshofen wurde der Mittelwert der Wuchshöhe aus fünf Einzelpflanzen gebildet, hier zeigte sich ein völlig anderes Bild. Alle Akzessionen außer die Landsorte aus Osttirol waren in Bischofshofen statistisch signifikant länger als Liskamm (Tabelle 11). Die mittleren Wuchshöhen aller Landsorten betrugen über 120 cm, um mindestens 25 cm mehr als der Mittelwert von Liskamm (95 cm). In Bischofshofen betrug der Längenunterschied der Landsorten zu Liskamm 21–31%, wobei Liskamm noch eine der längeren modernen Sorten ist. Landsorten der Schweizer Genbank wiesen Pflanzenlängen zwischen 110 und 180 cm auf (Schilperoord, 2017). Eine starke Reduktion der Wuchshöhe der mittel- und nordeuropäischen Weizensorten im letzten Jahrhundert ist evident. Laut Pronin et al. (2020) sank die Wuchshöhe deutscher Winterweizensorten zwischen 1891 und 2010 um 40% von 117–153 cm auf 76–99 cm. Mitteleuropäische alte Winterweizen sind im Mittel 30 cm länger (Dotlačil et al., 2011), Nordische Sommerweizenlandsorten um 28,5 cm länger als moderne Zuchtsorten (Diederichsen et al., 2013). Die Wuchshöhe von Weizen wird von mehreren Genen und QTL (Quantitative Trait Loci) gesteuert. Die Reduktion der Wuchshöhe war ein wichtiges Zuchtziel in den letzten Jahrzehnten (Griffiths et al., 2012). Eine geringere Wuchshöhe kann mit einem geringeren Ertrag assoziiert sein (Law et al., 1978), deshalb sind Pflanzenzüchter auf der Suche nach Genvarianten, die die Wuchshöhe verringern und den Ertrag nicht beeinflussen (Würschum et al., 2015).

Am Standort Bischofshofen war der Abstand vom Ansatz des Fahnenblatts bis zum Ährenansatz (Pedunkulus) bei Liskamm 22 cm und bei allen Landsorten signifikant größer (zwischen 30 und 43 cm, Tabelle 11). Die Akzession Umhausen hatte mit 43 cm den längsten Pedunkulus. Die Photosynthesefläche des Pedunkulus und des Fahnenblatts sowie die Zeit, in der in diesen Pflanzenteilen Photosynthese abläuft, haben die größte Korrelation mit dem Ertrag (Kong et al., 2010; Spiertz et al., 1971). Farooq et al. (2018) fanden keinen direkten Einfluss der Pedunkellänge auf den Ertrag, aber eine stark positive Korrelation mit der Wuchshöhe und den wichtigen ertragsbildenden Merkmalen Ährenlänge, Fahnenblattfläche und Korngewicht pro Ähre, sowie eine negative Korrelation zur Kornzahl pro Ähre.

Die Pedunkellänge könnte so als indirektes Selektionskriterium zur Ertragssteigerung verwendet werden. Ein langer Pendunkulus wird auch mit einer verminderten Anfälligkeit für Pilzkrankheiten in Verbindung gebracht (Börner et al., 2002) und hat, wie die Wuchshöhe, einen negativen Einfluss auf das Auftreten und die Schwere von Ährenfusariose (Tessmann & Van Sanford, 2019).

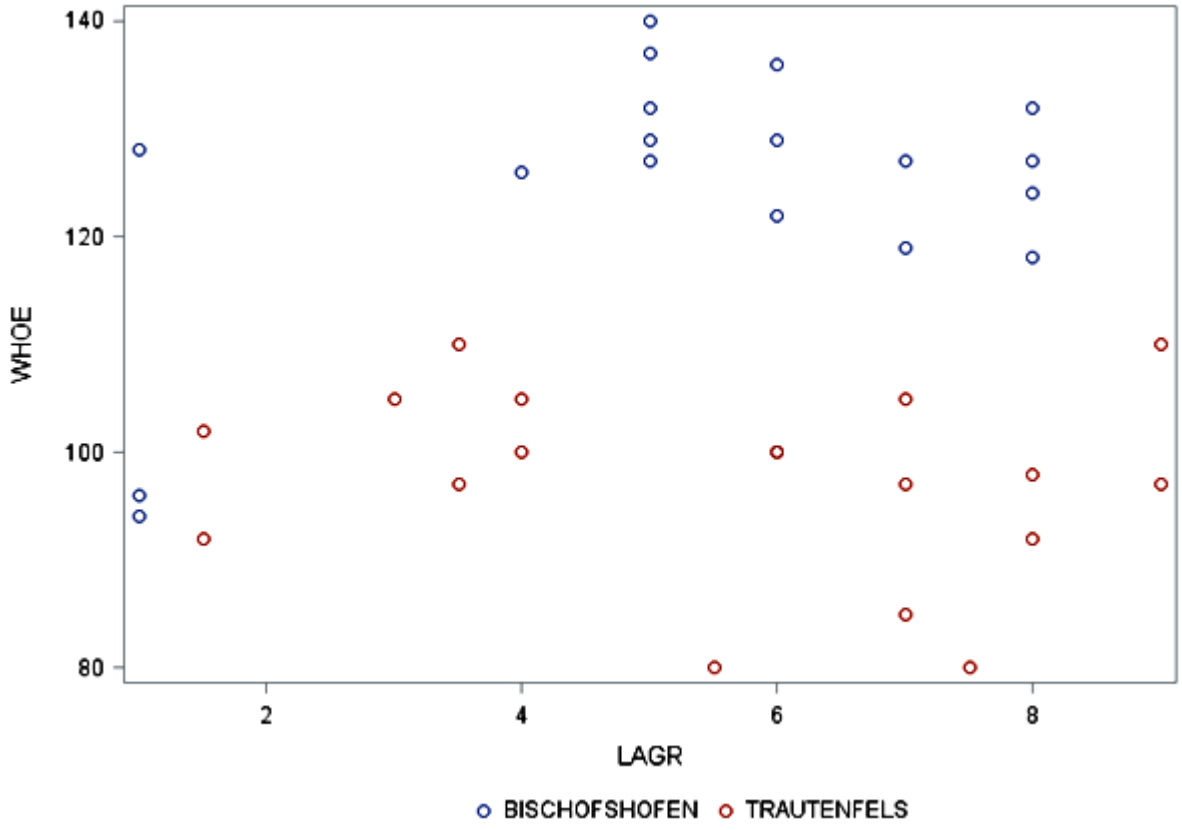

Abbildung 18: Beziehung zwischen Lagerbonitur und Wuchshöhe an den beiden Versuchsstandorten. WHOE, Wuchshöhe in cm; LAGR, Lagerbonitur

Die Akzessionen Begrannter Binkelweizen (wurde nur in Trautenfels angebaut), Umhausen und Liskamm zeigten im Durchschnitt aller Parzellen ein geringes Lager (Boniturnote 2–3). Betrachtet man die Maximalwerte, gab es lediglich beim Begrannten Binkelweizen in Trautenfels keine Boniturnote über 7. Bereits Biebl (1925) berichtete von der Standfestigkeit der Binkelweizen. Alle anderen Landsorten zeigten im Versuch ein mittleres bis starkes Lager (mittlere Bonituren 5–7, Maximalwerte 7–9). Ein Zusammenhang zwischen Wuchshöhe und Lager konnte nicht festgestellt werden (r = 0,073; Abbildung 18). Eine geringe Korrelation zwischen Wuchshöhe und Lager ist üblich (r etwa 0,5). Neben der Wuchshöhe ist die Morphologie und Anatomie des Halms verantwortlich für die Lagerneigung (Bordes et al., 2008; Kelbert et al., 2004). Lager während der frühen Milchreife (BBCH-Stadium 73) verursacht eine Minderung der Kornmasse um 5% und des Kornertrags um mindestens 26% (Kelbert et al., 2004). Genotypen mit unterschiedlicher Lagerneigung in einer Population oder Mischung dürften die Gesamt-Lagerneigung senken (Jackson & Wennig, 1997), was bei manchen Landsorten zutreffen könnte. Nordische Sommerweizensorten sind zwischen 1892 und 1994 kürzer und weniger anfällig für Lager geworden (Diederichsen et al., 2013). Die Ergebnisse dieser Studie bezüglich Lager sind allerdings nicht signifikant aufgrund einer hohen Variabilität innerhalb der Landsorten und der Anbau in Einzelreihen ohne Wiederholung könnte zusätzlich zu einer Unterschätzung der Lagerneigung geführt haben.

4.5. Kornertrag

Beim Kornertrag war die Genotyp×Umwelt-Interaktion signifikant, jedoch nicht der Haupteffekt Standort. In Trautenfels war die Landsorte Umhausen signifikant höher im Ertrag (36,3 dt·ha^{-1}) als Liskamm (dt·ha^{-1}) (Tabelle 11, Abbildung 19). Keine der Landsorten hatte einen signifikant niedrigeren Ertrag als die Sorte Liskamm. In Bischofshofen gab es keine signifikanten Abweichungen der Erträge der Landsorten im Vergleich zu Liskamm. Unter den extensiven Versuchsbedingungen waren einige der Landsorten der Sorte Liskamm ebenbürtig. Die Landsorten aus Umhausen und der Wildschönau eignen sich aus Ertragssicht am besten für eine Wiedereinführung. Im Unterschied zu üblichen Sortenversuchen, bei denen Sorten gut bewertet werden, die an günstigen Standorten hohe Erträge bringen und an ungünstigen Standorten niedrige Erträge oder möglichst konstante Absoluterträge an verschiedenen Standorten (AGES, 2019), sollen in dieser Arbeit geeignete Sorten für einen spezifischen Standort gesucht werden, die hier hohe und stabile Erträge bringen.

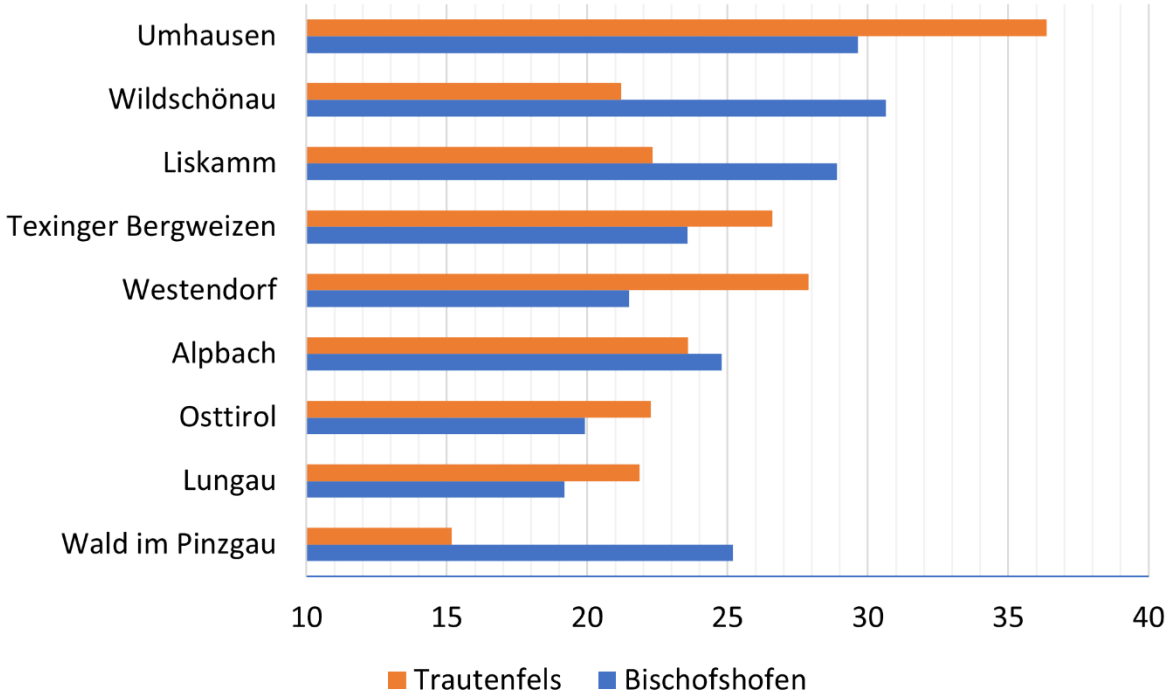

Abbildung 19: Mittlere Kornerträge (dt·ha-1) der einzelnen Sorten an beiden Versuchsstandorten

Im Bionet-Sommerweizenversuch Trautenfels, am selben Feld, erreichten die Sorten im Durchschnitt einen Ertrag von 55,8 dt·ha^{-1}, die Sorte Liskamm 51,9 dt·ha^{-1} (FIBL, 2019), um 29,6 dt·ha^{-1} mehr als in dieser Studie. Der Bionet-Versuch wurde im Frühjahr mit Gülle gedüngt. Im Durchschnitt von drei Jahren erreichten moderne Sommerweizen in Trautenfels Erträge von 43,9 dt·ha^{-1} (FIBL, 2016, 2018, 2019). Im Vergleich dazu betrug der Durchschnittsertrag der Versuchsflächen in Trautenfels 24,1 dt·ha^{-1} und die beste Akzession Umhausen 36,3 dt·ha^{-1}, also deutlich weniger, jedoch ohne Düngung. Schweizer Landsorten erreichten bei einem Versuch mit ähnlicher Parzellengröße in Filisur (1000 m Seehöhe) Erträge zwischen 21 und 55 dt·ha^{-1} (Schilperoord, 2003; 2017). Der Versuch wurde vor der Bodenbearbeitung mit Mist gedüngt.

Der unterschiedliche Stickstoffbedarf von Landsorten und modernen Sorten macht agronomische Vergleichsstudien schwierig, die Interaktion zwischen Genotyp und Umwelt ist sehr stark (Diederichsen et al., 2013). Nordische moderne Zuchtsorten benötigen eine höhere Stickstoffversorgung als Landsorten und zeigen bei geringerer Stickstoffverfügbarkeit mehr

verkümmerte Körner als Landsorten (Diederichsen et al., 2013). Zwei spanische Landsorten hatten in Madrid bei konservierender Bodenbearbeitung und moderater Stickstoffdüngung im Vergleich mit modernen Sorten deutlich geringere Erträge (Ruiz et al., 2019). Der mittlere Ertrag von vier modernen Sorten war um 51% höher als der von 31 Landsorten und alten Sorten (Dotlačil et al., 2010). Moderne Sorten zeigen eine höhere Anpassung des Ertrags an den Standort. Dotlačil et al. (2010) fanden auch eine höhere Ertragsstabilität der alten Sorten durch geringere Unterschiede je Jahr und Standort. Dies könnte entweder an einem niedrigeren Ertragsabfall der alten Zuchtsorten an Standorten mit niedrigeren Ertragsmittelwerten oder auf einer geringeren Ertragssteigerung der Landsorten auf guten Standorten zurückzuführen sein (Dotlačil et al., 2010).

4.6. Tausendkornmasse und Hektolitergewicht

Im Merkmal Tausendkornmasse (TKM) waren sowohl der Genotyp als auch die Genotyp×Umwelt-Interaktion hochsignifikant ($p < 0{,}001$). Getestet gegen die Genotyp×Umwelt-Interaktion blieb der Einfluss des Genotyps signifikant ($p = 0{,}04$), daher konnten standortübergreifende Mittelwerte gebildet werden.

Die Sorte Liskamm hatte mit 39,2 g eine signifikant höhere TKM als alle Landsorten (Tabelle 13). Die Landsorte Wald im Pinzgau lagt mit 36,3 g an zweiter Stelle, die anderen Landsorten hatten eine TKM zwischen 30,4 und 33, 8 g. Landsorten der Schweizer Genbank wiesen TKM zwischen 30 und 44 g auf (Schilperoord, 2003; 2017).

Das Hektolitergewicht (HLW) zeigte eine hochsignifikante Genotyp×Umwelt-Interaktion. In Bischofshofen hatten die Landsorte aus Umhausen sowie Liskamm die höchsten Werte mit 80,4 kg·hL^{-1}, in Trautenfels Liskamm mit 82 kg·hL^{-1}. Alle anderen Landsorten lagen jeweils signifikant darunter. Die Landsorte aus Wald im Pinzgau war in Trautenfels ein Ausreißer im TKM/HLW-Verhältnis, was vermutlich auf die Gelbrostinfektion zurückzuführen ist. Bei einem Versuch in New South Wales verminderte die Gelbrostinfektion die Kornmasse um bis zu 43% (Murray et al., 1995). In Tabelle 12 werden TKM und HLW der Landsorten und der Vergleichssorte mit den Anforderungen für Qualitätsweizen verglichen.

Tabelle 12: Vergleich von Landsorten, Liskamm und Qualitätsweizen (AGES, 2020) in TKM und HLW

Merkmal	Landsorten	Liskamm	Qualitätsweizen
Tausendkornmasse (g)	30,3 – 36,3	39,2	35 – 50
Hektolitergewicht (kg·hL^{-1})	73,5 – 80,6	80,5 – 82,0	79, mind. 76

Die Landsorten bildeten ähnliche Erträge wie die Vergleichssorte mit kleinerem Tausendkorngewicht, daraus lässt sich schließen, dass sie mehr Körner je m² ausbilden. Im Gegensatz dazu berichten Dotlačil et al. (2011) und Diederichsen et al. (2013), dass eine höhere Produktivität neuerer Winter- und Sommerweizensorten vor allem auf die höhere Anzahl von Körnern pro Ährchen und höheren Harvest Index (Kornmasse / Oberirdische Biomasse) zurückzuführen ist, während die TKM sich wenig veränderte. In Versuchen von López-Fernández et al., (2021) bildeten spanische Landsorten in zwei von drei Versuchsjahren signifikant höhere Tausendkornmassen aus als moderne Zuchtsorten und in allen drei Versuchsjahren signifikant weniger Körner pro Ähre. Wenn man annimmt, dass auch die alpinen Landsorten weniger Körner pro Ährchen und pro Ähre bilden, kann man darauf schließen, dass die alpinen Landsorten besser bestocken und mehr Ähren je m² bilden als die Vergleichssorte.

Dotlačil et al., (2010) fand eine Korrelation (r = 0,26 – 0,38) zwischen der Länge der Kornfüllungsphase und der TKM. Bei Sommerweizen gibt es keine Korrelation zwischen Hektolitergewicht und Mehlausbeute (Kleijer et al., 2007). Auch der Zusammenhang zwischen Tausendkornmasse und Mehlausbeute korreliert nicht immer eindeutig positiv (AGES, 2020).

4.7. Protein und Feuchtkleber

Sowohl Protein als auch Feuchtklebergehalte zeigten eine signifikante Genotyp×Umwelt-Interaktion. Die Proteingehalte aller Landsorten an beiden Standorten (16,3% – 20,2%) lagen über dem mittleren Proteingehalt der Sorte Liskamm (15,3% – 16,1%), die Proteingehalte waren im Mittel 1,9% – 2,2% höher (Tabelle 13). Alle Landsorten würden, wenn man nur den Proteingehalt betrachtet, in die Qualitätsgruppe der Premiumweizen fallen, auf Grund der niedrigen Hektolitergewichte ist dies jedoch ausgeschlossen. Zwischen Proteingehalt und Tausendkornmasse wurde eine negative Korrelation gefunden (r = -0,85, p < 0,001).

Den höchsten Rohproteingehalt erreichte die Landsorte aus dem Lungau am Standort Bischofshofen mit 20,2%. Dieser Wert ist für Weizen sehr hoch und liegt im Bereich von Leguminosen. Getrocknete weiße Bohnen haben einen Eiweißgehalt von 20,9% (Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien & Dato Denkwerkzeuge, o. J.). Landsorten der Schweizer Genbank wiesen Eiweißgehalte zwischen 9,2 und 18% auf (Schilperoord, 2003; 2017) In vielen Landsortensortimenten wurden deutlich höhere Rohproteingehalte als in modernen Sorten festgestellt: um 2–3% in mittel-, ost und nordeuropäischen Winterweizen (Dotlačil et al., 2011), um 2% in tschechoslowakischen Landsorten (Dvořáček et al., 2014), um 1 – 2% in spanischen Landsorten (López-Fernández et al., 2021). Landsorten mit niedrigem Rohproteingehalt sind selten (Dotlačil et al., 2011). Pronin et al. (2020) und Shewry et al. (2020) konnten nur einen leichten Rückgang der Rohproteingehalte von Weizensorten im Zeitraum 1900 – 2010 feststellen, allerdings mit sehr wenigen Sorten vom Beginn des 20. Jahrhunderts und auf Grund einer hohen Variation im Sortiment der 50er und 60er Jahre. Auch in der österreichischen Winterweizen-Wertprüfung sind die Rohproteingehalte der Sorten rückläufig (AGES, 2019). Einen umgekehrten Trend fanden Hucl et al. (2015) in kanadischen Weizensorten bei moderater Stickstoffdüngung, hier stieg der Rohproteingehalt der Sorten zwischen 1860 und 2001 um ca. 1%. In Kanada wurden offenbar auf Grund von geringerer Düngung Pflanzen mit effizienterer Stickstoffnutzung selektiert.

Die Eigenschaften Kornzahl / Ährchen, Korngewicht / Ähre und Harvest Index korrelieren negativ mit dem Rohproteingehalt (Dotlačil et al., 2011; Dvořáček et al., 2014). Die Pflanzenhöhe hat einen positiven Effekt (r = 0,35 - 0,55, p < 0,01) auf den Rohproteingehalt (Dotlačil et al., 2011). Die Rohproteingehalte von Landsorten variieren über mehrere Jahre sehr gering, was auf eine effektivere Nährstoffaufnahme gegenüber modernen Weizensorten hindeutet (Dvořáček et al., 2014).

Die mittleren Glutengehalte der Landsorten lagen zwischen 39,2% und 48,6% und an beiden Standorten jeweils über dem mittleren Proteingehalt der Sorte Liskamm (38,6% in Trautenfels, 40,4% in Bischofshofen). Den höchsten Wert erreichte die Landsorte aus dem Lungau am Standort Bischofshofen mit 48,6% Glutengehalt.

Moderne Weizensorten liefern auch bei niedrigen Proteingehalten gute Backqualitäten (Hermanovski & Wilbois, 2011). Mit dem Proteingehalt allein kann das Brotvolumen nicht vorausgesagt werden (Dobraszczyk & Schofield, 2002), auch der Glutengehalt korreliert nur in geringem Maße mit der Backqualität (Schmieder & Zabel, 1965). Dotlačil et al., (2010) fanden bei alten Winterweizensorten eine negative Korrelation (r = - 0,43) der Proteinqualität (Zeleny) mit dem Proteingehalt. Die Züchtung verbesserte vor allem die Glutenqualität (Dotlačil et al., 2011) und die Gluten-Zusammensetzung. Die Gehalte an Gluteninen stiegen, die Gehalte an Gliadinen und das Gliadin/Glutenin-Verhältnis sanken (Pronin et al., 2020). Albumin-, Globulin- und Gluten-Gehalte veränderten sich hingegen nicht (Pronin et al., 2020; Shewry et al., 2020). Gluten beeinflusst die Krumenstruktur von Getreideprodukten

(Demirkesen et al., 2010). Höhere Glutenin-Gehalte (vor allem Glutenine mit hohem Molekulargewicht, HMW) tragen zur Backqualität bei und werden seit den 1970er Jahren gezielt in der Pflanzenzüchtung selektiert (Shewry et al., 2003). Die Sorte Liskamm besitzt die Allele *Glu-B1* 7+9 und *Glu-D1* 5+1 (AGES, 2019), die für die Produktion von bestimmten hochmolekularen Gluteninen und günstige Teigeigenschaften stehen (Li et al., 2020). Bei der Untersuchung von 189 spanischen Weizenlandsorten konnten mehrere neue Allele an diesen Genloci identifiziert werden (López-Fernández et al., 2021), die Landsorten können einen Genpool für die Qualitätszüchtung darstellen.

Die Proteinerträge wurden als Produkt des Kornertrags mit dem Rohproteingehalt berechnet (Tabelle 13). Umhausen (585 kg·ha^{-1}) und Wildschönau (471 kg·ha^{-1}) lieferten im Gesamt-Mittel (nicht signifikant) höhere Rohproteinerträge als Liskamm (404 kg·ha^{-1}). Das Mittel aller Parzellen in Trautenfels betrug 421 kg·ha^{-1}.

Der durchschnittliche Proteinertrag von 4 Sommerweizensorten am Bionet Versuch Trautenfels betrug 2018: 709 kg·ha^{-1} (FIBL, 2016, 2018, 2019). Die Sorte Liskamm erreichte in Trautenfels einen Rohproteinertrag von 343 kg·ha^{-1} bei einem Kornertrag von 2234 kg·ha^{-1} und einem Rohproteingehalt von 15,3%, im Vergleich am Bionet Versuch 2018: 810 kg·ha^{-1} Rohproteinertrag bei einem Kornertrag von 5185 kg·ha^{-1} und einem Rohproteingehalt von 15,6% (FIBL, 2018). Ursachen für diese großen Unterschiede können vor allem in der Düngung mit Gülle sein, auf die beim Landsortenversuch verzichtet wurde, um starkes Lagern zu vermeiden. Auch der stärkere Beikrautdruck im vorliegenden Versuch durch die starke Verunkrautung der Vorfrucht Sorghum könnten eine Rolle gespielt haben. Die Landsorte aus Umhausen erreichte mit 672 kg·ha^{-1} ohne Düngung einen ähnlichen Proteinertrag wie die modernen Sorten im Bionet-Versuch. Dies könnte auf eine sehr gute Stickstoffaufnahmefähigkeit hinweisen (Hucl et al., 2015).

4.8. Wasseraufnahme und Teigstärke

Die **Wasseraufnahme**, gemessen mit dem Micro-Doughlab wurde signifikant von Genotyp und Ort beeinflusst. Die Mittelwerte lagen zwischen 53 und 58%. Aufgeteilt nach Standort konnten lediglich in Bischofshofen signifikante Unterschiede gefunden werden (Tabelle 14). Den niedrigsten Wert erreichte die Landsorte aus dem Lungau mit 53%, den höchsten Wert der Texinger Bergweizen mit 57,2%. Die Wasseraufnahme ist ein wichtiges Qualitäts- und Rentabilitätsmerkmal, eine Wasseraufnahme von über 63% im Farinogramm gilt für Backweizen als hoch (AGES, 2019). Für Keksweizen hingegen ist eine mittlere Wasseraufnahme von 53 - 58%, und eine möglichst geringe Teigstabilität und hohe Teigerweichung über 100 FE günstig (AGES, 2019; Khatkar et al., 2013). Die Wasseraufnahme im Farinograph wird hauptsächlich von den Hauptbestandteilen Gluten und Stärke bestimmt und muss mit anderen Farinograph-Parametern verglichen werden zur Interpretation (Dapcevic et al., 2011). Eine hohe Wasseraufnahme kombiniert mit niedriger Erweichung zeigt eine gute Mehlqualität, hohe Wasseraufnahme mit hoher Erweichung zeigt schwache Qualität (Dapcevic et al., 2011).

Die **Teigentwicklungszeit** (MDL_DDT) war in Genotyp und Genotyp×Umwelt-Interaktion signifikant. Aufgeteilt nach Standort konnten lediglich in Bischofshofen signifikante Unterschiede gefunden werden (Tabelle 14). Liskamm erreichte hier die längste Teigentwicklungszeit mit 2,8 min, die Akzession Umhausen die zweitlängste mit 2,1 min, alle anderen sind signifikant kürzer als Liskamm mit 1,25 – 1,85 min. In Trautenfels erreichte Liskamm im Mittel 1,95 min, die Landsorten zwischen 1,4 und 2,35 min. Die Teigentwicklung hängt von der Glutenqualität, Größenverteilung und Schädigung der Stärkekörnchen ab. Eine enzymatische Proteinschädigung verlängert die Teigentwicklungszeit ebenso wie ein höherer Anteil an kleinen Stärkekörnchen und an zersetzter Stärke (Dapcevic et al., 2011).

Die **Teigstabilität** (MDL_STAB) sowie die **Teigerweichung** (MDL_SOFT) waren in Genotyp, Genotyp×Umwelt-Interaktion und Ort signifikant. Genotyp blieb auch getestet gegen die Interaktion hochsignifikant. Liskamm erreichte im Mittel eine Teigstabilität von 14,7 min und eine Erweichung von

28,8, alle Landsorten eine Stabilität zwischen 1,2 und 2,2 min und eine Erweichung zwischen 113 und 157. Die günstigsten Werte der Landsorten erreichte jeweils Umhausen. Die Teigstabilität ist abhängig vom Nass-Gluten-Gehalt, Proteingehalt, von der Proteinzusammensetzung, und vom Typ der hochmolekularen Glutenine (Ji-chun et al., 2007). Weizen mit einer Teigstabilität von mehr als 10 min fallen in die höchste Qualitätsklasse, länger als 7 min in die zweite Klasse, Weizen mit Teigstabilitäten unter 1,5 min werden als schwacher Gluten klassifiziert (Ji-chun et al., 2007). Hydrierte Glutenine sind kohäsiv und elastisch und sind verantwortlich für Teigstärke und Elastizität (Wieser, 2007). Eine Steigerung des Gliadin-Gehalts verursacht eine Verringerung der Teigstärke, ausgedrückt als Verkürzung der Teigentwicklungszeit und der Teigstabilität sowie eine größere Teigerweichung (Khatkar et al., 2013).

Tabelle 13: Standort-Mittelwerte einiger qualitativer Merkmale

GEN[1]	TKM (g)	HLW (kg/hL)	NIRSPROT (%)	NIRSGLUT (%)	PROYLD (kg/ha)
Bischofshofen					
Alpbach	32,47*	77,84*	18,34*	45,48*	455
Liskamm	38,67	80,49	16,13	40,35	466
Lungau	28,09*	74,78*	20,22*	48,57*	388
Osttirol	32,29*	77,05*	17,09*	41,64	340
Texinger Bergweizen	34,20*	77,02*	17,83*	42,80*	420
Umhausen	36,02*	80,55	16,80	42,55*	498
Wald im Pinzgau	35,34*	78,53*	17,71*	43,39*	446
Westendorf	30,86*	75,83*	18,51*	43,58*	398
Wildschönau	32,45*	78,42*	18,21*	43,76*	558
Trautenfels					
Alpbach	32,66*	76,85*	17,62*	42,29	415
Liskamm	39,72	82,02	15,34	38,55	343
Lungau	32,68*	78,33*	17,76*	43,34*	389
Osttirol	29,71*	76,08*	18,64*	44,61*	415
Texinger Bergweizen	32,29*	77,12*	17,00	41,03	452
Umhausen	31,65*	77,44*	18,47*	44,84*	672
Wald im Pinzgau	37,21*	73,47*	16,34	39,23	248
Westendorf	33,64*	77,78*	16,87	40,72	470
Wildschönau	30,41*	76,36*	18,11*	43,64*	384

[1] GEN, Genotyp; TKM, Tausendkornmasse; HLW, Hektolitergewicht; NIRSPROT, Proteingehalt Nahinfrarotspektroskopie; NIRSGLUT, Glutengehalt Nahinfrarotspektroskopie; PROTYLD, Proteinertrag; * Wert signifikant größer oder kleiner ($p < 0,05$) als Liskamm im Dunnet Test

Tabelle 14: Mittelwerte der Teigparameter ermittelt im Micro-Doughlab

GEN[1]	WA (%) BH[2]	WA (%) TF	DDT (min) BH	DDT (min) TF	STAB (min)	SOFT (FU)
Alpbach	54,5	57,0	1,3*	2,4	1,7*	142,4*
Liskamm	55,7	55,7	2,8	2,0	14,7	28,8
Lungau	53,0	56,4	1,3*	1,4	1,2*	154,9*
Osttirol	54,5	57,2	1,4*	2,4	1,8*	127,5*
Texinger Bergweizen	57,2	58,1	1,5*	2,0	1,6*	142,5*
Umhausen	54,5	57,7	2,1	2,0	2,2*	113,7*
Wald im Pinzgau	56,8	55,8	1,9*	1,5	1,7*	151,2*
Westendorf	53,8	56,1	1,5*	1,5	1,3*	157,4*
Wildschönau	56,1	57,0	1,5*	1,8	1,5*	149,9*

[1] GEN, Genotyp; WA, Wasseraufnahme; DDT, Teigentwicklungszeit; STAB, Teigstabilität; SOFT, Teigerweichung; [2] BH, Bischofshofen; TF, Trautenfels; *Wert signifikant größer oder kleiner ($p < 0,05$) zum Wert von Liskamm im Dunnet Test

Eine hohe Stabilität und geringe Erweichung deuten auf hohe Widerstandsfähigkeit gegen lange mechanische Verarbeitung hin. Starke Teigerweichung ist ein Indikator für proteolytische Degradierung von Gluten (Dapcevic et al., 2011). Kurzes und intensives Kneten ist eine hohe Belastung für den Teig und zielt in Untersuchungen auf eine Differenzierung von Volumen und Aussehen der Gebäcke sowie Erkennen fehlerhafter Teigeigenschaften ab (AGES, 2019). Es wird bewusst eine Verformung herbeigeführt, die das Netz von „weichem“ Gluten zerstört, während „hartes Gluten“ der Verformung für längere Zeit standhält. Eine hohe Stabilität während langer Knetzeiten ist notwendig für die Verarbeitung von großen Mengen Teig mit vielen Zutaten notwendig. Das Glutennetzwerk dieser Teige muss die lange Knetzeit überstehen.

Die österreichische Beschreibende Sortenliste gibt für Qualitäts-Backweizen eine Teigentwicklungszeit von über 4,5 min, eine Stabilität von über 6 min und eine geringe Erweichung von 50 – 80 Farinogrammeinheiten 12 min nach dem Kurvenmaximum an (AGES, 2019). Die Micro-Doughlab Werte Wasseraufnahme, Teigstabilität und Erweichung korrellieren bei niedriger Knetgeschwindigkeit (63 rpm) gut mit Farinograph Werten (Abe et al., 2016; Torbica et al., 2019).

4.9. Viskositätskurven

Die Peak-Viskosität (RVAPEAK) von Liskamm war an beiden Standorten die niedrigste aller Herkünfte, die Unterschiede zu den meisten Landsorten waren jeweils signifikant (Tabelle 15). Die Endviskosität (RVAFINVISC) von Liskamm war am Standort Trautenfels die signifikant niedrigste, am Standort Bischofshofen waren drei Landsorten signifikant niedriger.

Die Endviskosität korreliert hoch mit den Parametern Peak-Viskosität ($r = 0,86$), Halteviskosität ($r = 0,95$) und Setback ($r = 0,91$). RVABREAKDOWN von Liskamm war im Mittel beider Standorte (208,8 cP) signifikant niedriger als das der Landsorten (274,5 - 384,8 cP). Die Relationszahl (RVARZ) von Liskamm im Mittel beider Standorte (1,6) signifikant höher als die der Landsorten (1,3 – 1,4).

Tabelle 15: Mittelwerte der Viskositäten ermittelt mit dem RVA

GEN[1]	PEAK (cP) BH[2]	PEAK (cP) TF	BREAKD (cP)	FINVISC (cP) BH	FINVISC (cP) TF	RZ	PEAKT (min)
Alpbach	1208*	1127*	330*	1691*	1542*	1,39*	5,88*
Liskamm	915	854	209	1463	1328	1,58	5,67
Lungau	1040	1150*	275*	1498	1621*	1,43*	5,95*
Osttirol	1204*	1091*	334*	1684*	1528*	1,40*	5,88*
Texinger Bgw.	988	1149*	338*	1324	1536*	1,34*	5,85
Umhausen	1215*	1092*	299*	1762*	1570*	1,45*	5,85
Wald i. Pzg.	1109*	1196*	385*	1487	1614*	1,35*	5,78
Westendorf	1038	1087*	367*	1379	1449*	1,33*	5,70
Wildschönau	1034	1105*	303*	1432	1557*	1,40*	5,82

[1] GEN, Genotyp; PEAK, Viskositätsmaximum; BREAKDOWN, Abbau-Viskosität; FINVISC, Endviskosität; RZ, Relationszahl; PEAKT, Zeit bis RVAPEAK; [2] BH, Bischofshofen; TF, Trautenfels; *Wert signifikant größer oder kleiner ($p < 0,05$) zu Liskamm im Dunnet Test

RVAPEAK zeigt in Versuchen eine hohe Korrelation (0,897 bzw. 0,940) mit der in Sortenversuchen gebräuchlicheren Fallzahl (Guan et al., 2020; Hareland, 2003). Für Premiumweizen werden Fallzahlen über 280 s gefordert (AGES, 2019). Die Fallzahl ist Maß für Aktivität stärkelösender Enzyme (Amylasen) und zeigt damit Auswuchsschädigung der Körner. Niedrige Fallzahlen können ohne erkennbaren Auswuchs auftreten, durch Anreicherung von Alpha-Amylase nur in den Außenschichten der Körner oder vorzeitige Alpha-Amylaseaktivität während der späten Kornreife. Zu niedrige Fallzahlen beeinträchtigen die Verkleisterungsfähigkeit des Mehls, mindern die Teigausbeute und schwächen die Krumenelastizität der Gebäcke. Enzymarme Mehle mit Fallzahlen über 350 s zeigen wegen niedriger Gehalte an vergärbaren Zuckern gewisse Triebschwäche (AGES, 2019).

Da die Fallzahl ein Qualitätsmerkmal in der Weizenzüchtung ist, würde man bei der Vergleichssorte eine höhere Fallzahl (bzw. Peak-Viskosität) als bei den Landsorten erwarten. Die Fallzahl von Liskamm war in den österreichischen Sortenversuchen hoch bis sehr hoch und die Sorte gilt als auswuchsresistent (AGES, 2019).

Im Versuch hatten die Landsorten höhere RVA Viskositäten als Liskamm, was eine Anpassung an niederschlagsreiches Klima bedeuten könnte. Eine genotypisch bedingt hohe Fallzahl ist vor allem in Feuchtlagen wichtig (AGES, 2019). Generell sind Juli und August, in denen der Abschluss der physiologischen Weizen-Reife stattfindet, an den Versuchsstandorten die niederschlagsreichsten Monate des Jahres. In Trautenfels beträgt die mittlere Niederschlagssumme im Juli 167 mm und im August 149 mm (ZAMG, 2012). Das Jahr 2018 kann hier als Ausnahmejahr gelten, im Juli fielen lediglich 83 mm, im August 103 mm (HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 2018). Dennoch sind diese Niederschlagsmengen für ein Weizenanbaugebiet hoch und könnten zu einem Verlust der Dormanz und zu höherer Anfälligkeit für Auswuchs im reifen Korn führen (vgl. Mares, 1993). Niedrige Temperaturen während der Kornfüllung können hingegen die Dormanz und damit Resistenz gegen Keimung vor der Ernte erhöhen (Rathjen, 2006; Romagosa et al., 2001).

Hohe Endviskositäten zeigen, dass es bei keiner der Akzessionen zu Stärkeschädigung durch witterungsbedingten Auswuchs gekommen ist, sowie eine niedrige Amylase-Aktivität (AGES, 2019; Izydorczyk, 2008). Es sind gute Verarbeitungs- und Backeigenschaften zu erwarten; die Breakdown-

Viskosität zeigt die Stabilität des Stärkegels gegen Hitze und Scherkräfte (Balet et al., 2019; Guan et al., 2020).

Stärke und alpha-Amylase bestimmen die Brotqualität. Stärke bestimmt die Viskosität des Netzwerks um die Gasblasen während dem Aufgehen, bindet Wasser, verbessert die Krumenstruktur und beeinflusst die Brotform (Crosbie & Ross, 2007). Die Höhe der Peak Viskosität ist ein Indikator für die Wasseraufnahme, Wasserhaltekapazität und Haltbarkeit des Brotes (Balet et al., 2019; Hareland, 2003; Perten Instruments, 2015). Eine niedrigere Peak Viskosität deutet auf geringeres Schwellen der Stärkekörner und niedrigeren Stärkegehalt hin (Balet et al., 2019).

Die Endviskosität ist bei allen Proben höher als die Peak Viskosität. Alle Proben haben ein normales Stärkeprofil, es sind keine Sorten mit „waxy" Stärkeprofil vorhanden (Crosbie & Ross, 2007; Garimella Purna et al., 2011). Der Parameter PEAKTIME ist bei Liskamm kürzer als bei den Landsorten, was auf eine geringfügig andere Stärkezusammensetzung der Landsorten hindeuten könnte.

Höhere Peak-Viskosität und größerer Breakdown deuten auf stärkeren Einfluss von Amylopektin und niedrigere Amylosegehalte (Amylose-Lipidkomplex) der Landsorten hin, die höhere Endviskosität der Landsorten deuten eher auf das Gegenteil hin (Guan et al., 2020; Zeng et al., 1997). Die niedrige Endviskosität von Liskamm könnte durch einen hohen Amylosegehalt, bedingt durch geringere Retrogradation, verursacht werden (Sestili et al., 2010). Die Endviskosität sinkt mit dem Anteil an durch Mahlen zerstörter Stärke (Guan et al., 2020).

4.10. Extensogramm

Die im Mikro-Extensogramm ermittelten Werte zeigten einen signifikanten Einfluss des Genotyps als auch der Genotyp×Umwelt-Interaktion (Tabelle 16). So mussten jeweils die Standorte getrennt betrachtet werden. Ein Teil der starken Genotyp×Umwelt-Interaktion ist vermutlich auf ungünstige Teigeigenschaften im Versuchsaufbau zurückzuführen. Manche Teigstreifen waren sehr klebrig und es gestaltete sich schwierig, die Streifen ohne Verformung aus der Teflonform auf den Tisch des Kieffer-Rig zu bringen. Verformungen während und nach dem Einspannen der Teigstreifen verursachen starke Unterschiede in der Kurvenform (Dunnewind et al., 2003). Stark verformte Teigstreifen wurden ausgeschieden, dennoch ist ein Einfluss von Verformungen wahrscheinlich. Je Akzession und Standort wurden vier Kurven statistisch ausgewertet.

Die Dehnungseigenschaften an beiden Standorten waren völlig unterschiedlich (Tabelle 16). Am Standort Bischofshofen erreichte Liskamm den höchsten mittleren Dehnwiderstand RMAX von 44,8 g. Alle anderen Akzessionen hatten signifikant niedrigere Dehnwiderstände. In Trautenfels hatte Liskamm einen niedrigeren Dehnwiderstand von 12,9 g. Die Landsorten aus Osttirol, Umhausen und Wald im Pinzgau hatten signifikant höhere Dehnwiderstände als Liskamm, keine der Landsorten hatte signifikant niedrigere Dehnwiderstände. Das Mikroextensogramm korreliert im Parameter RMAX sehr gut mit dem in den österreichischen Sortenversuchen verwendeten Standard-Extensogramm mit 135 min Teigruhe (Grausgruber et al., 2002). Teige mit niedrigen Dehnwiderständen neigen zum Breitlaufen (AGES, 2019).

Viele Extensogrammkurven der Landsorten zeigten auf Grund der sehr weichen Teigcharakteristik kein ausgeprägtes Maximum des Dehnwiderstands, sowie hohe „Abrisslängen" (Grausgruber et al., 2002) zwischen EXE1 und EXE (Abbildung 20 und 21). Deshalb wurden beide Parameter ausgewertet. Bei modernen Sorten ist R_m üblicherweise weit rechts in der Kraft-Dehnungskurve. Auf eine lange elastische Verformung folgt eine kurze Phase des Reißens. Bei den meisten Landsorten hingegen war RMAX eher links oder in der Mitte der Kurve. Nach einer kurzen elastischen Verformung folgt eine lange Phase des Fließens.

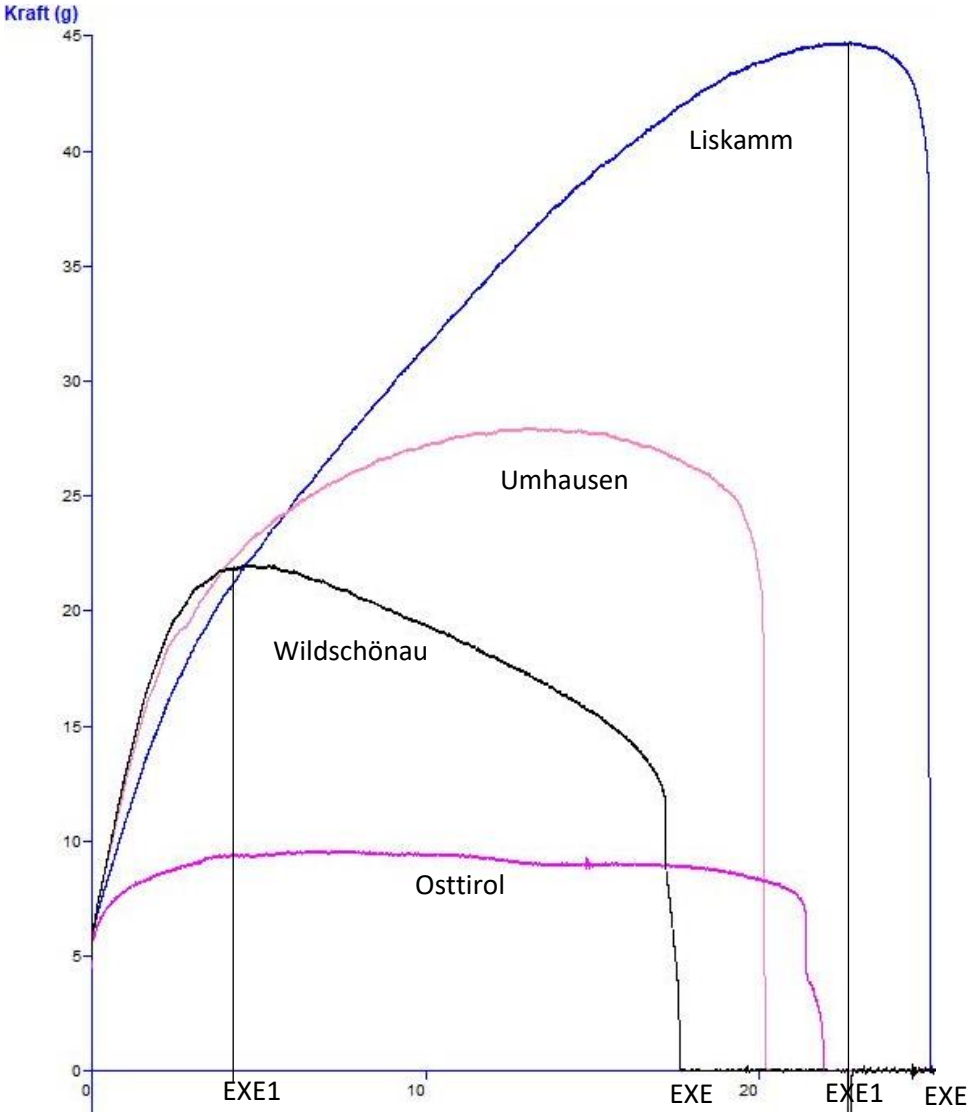

Abbildung 20: Mikro-Extensogrammkurven von Teigen vom Standort Bischofshofen. Die Abszisse zeigt die Zeit in Sekunden

Die Proben von Liskamm vom Standort Bischofshofen zeigten die signifikant höchste Dehnbarkeit EXE1 (Abbildung 20). Bei der Reißlänge EXE waren kaum Unterschiede erkennbar. Teige der Landsorten aus Trautenfels waren signifikant dehnbarer (höheres EXE) als Liskamm. Für Backzwecke ist eine hohe Dehnbarkeit erwünscht. Liskamm zeigt im Sortenversuch hohe Dehnwiderstände und eine mittlere Dehnlänge (AGES, 2019).

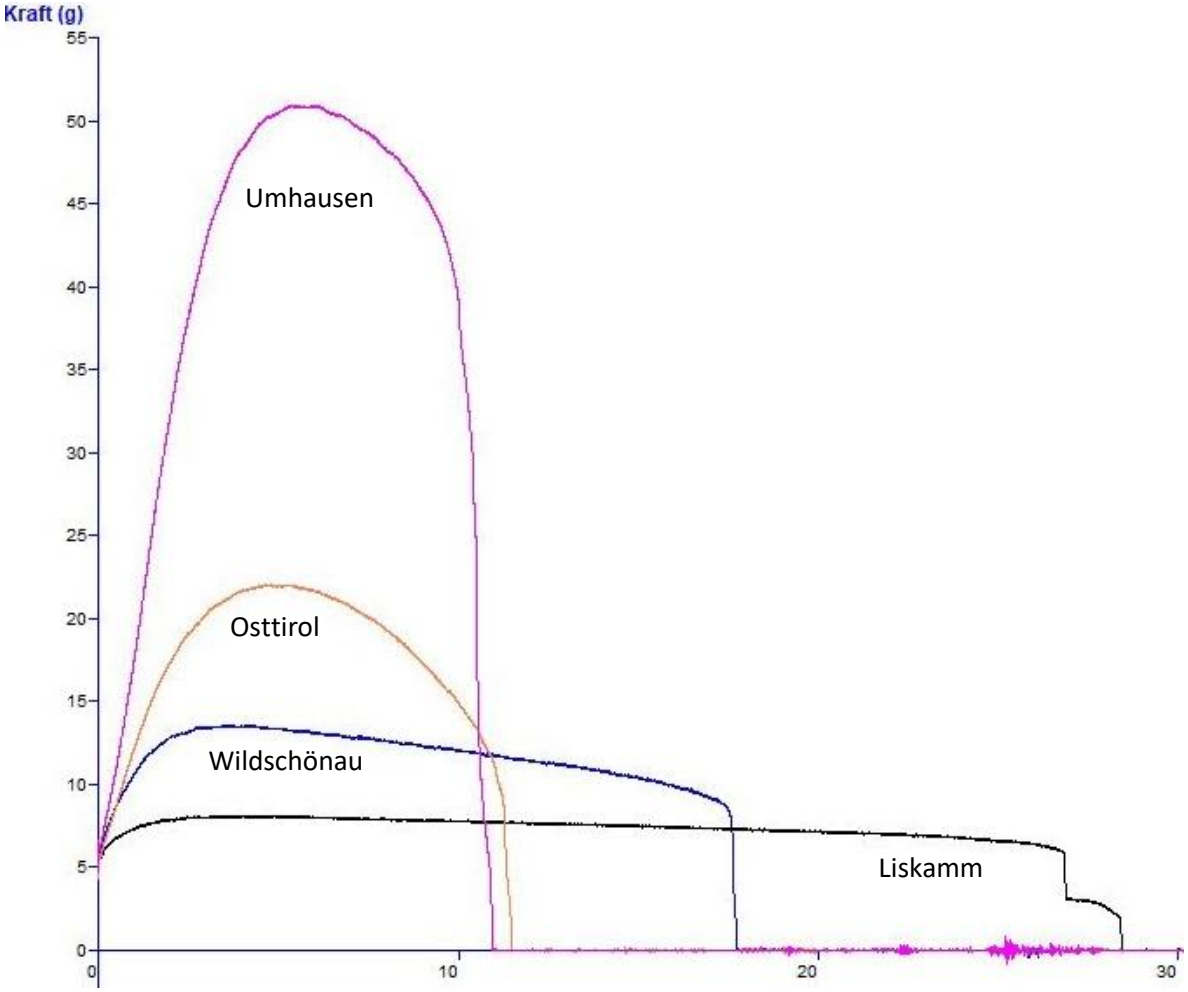

Abbildung 21: Mikro-Extensogrammkurven von Teigen vom Standort Trautenfels. Die Abszisse zeigt die Zeit in Sekunden

Die Teigenergie EXA1 betrug bei Liskamm mit 21,2 N·mm in Bischofshofen signifikant mehr als bei allen Landsorten. In Trautenfels hatte Liskamm eine der niedrigsten Teigenergien, sechs von acht Landsorten hatten signifikant höhere Werte. Die Landsorten hatten niedrigere Teigenergien zwischen 1,5 und 9,1 N·mm. Die Teigenergie EXA1 in N·mm aus dem Kieffer-Mikro-Extensogramm wurde mit der Regressionsformel A135 = -18,846 + 6,13×EXA1 (Grausgruber et al., 2002) in die Teigenergie im Standardextensogramm (Teigruhe 135 min) umgerechnet. Die Teigenergie A135 betrug bei Liskamm 111 cm² in Bischofshofen. Qualitätsweizen in Österreich haben üblicherweise eine Teigenergie von über 115 cm² (AGES, 2019). Für die meisten Landsorten sowie für Liskamm in Trautenfels ergab diese Regression keine positiven Werte und ist nicht anwendbar. Eine signifikante positive Beziehung zwischen Brabender Extensograph Parametern und Backvolumen wurde in vielen Studien mit verschiedenen Backtests festgestellt (Grausgruber et al., 2002). Mehle mit hohen Teigenergien ergeben in der Backprüfung tendenziell hohe Backvolumina (AGES, 2019). Die Aussagekraft der Extensogrammparameter ist dahingehend beschränkt, dass die maximale Verformungsgeschwindigkeit des Teigs während der Gare um drei Zehnerpotenzen geringer ist als in Dehnungsversuchen (Dunnewind et al., 2003).

Tabelle 16: Standort-Mittelwerte Mikro-Extensogramm

GEN[1]	EXE1 (mm)	EXE (mm)	RMAX (g)	EXA1 (N·mm)	EXA (N·mm)	RZ	KEZ
Bischofshofen							
Alpbach	10,2*	66,3	11,6*	1,0*	5,3*	9,3	5,2*
Liskamm	64,9	73,0	44,8	21,2	24,2	14,5	33,5
Lungau	15,3*	83,6	9,1*	1,3*	5,9*	16,9	7,7*
Osttirol	19,2*	59,0	10,3*	1,7*	5,1*	19,3	9,7*
Texinger Bergweizen	9,1*	66,7	13,2*	1,0*	7,7*	7,1	4,6*
Umhausen	25,8*	50,8*	27,8*	5,7*	11,7*	9,4	13,2*
Wald im Pinzgau	43,7*	81,5	14,3*	5,5*	10,2*	31,1*	22,1*
Westendorf	17,5*	52,2	20,9*	3,0*	8,7*	8,3	8,9*
Wildschönau	18,5*	57,8	20,1*	3,0*	9,3*	9,3	9,4*
Trautenfels							
Alpbach	49,9*	74,5	19,0	8,1*	12,3*	26,9	25,4*
Liskamm	19,7	64,6	12,9	2,2	6,9	15,4	10,0
Lungau	32,7*	67,4	18,5	5,3*	10,9	17,8	16,6*
Osttirol	16,6	35,5*	43,2*	4,9*	10,8	4,6	8,5
Texinger Bergweizen	71,2*	94,1*	10,8	6,7*	8,9	66,3*	35,9*
Umhausen	20,1	29,5*	71,9*	9,1*	14,7*	2,8*	10,5
Wald im Pinzgau	20,0	33,8*	38,1*	5,5*	9,9	5,3	10,3
Westendorf	21,9	73,9	14,7	2,8	9,2	15,0	11,1
Wildschönau	18,7	76,2	9,0	1,5	5,7	21,1	9,4

[1] GEN, Genotyp; EXE1, Dehnlänge bei RMAX; EXE, Dehnlänge bei Kraft = 0 g; RMAX, maximaler Dehnwiderstand RMAX; EXA1, Teigenergie bis EXE1; EXA, Teigenergie bis EXE; RZ, Relationszahl; KEZ, Kurzextensogrammzahl; *Wert signifikant größer oder kleiner ($p < 0,05$) zu Liskamm im Dunnet Test

In der Relationszahl RZ war die Akzession Wald im Pinzgau am Standort Bischofshofen sowie Texinger Bergweizen am Standort Trautenfels signifikant höher als von Liskamm. Alle anderen Landsorten hatten ähnliche Relationszahlen. Mit einigen Ausreißern zeigen die Landsorten also eher weiche „lange“ Teige. Für gute Backqualitäten sollte das Verhältnis zwischen Dehnwiderstand und Dehnbarkeit ausgewogen sein, weil es das Ausmaß der Expansion bestimmt (Anderssen et al., 2004). Verhältniszahlen (Standard Extensogramm 135 min Dehnwiderstand zu Dehnbarkeit) zwischen 2,5 und 3,0 sind günstig (AGES, 2019). Diese Verhältniszahl korreliert gut mit der Mikro-Extensogramm Relationszahl (r = -0,82) (Grausgruber et al., 2002). Die Landsorten würden niedrige Verhältniszahlen zeigen. Die Kurzextensogrammzahl KEZ berücksichtigt zusätzlich die Teigenergie und hat bei der der Vergleichssorte Liskamm am Standort Bischofshofen den höchsten Wert, in Trautenfels hatten drei Landsorten signifikant höhere Werte.

Die Dehnbarkeit der Weizenteige wird durch die Proteine des Gluten-Komplexes bestimmt (Kieffer, 2006 zitiert in Dapcevic et al., 2011), wobei die Gliadine verantwortlich für die Dehnbarkeit sind, während Glutenine die Teigstärke und Elastizität bestimmen (Torbica et al., 2007). Dies lässt vermuten, dass die Landsorten am Standort Bischofshofen ein größeres Gliadin zu Glutenin-Verhältnis besitzen als die Vergleichssorte Liskamm.

4.11. Backversuch

Das Backvolumen war in Genotyp sowie Ort signifikant. Vom Standort Bischofshofen konnten fünf Sorten ausgewertet werden, von Trautenfels neun. Das signifikant höchste Backvolumen erreichte die Landsorte Umhausen am Standort Bischofshofen mit 1152 cm^3, die anderen Landsorten lagen zwischen 959 und 1000 cm^3 (Tabelle 17). Am Standort Trautenfels erreichten Umhausen und Wald im Pinzgau signifikant höhere Backvolumen (1030 cm^2) als Liskamm (927 cm^2). Brote aus der Landsorte Umhausen waren im Mittel höher (nicht signifikant) als die Brote aus anderen Landsorten.

Tabelle 17: Standort-Mittelwerte Backversuch

GEN[1]	BVOL (cm^3) BH	BVOL (cm^3) TF	BVH (cm) BH	BVH (cm) TF	BVUMF (cm) BH	BVUMF (cm) TF
Alpbach	988	959	6,2*	6,3	47,6*	47,2*
Liskamm	.	927	.	6,3	.	45,5
Lungau	1000	928	5,8	6,1	48,8	46,2
Osttirol	959	.	6,1	.	47,9	.
Texinger Bergweizen	979	930	5,8	5,7*	49,6	48,6*
Umhausen	1152*	1030*	6,8*	6,5	48,8	47,3*
Wald im Pinzgau	.	1031*	.	6,3	.	49,0*
Westendorf	.	964	.	6,1	.	48,1*
Wildschönau	.	879	.	5,4*	.	48,8*

[1] GEN, Genotyp; BVOL, Brotvolumen; BVH, Höhe Brotlaib; BVUMF, Umfang Brotlaibe waagrecht gemessen; [2] BH, Bischofshofen; TF, Trautenfels; * Wert signifikant größer oder kleiner ($p < 0,05$) zu Liskamm in Trautenfels bzw. Lungau in Bischofshofen im Dunnet Test

Mit freiem Auge konnte kein „Breitlaufen“ beobachtet werden. Dennoch hatten die Brote aus den Landsortenmehlen signifikant höhere Umfänge (46,2–49 cm in der Symmetrieachse gemessen) als Brote aus Liskamm-Mehl (45,5 cm; Abbildung 22 b). Trotz schwacher Dehnungseigenschaften der Landsortenmehle (siehe 4.10.) konnten wohlgeformte Brote gebacken werden (Abbildung 22 a, c).

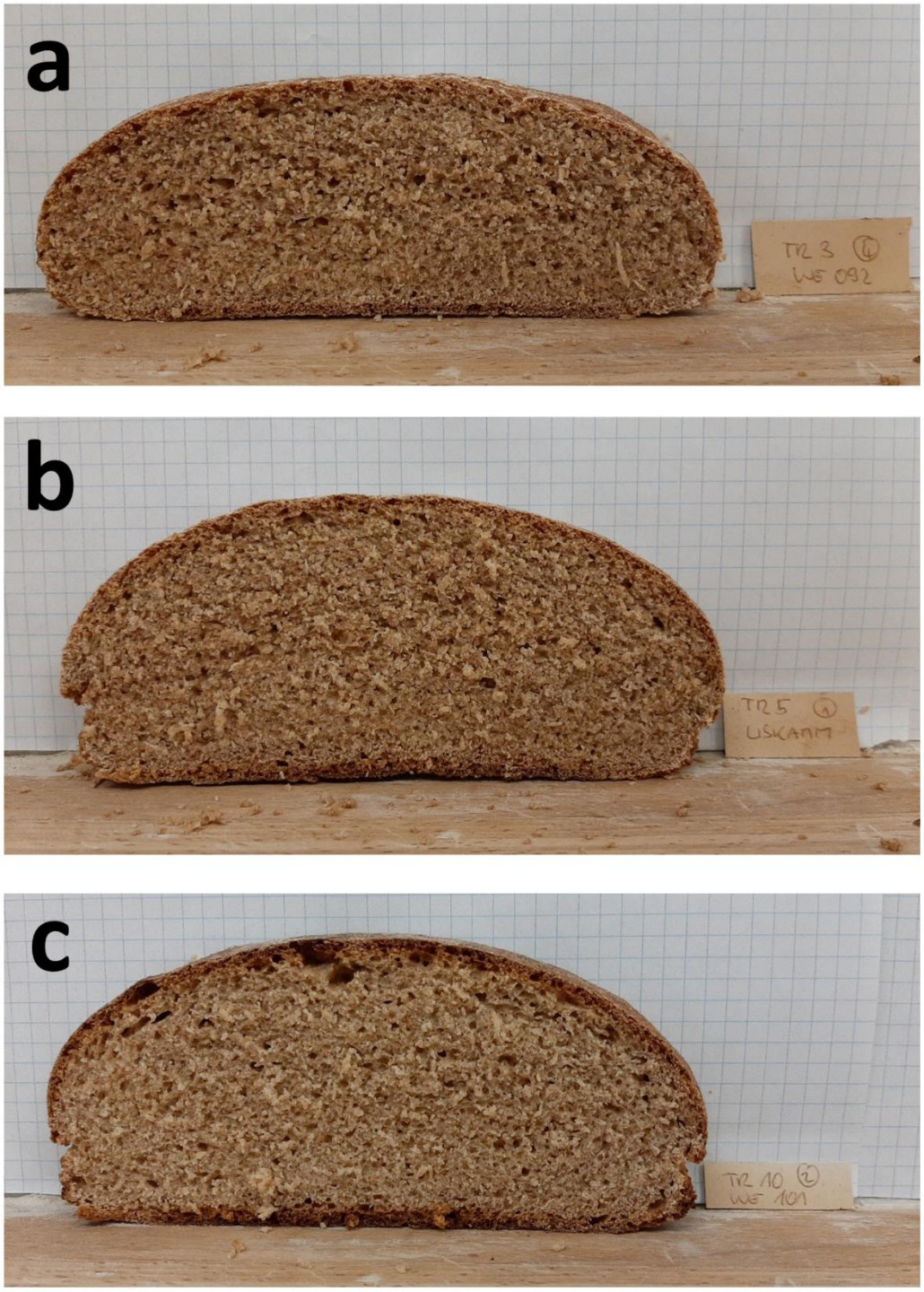

Abbildung 22: Querschnitte von Testbroten: **a** Wildschönau (kleinste Höhe, kleinstes Volumen, größter Umfang); **b** Liskamm (kleinster Umfang); **c** Umhausen (größte Höhe und größtes Volumen)

4.12. Qualität der Binkelweizen

Die von Erwin Mayr selektierten Binkelweizensorten zeigen ähnliche Eigenschaften, nämlich mittleres Lager, niedrige Erträge um 16 dt·ha^{-1}, niedrige TKM und relativ hohe Proteingehalte und weiches Gluten (Tabelle 18). Die Akzession Begrannter Binkelweizen unterscheidet sich deutlich davon, mit einem höheren Ertrag und sehr hoher TKM, geringerer Dehnfähigkeit und etwas größerer Teigstabilität

und Wasseraufnahme. Binkelweizen haben meist weiches Gluten und hohe Mehlausbeuten (Carter et al., 1999; Mayr, 1935). Das macht sie besonders geeignet für Kuchen, Kekse und flache Brote. Binkelweizenmehl hat im Schnitt über mehrere Jahre geringere Amylosegehalte als weiche weiße Winterweizen (Lin & Czuchajowska, 1997). Auch in einigen der Landsorten sind Binkelweizen-Typen enthalten, was einen Einfluss auf die Verarbeitungsqualität der Landsorten haben kann. Mayr (1935) berichtet auch von hohen Proteinwerten um 18% sowie Standfestigkeit auf Grund von steifen Halmen bei den *Compactum*-Formen Nordtirols und Vorarlbergs.

Tabelle 18: Agronomische und qualitative Eigenschaften von Binkelweizensorten

Merkmal[1]	Binkelweizen begrannt	Begrannter Binkel	Tiroler Früher Binkel	Mittelfrüher Binkel
LAGR	2	5	4	3
YLDDT (dt·ha^{-1})	28,3	15,9	16,1	16,5
TKM (g)	36,7	28,4	31,0	29,1
NIRSPROT (%)	15,2	18,8	18,5	15,4
EXRMAX (g)	32,4	15,4	16,8	22,8
EXE (mm)	40,4	74,6	88,7	53,1
MDLSTAB (min)	3,1	1,6	1,1	1,2
MDLWA (%)	55,7	53	53,2	53,5

[1]LAGR, Lagerbonitur; YLDDT, Kornertrag gereinigt; TKM, Tausendkornmasse; NIRSPROT, Protein Nahinfrarotspektroskopie; EXRMAX, maximaler Dehnwiderstand R_m, EXE, Dehnbarkeit, MDLSTAB, Teigstabilität; MDLWA, Wasseraufnahme

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wurden neun Sommerweizenlandsorten aus dem österreichischen Alpenraum auf ihre agronomischen und qualitativen Eigenschaften untersucht und mit einer aktuellen Standardsorte verglichen. Ziel ist die Wiedereinführung einiger Landsorten zur Erhaltung ihrer genetischen Vielfalt in ihrer Gesamtheit (Fegg, 2012). Im Jahr 2018 wurden die Landsorten an den zwei inneralpinen Standorten Bischofshofen und Trautenfels, in randomisierten Parzellenversuchen mit je zwei Wiederholungen kultiviert. Die Mehle wurden in teigrheologischen Versuchen auf Unterschiede in ihrer Eignung zur Erzeugung von Brot geprüft.

Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Landsorten und zur Vergleichssorte, die bei vielen Parametern von einer signifikanten Genotyp×Umwelt-Interaktion überlagert werden.

Der Reifezeitpunkt der Landsorten unterschied sich nicht signifikant vom Reifezeitpunkt der Vergleichssorte. Die Kornerträge der Landsorten lagen unter den extensiven Bedingungen ebenbürtig bis höher (15–36 $dt \cdot ha^{-1}$) als die der Standardsorte. Der Zuchtfortschritt im Ertrag könnte bei Sommerweizen etwas geringer sein als bei den Winterweizensorten, weil Winterweizen ökonomisch wesentlich wichtiger ist (Schilperoord, 2017). Die höchsten Erträge bildeten die beiden Tiroler Landsorten Umhausen und Wildschönau. Die Landsorten hatten im Mittel niedrigere Tausendkorngewichte (30,3–36,3 g) und meist niedrigere Hektolitergewichte (73,5–80,6 $kg \cdot hL^{-1}$) als die Vergleichssorte. Die Landsorten erreichten ähnliche Erträge mit kleinerem Tausendkorngewicht, bildeten also mehr Körner je m^2.

Die meisten Landsorten zeigten eine hohe Lagerneigung, was zu hohen Ertragsverlusten führen kann (Kelbert et al., 2004). Die starke Lagerneigung vieler Landsorten bildet ein Hindernis bei der Wiedereinführung und *on-farm* Erhaltung, daher sind Landsorten mit geringer Lagerneigung zu bevorzugen. Die meisten Landsorten wuchsen bei großer Heterogenität innerhalb der Bestände im Mittel wesentlich höher (über 120 cm) als die Vergleichssorte und hatten größere Abstände zwischen Ähre und Fahnenblatt. Das lange Stroh kann als Streu verwendet werden und somit ein wichtiges Nebenprodukt für die viehhaltenden Betriebe des alpinen Raums darstellen (vgl. Tobler, 2016).

Die meisten Landsorten waren nicht anfällig für Gelbrost, könnten also Resistenzen enthalten. Der Großteil der Resistenzgene gegen Gelbrost in modernen Weizensorten in der Züchtung stammt aus Landsorten, direkte Sortenentwicklung aus einzelnen Kreuzungen mit Landsorten ist aber selten (Mondal et al., 2016).

Eine Besonderheit der Sommerweizenlandsorten sind deren hohe Rohproteingehalte (16,3–20,2%) und Feuchtklebergehalte (40,7–48,5%). Landsorten mit hohen Rohproteingehalten könnten zur derzeit im Trend liegenden proteinreichen pflanzlichen Ernährung beitragen und tierische Lebensmittel ersetzen. Die Landsorten sind unter extensiven Anbaubedingungen effizienter bei Nährstoffnutzung als intensive Zuchtsorten (vgl. Mayr, 1956). Somit sind hohe Stickstoffdüngungen bei Genotypen mit natürlich hohen Feuchtklebergehalten überflüssig (Shewry et al., 2020). Die Effizienz der Stickstoffnutzung bei niedrigen N-Konzentrationen im Boden sollte in Zukunft ein wichtiges Zuchtziel sein (Mansour et al., 2017).

Aus allen Landsorten konnten im Backversuch ähnliche fehlerlose Brote gebacken werden. Die Brotvolumen der Landsorten waren gleich bis höher als die der Vergleichssorte Liskamm, bei signifikant größeren Durchmessern („breitere Form“). Alle untersuchten Landsorten sind geeignet für eine handwerkliche Broterzeugung, bei der eine längere Reifephase des Teigs eingehalten wird. Bei diesen Mehlen mit schwacher Glutenstruktur ist kurzes, langsames Mischen günstig. Vorteige wie Poolish, Sauerteig oder Quellstück sowie Teigrasten können die Mischzeit zusätzlich verringern (Wöckl, 2019). Das höchste Backvolumen konnte mit der Landsorte aus Umhausen erreicht werden.

Für eine industrielle Verarbeitung bei kurzer Teigführung und hohen Knetintensitäten sind die Landsortenmehle nicht geeignet. Die dafür notwendigen hohen Teigstabilitäten und Dehnwiderstände sind nicht gegeben. Die Stabilität der Landsortenteige war sieben bis zwölf Mal geringer als die der modernen Vergleichssorte. Die Dehnungsversuche zeigten/ergaben großteils weiche, „lange“ Teige. Dies lässt auf ein niedrigeres HMW Glutenin/Gliadin-Verhältnis der Landsorten schließen. Die Landsortenmehle sind somit gut für die Keksherstellung geeignet. Die Peak-Viskositäten einer Suspension der Landsortenmehle im RVA waren alle höher als die Viskosität der Vergleichssorte. Dies ist entweder auf eine höhere Enzymaktivität oder eine andere Stärkezusammensetzung der Vergleichssorte zurückzuführen.

Literaturliste

AACC (2000) General pasting method for wheat or rye flour or starch using the Rapid Visco Analyser. AACC Method 76-21 first approval 10-15-97, reapproved 11-3-99. American Association of Cereal Chemists (AACC), St. Paul, MN.

Abe, T., Komiyama, S., Kobayashi, S., Nishimura, T., & Jinno, H. (2016) Evaluation of water absorption and dough-mixing characteristics with small quantities of wheat flour using the Micro-doughlab. Japanese Journal of Crop Science, 85, 435–442. https://doi.org/10.1626/jcs.85.435

AGES (2015) SLK-Anbau seltener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Wien. [http://slk.ages.at/home/; abgerufen am 24. Jänner 2022]

AGES (2018) Österreichische Beschreibende Sortenliste 2018 (Auszug), Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 21/2018. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Wien.

AGES (2019) Österreichische beschreibende Sortenliste 2019, Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 21/2019. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Wien.

AGES (2020) Österreichische beschreibende Sortenliste 2020, Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 21/2020. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Wien.

AGES (2021) Nationales Verzeichnis. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Linz. [https://www.genbank.at/nationales-verzeichnis.html; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Allan, R. E. (2015) Wheat. In: Fehr, W. R. & Hadley, H. H. (eds.), Hybridization of crop plants, pp. 709-720. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. https://doi.org/10.2135/1980.hybridizationofcrops.c51

Anderssen, R. S., Bekes, F., Gras, P. W., Nikolov, A., & Wood, J. T. (2004) Wheat-flour dough extensibility as a discriminator for wheat varieties. Journal of Cereal Science, 39, 195–203. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.10.002

Arnold, M. L., & Hodges, S. A. (1995) Are natural hybrids fit or unfit relative to their parents? Trends in Ecology & Evolution, 10, 67–71. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88979-X

Arriola, P. E., & Ellstrand, N. C. (1997) Fitness of interspecific hybrids in the genus *Sorghum*: Persistence of crop genes in wild populations. Ecological Applications, 7, 512–518. https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0512:FOIHIT]2.0.CO;2

Asana, R. D., & Mani, V. S. (1955) Studies in physiological analysis of yield. II. Further observations on varietal differences in photosynthesis in the leaf, stem and ear of wheat. Physiologia Plantarum, 8, 8–19. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1955.tb08955.x

BAES (2015) Richtlinien für die Sortenwertprüfung Methoden für Saatgut und Sorten gemäß § 5 Saatgutgesetz 1997 BGBl. I Nr. 72/1997 idgF. Republik Österreich. Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES), Wien.

BAES (2018) Österreichische Sortenliste 2018 (Bd. 3). Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES), Wien.

Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019) Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physiochemical properties in cereals: A review. Food Analytical Methods, 12, 2344–2360. https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w

Bertsch, K. (1950) Vom Ursprung der hexaploiden Weizen. Der Züchter, 20, 24–27. https://doi.org/10.1007/BF01093477

Bever, W. M. (1937) Influence of stripe rust on growth, water economy, and yield of wheat and barley. Journal of Agricultural Research, 54, 375–385.

BFW (2018) eBod - Digitale Bodenkarte. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien. (https://bodenkarte.at/)

Biebl, E. (1925) Getreidebau und Getreidevarietaeten im salzburgischen und steirischen Ennstale, im Paltentale und steirischen Salzkammergut. Dissertation, Hochschule für Bodenkultur Wien.

BMLRT (2020a) Grüner Bericht 2020, Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft (61. Aufl.). Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Wien.

BMLRT (2020b) Daten und Fakten - Vollständiger Tabellenteil Grüner Bericht 2020. Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Wien. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen, Wien. [https://j1dev.agrarforschung.at/index.php?option=com_rsfiles&layout=download&path=Gruener_Bericht%2F2020%2Fgb2020.zip&Itemid=477&lang=de; abgerufen am 24. Jänner 2022]

BMNT (2019) Grüner Bericht 2019 (60. Aufl.). Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), Wien.

Bonfil, D. J., & Posner, E. S. (2012) Can bread wheat quality be determined by gluten index? Journal of Cereal Science, 56, 115–118. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.07.003

Bordes, J., Branlard, G., Oury, F. X., Charmet, G., & Balfourier, F. (2008) Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. Journal of Cereal Science, 48, 569–579. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.05.005

Börner, A., Chebotar, S., & Korzun, V. (2000) Molecular characterization of the genetic integrity of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm after long-term maintenance. Theoretical and Applied Genetics, 100, 494–497. https://doi.org/10.1007/s001220050064

Börner, A., Schumann, E., Fürste, A., Cöster, H., Leithold, B., Röder, M., & Weber, W. (2002). Mapping of quantitative trait loci determining agronomic important characters in hexaploid wheat (Triticum aestivum L.). Theoretical and Applied Genetics, 105, 921–936. https://doi.org/10.1007/s00122-002-0994-1

Börse für Landwirtschaftliche Produkte in Wien (2019) Bestimmungen für den Geschäftsverkehr an der Börse für landwirtschaftliche Produkte in Wien (Usancen) Teil B. Sonderbestimmungen für den Handel mit einzelnen Waren. (https://www.boersewien.at/usancen+2400++1119112)

Brandenburger, V. (1966) Der Weizen—Die Krone unserer Feldfrüchte. Heimatjahrbuch, 1966, 84-87. Kreisverwaltung Ahrweiler, Bad Neuenahr-Ahrweiler. (https://www.kreis-ahrweiler.de/kvar/VT/hjb1966/hjb1966.19.htm)

Braungart, R. (1914) Die Südgermanen (Bd. 1–2). Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.

Bundessortenamt (2013) Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte 2013. Bundessortenamt (BSA), Hannover. [https://www.bundessortenamt.de/bsa/sorten/beschreibende-sortenlisten/download-bsl-im-pdf-format; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Burggasser, E. (1927) Getreidebau und Getreidevarietaeten im südöstlichen Alpengebiete Oberoesterreichs. Universität für Bodenkultur Wien. Nicht approbierte Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien.

Burggasser, E. (1953) Getreidebau und Getreidevarietäten im Alpengebiet von Oberoesterreich. Eine Gegenüberstellung von Betriebsaufnahmen der Jahre 1925 und 1952. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien.

Carter, B. P., Morris, C. F., & Anderson, J. A. (1999) Optimizing the SDS sedimentation test for end-use quality selection in a soft white and club wheat breeding program. Cereal Chemistry, 76, 907–911. https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.6.907

Chen, M.-H., Bergman, C. J., Pinson, S. R. M., & Fjellstrom, R. G. (2008) Waxy gene haplotypes: Associations with pasting properties in an international rice germplasm collection. Journal of Cereal Science, 48, 781–788. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.05.004

Chen, X. M. (2005). Epidemiology and control of stripe rust [Puccinia striiformis f. Sp. Tritici] on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology, 27, 314–337. https://doi.org/10.1080/07060660509507230

Crosbie, G. B., & Ross, A. S. (Eds.) (2007) The RVA handbook. AACC International, St. Paul, MN.

Dapcevic, T., Pojic, M., Hadnaev, M., & Torbic, A. (2011) The role of empirical rheology in flour quality control. In: Akyar, I. (ed.), Wide spectra of quality control. InTech Open, Rijeka. https://doi.org/10.5772/24148

Dawson, J. C., Rivière, P., Berthellot, J.-F., Mercier, F., de Kochko, P., Galic, N., Pin, S., Serpolay, E., Thomas, M., Giuliano, S., & Goldringer, I. (2011) Collaborative plant breeding for organic agricultural systems in developed countries. Sustainability, 3, 1206-1223. https://doi.org/10.3390/su3081206

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010) Rheological properties of gluten-free bread formulations. Journal of Food Engineering, 96, 295–303. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004

Diederichsen, A., Solberg, S. Ø., & Jeppson, S. (2013). Morphological changes in Nordic spring wheat (Triticum aestivum L.) landraces and cultivars released from 1892 to 1994. Genetic Resources and Crop Evolution, 60, 569–585. https://doi.org/10.1007/s10722-012-9858-y

Dobraszczyk, B. J., & Schofield, J. D. (2002) Rapid assessment and prediction of wheat and gluten baking quality with the 2-g direct drive mixograph using multivariate statistical analysis. Cereal Chemistry, 79, 607–612. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.5.607

Dotlačil, L., Hermuth, J., Stehno, Z., Dvořaček, V., Bradova, J., & Leišova, J. (2010): How can wheat landraces contribute to present breeding? Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46, 70–74.

Dotlačil, L., Hermuth, J., & Stehno, Z. (2011). Earliness, spike productivity and protein content in European winter wheat landraces and obsolete cultivars. Plant, Soil and Environment, 49, 67–74. https://doi.org/10.17221/4092-PSE

Dvořáček, V., Hermuth, J., Dotlačil, L., Prohasková, A., & Hauptvogel, P. (2014). Changing parameters of Czechoslovak obsolete and modern bread wheat cultivars (Triticum aestivum L.) over 90 years. Genetic Resources and Crop Evolution, 61, 1159–1171. https://doi.org/10.1007/s10722-014-0098-1

Duden online (2020) Binkel. Bibliographisches Institut GmbH. [https://www.duden.de/rechtschreibung/Binkel; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Dunnewind, B., Sliwinski, E. L., Grolle, K., & Vliet, T. (2003) The Kieffer dough and gluten extensibility rig – an experimental evaluation. Journal of Texture Studies, 34, 537–560. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2003.tb01080.x

Dvorak, J., Deal, K. R., Luo, M.-C., You, F. M., von Borstel, K., & Dehghani, H. (2012) The origin of spelt and free-threshing hexaploid wheat. Journal of Heredity, 103, 426-441. https://doi.org/10.1093/jhered/esr152

Dvořák, J., Terlizzi, P. di, Zhang, H.-B., & Resta, P. (1993) The evolution of polyploid wheats: Identification of the A genome donor species. Genome, 36, 21-31. https://doi.org/10.1139/g93-004

FAO (2017) Produktionsstatistik der FAO 2017. [http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC; abgerufen am 24. Jänner 2022]

FAO (2019) The state of the world's biodiversity for food and agriculture, Bélanger, J., & Pilling, D. (eds.). Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. [http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

FAO (Ed.) (2010) The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. [http://www.fao.org/3/i1500e/i1500e.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Farooq, M. U., Cheema, A. A., Ishaaq, I., & Zhu, J. (2018). Correlation and genetic component studies for peduncle length affecting grain yield in wheat. International Journal of advanced and applied Sciences, 5, 67–75. https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.10.010

Fegg, T. (2012) Untersuchungen zur Populationsstruktur von Sommerweizen-Landsorten anhand der „Alpinen Landsortensammlung". Bachelorarbeit, Technische Universität München, Freising.

FIBL (2016) Sommerweizenversuch Trautenfels 2016. Bionet Praxisversuche. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FIBL), Wien.
[https://www.bio-net.at/fileadmin/bionet/documents/sommerweizen_trautenfels_2018.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

FIBL (2018) Sommerweizenversuch Trautenfels 2018. Bionet Praxisversuche. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FIBL), Wien.
[https://www.bio-net.at/fileadmin/bionet/documents/sommerweizen_trautenfels_2018.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

FIBL (2019) Sommerweizenversuch Trautenfels 2019. Bionet Praxisversuche. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FIBL), Wien.
[https://www.bio-net.at/fileadmin/bionet/documents/sommerweizen_trautenfels_2018.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Finney, K. F., & Barmore, M. D. (1948) Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheats. Cereal Chemistry, 25, 291–312.

Fischer, M. A., Oswald, K., & Adler, W. (2008) Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol: Bestimmungsbuch für alle in der Republik Österreich, im Fürstentum Liechtenstein und in der Autonomen Provinz Bozen/Südtirol (Italien) wildwachsenden sowie die wichtigsten kultivierten Gefäßpflanzen, 3. verb. Aufl. Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz.

Frauenstein, K., & Lehmann, C. (1979) Resistenzeigenschaften im Gersten- und Weizensortiment Gatersleben. 23. Orientierende Prüfung von Weizen mit *Cercosporella herpotrichoides* Fron. Kulturpflanze, 27, 189–195.

Furtmüller, G., Schramm, J.-M., & Slupetzky, H. (2001) Geologie und Landschaft um Bischofshofen. In: Chronik Bischofshofen, Bd. 1, pp. 17–30. Stadtgemeinde Bischofshofen.

Gan, Z., Ellis, P. R., & Schofield, J. D. (1995) Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. Journal of Cereal Science, 21, 215–230. https://doi.org/10.1006/jcrs.1995.0025

Garimella Purna, S. K., Miller, R. A., Seib, P. A., Graybosch, R. A., & Shi, Y.-C. (2011) Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours. Journal of Cereal Science, 54, 37–43. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.02.008

Gaudet D. A., Puchalski B., Randhawa H., Despins T., & Laroche A. (2013). Fungicide control of stripe rust in western Canada. 34th Annual meeting of the plant pathology society of Alberta - Brooks, AB November 4–6, 2013.

Girtler, R. (1996) Sommergetreide: Vom Untergang der bäuerlichen Kultur. Böhlau, Wien.

Global 2000 (Hrsg.) (2020) Insektenatlas 2020, Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft, Österreichische Ausgabe, 1. Aufl. Heinrich Böll Stiftung, Berlin & Global 2000, Wien. [https://www.global2000.at/publikationen/insektenatlas; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. (2005) Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science & Technology, 16, 12–30. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011

Grausgruber, H., Schöggl, G., & Ruckenbauer, P. (2002) Investigations on the validity of the micro-extensigraph method to measure rheological properties of wheat doughs. European Food Research and Technology, 214, 79–82. https://doi.org/10.1007/s002170100399

Griffiths, S., Simmonds, J., Leverington, M., Wang, Y., Fish, L., Sayers, L., Alibert, L., Orford, S., Wingen, L., & Snape, J. (2012). Meta-QTL analysis of the genetic control of crop height in elite European winter wheat germplasm. Molecular Breeding, 29, 159–171. https://doi.org/10.1007/s11032-010-9534-x

Guan, E., Yang, Y., Pang, J., Zhang, T., Li, M., & Bian, K. (2020) Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. Food Science & Nutrition, 8, 2581–2587. https://doi.org/10.1002/fsn3.1431

Hammer, K., & Knüpffer, H. (2015) Genetic resources of *Triticum*. In: Ogihara, Y., Takumi, S. & Handa, H. (eds.), Advances in wheat genetics: From genome to field, pp. 23-31. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55675-6_3

Hareland, G. A. (2003) Effects of pearling on falling number and α-amylase activity of preharvest sprouted spring wheat. Cereal Chemistry, 80, 232–237. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.2.232

HBLFA Raumberg-Gumpenstein (2018) Wetterdaten Gumpenstein.

Hein, W. (2001) Getreidebau im Alpenraum: Möglichkeiten innerhalb natürlicher Grenzen. Bericht über die Fachtagung: „Getreide: Anbau und Vermarktung im Alpenraum“, pp. 4–7. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (BAL), Irdning.

Hermanovski, R., & Wilbois, K.-P. (2011) Rohproteingehalt alleine für Beurteilung der Backqualität von Weizen nicht mehr zeitgemäß. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frankfurt. [https://www.fibl.org/de/infothek/meldung/rohproteingehalt-alleine-fuer-beurteilung-der-backqualitaet-von-weizen-nicht-mehr-zeitgemaess; abgerufen am 14. Jänner 2022]

Holaus, K. (2000) Sammlung und Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen im Alpenraum. Tagungsband ALVA-Jahrestagung 2000, 6.-8. Juni, Gmunden, pp. 67-68. Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten (ALVA), Wien.

Huen, J., Börsmann, J., Matullat, I., Böhm, L., Stukenborg, F., Heitmann, M., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2018) Wheat flour quality evaluation from the baker's perspective: Comparative assessment of 18 analytical methods. European Food Research and Technology, 244, 535–545. https://doi.org/10.1007/s00217-017-2974-3

Humer F., Brielmann H., Wemhöner U., Philippitsch R. (2015) Grundwasseralter in Österreich. Mittlere Verweilzeiten in ausgewählten Grundwasserkörpern. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.

ICC (1995) Rapid pasting method using the Newport Rapid Visco Analyser. ICC Standard No. 162. International Association for Cereal Science and Technology (ICC), Vienna.

Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien, & Dato Denkwerkzeuge (o. J.) Österreichische Nährwerttabelle. [https://www.oenwt.at; abgerufen am 20. Dezember 2020]

Izydorczyk, M. (2008) Using RVA to measure pre-germination in barley and predict germination energy after storage. Canadian Grain Commission. [https://www.grainscanada.gc.ca/en/grain-research/scientific-reports/rva/; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Jackson, L. F., & Wennig, R. W. (1997) Use of wheat cultivar blends to improve grain yield and quality and reduce disease and lodging. Field Crops Research, 52, 261–269. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00007-5

Ji-chun, T., Rui-bo, H., Zhi-ying, D., & Yan-xun, W. (2007) The variation and stability analysis of wheat dough stability time. Agricultural Sciences in China, 6, 143–149. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60028-5

Kelbert, A. J., Spaner, D., Briggs, K. G., & King, J. R. (2004) Screening for lodging resistance in spring wheat breeding programmes. Plant Breeding, 123, 349–354. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2004.00976.x

Kerber, E. R., & Rowland, G. G. (1974) Origin of the free threshing character in hexaploid wheat. Canadian Journal of Genetics and Cytology, 16, 145-154. https://doi.org/10.1139/g74-014

Khatkar, B. S., Barak, S., & Mudgil, D. (2013) Effects of gliadin addition on the rheological, microscopic and thermal characteristics of wheat gluten. International Journal of Biological Macromolecules, 53, 38–41. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.11.002

Khlestkina, E. K., Huang, X. Q., Quenum, F. J.-B., Chebotar, S., Röder, M. S., & Börner, A. (2004) Genetic diversity in cultivated plants—Loss or stability? Theoretical and Applied Genetics, 108, 1466–1472. https://doi.org/10.1007/s00122-003-1572-x

Khoury, C. K., Bjorkman, A. D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., Rieseberg, L. H., & Struik, P. C. (2014) Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111, 4001-4006. https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111

Kieffer, R. (2006) The role of gluten elasticity in the baking quality of wheat. In: Popper, L., Schäfer, W. & Freund, W. (eds.), Future of flour—A compendium of flour improvement, pp. 169–178. Verlag Agrimedia, Clenze.

Kleijer, G., Levy, L., Schwaerzel, R., Fossati, D., & Brabant, C. (2007) Hektolitergewicht und Qualitätsparameter beim Weizen. Agrarforschung, 14, 548–553.

Köck, L. (1989) Die Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn. In Köck, L. & Holaus, K. (Hrsg.), Festschrift 50 Jahre Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn, pp. 13-16. Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung, Innsbruck.

Kong, L., Wang, F., Feng, B., Li, S., Si, J., & Zhang, B. (2010) The structural and photosynthetic characteristics of the exposed peduncle of wheat (*Triticum aestivum* L.): An important photosynthate source for grain-filling. BMC Plant Biology, 10, 141. https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-141

Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Boom, T. V. D., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., & Witzenberger, A. (1991) A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Annals of Applied Biology, 119, 561–601. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x

Land Salzburg (2017) Bericht über die wirtschaftliche und soziale Lage der Salzburger Land- und Forstwirtschaft 2013-2015 (Grüner Bericht Salzburg 2013-2015). Land Salzburg, Salzburg.

Law, C. N., Snape, J. W., & Worland, A. J. (1978). The genetical relationship between height and yield in wheat. Heredity, 40, 133–151. https://doi.org/10.1038/hdy.1978.13

Li, Y., Fu, J., Shen, Q., & Yang, D. (2020). High-Molecular-Weight Glutenin Subunits: Genetics, Structures, and Relation to End Use Qualities. International Journal of Molecular Sciences, 22, 184. https://doi.org/10.3390/ijms22010184

Lin, P.-Y., & Czuchajowska, Z. (1997) Starch properties and stability of club and soft white winter wheats from the Pacific Northwest of the United States. Cereal Chemistry, 74, 639–646. https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.639

López-Fernández, M., Pascual, L., Faci, I., Fernández, M., Ruiz, M., Benavente, E., & Giraldo, P. (2021). Exploring the end-use quality potential of a collection of Spanish bread wheat landraces. Plants, 10, 620. https://doi.org/10.3390/plants10040620

MacRitchie, F. (1984) Baking quality of wheat flours. Advances in Food Research, 29, 201–277. https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60058-0

Mansfeld, R. (1951) Das morphologische System des Saatweizens, *Triticum aestivum* L. s. L. Der Züchter, 21, 41–60. https://doi.org/10.1007/BF00710527

Mansour, E., Merwad, A. M. A., Yasin, M. A. T., Abdul-Hamid, M. I. E., El-Sobky, E. E. A., & Oraby, H. F. (2017) Nitrogen use efficiency in spring wheat: Genotypic variation and grain yield response under sandy soil conditions. The Journal of Agricultural Science, 155, 1407–1423. https://doi.org/10.1017/S0021859617000600

Mares, D. (1993) Pre-harvest sprouting in wheat. I. Influence of cultivar, rainfall and temperature during grain ripening. Australian Journal of Agricultural Research, 44, 1259. https://doi.org/10.1071/AR9931259

Mayr, E. (1922) Getreidebau und Getreidesorten im salzburgischen Salzachtale. Dissertation, Hochschule für Bodenkultur Wien.

Mayr, E. (1928) Die Getreide-Landsorten und der Getreidebau im Salzachtal und seinen Nebentälern. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung. Scholle Verlag, Wien.

Mayr, E. (1934) Die Bedeutung der Alpinen Getreidesorten für die Pflanzenzüchtung und Stammesforschung mit besonderer Beschreibung der Landsorten in Nordtirol und Vorarlberg. Zeitschrift f. Pflanzenzüchtung, 19, 195–228.

Mayr, E. (1935a) Die Ausbreitung des Getreidebaues, die Anbau- und Erntezeiten und die Fruchtfolgen in Nordtirol und Vorarlberg. Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum, 15, 1-27.

Mayr, E. (1935b) Über wissenschaftliche und praktische Ergebnisse der alpinen Landsortenforschung an Getreide. Forschungen und Fortschritte, 29, 376–378.

Mayr, E. (1954) Die Getreidebauzonen, Anbau und Erntezeiten und die Fruchtfolgen in Kärnten. Veröffentlichungen des Kärnter Landesinstituts für angewandte Pflanzensoziologie in Klagenfurt, Festschrift Aichinger, II, 1255-1268.

Mayr, E. (1956a) Verzeichnis der an der Landesanstalt vorhandenen Getreide-Landsorten-Sortimente. Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck, 51, 135-139.

Mayr, E. (1956b) Die getreidebau-geographischen Zonen der westlichen Bundesländer Österreichs. In, Die Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn – Arbeiten aus ihrer 15jährigen Tätigkeit. Schlern-Schriften, 145, pp. 90–93.

Mayr, E. (1964) Verzeichnis der an der Landesanstalt für Pflanzenzucht in Rinn vorhandenen alpinen Getreidelandsorten. In R. Klebelsberg (Hrsg.), 25 Jahre Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn, pp. 100–104. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.

McFadden, E. S., & Sears, E. R. (1946) The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. Journal of Heredity, 37, 81-89. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a105590

Miedaner, T. (2014) Kulturpflanzen: Botanik - Geschichte - Perspektiven. Springer Spektrum, Berlin.

Miedaner, T., & Longin, C. F. H. (2017) Neglected cereals: From ancient grains to superfood. Erling Verlag, Clenze.

Mondal, S., Rutkoski, J. E., Velu, G., Singh, P. K., Crespo-Herrera, L. A., Guzmán, C., Bhavani, S., Lan, C., He, X., & Singh, R. P. (2016) Harnessing diversity in wheat to enhance grain yield, climate resilience, disease and insect pest resistance and nutrition through conventional and modern breeding approaches. Frontiers in Plant Science, 7, 991. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00991

Nass, H. G., & Reiser, B. (1975) Grain filling period and grain yield relationships in spring wheat. Canadian Journal of Plant Science, 55, 673–678. https://doi.org/10.4141/cjps75-107

Negri, V., & Tiranti, B. (2010) Effectiveness of *in situ* and *ex situ* conservation of crop diversity. What a *Phaseolus vulgaris* L. landrace case study can tell us. Genetica, 138, 985–998. https://doi.org/10.1007/s10709-010-9485-5

Nelson, J. H. (1985) Wheat: Its processing and utilization. The American Journal of Clinical Nutrition, 41, 1070–1076. https://doi.org/10.1093/ajcn/41.5.1070

Netzwerk Zukunftsraum Land (2018) Innovationsanalyse für die österreichische Landwirtschaft - Schwerpunkt Wertschöpfung. Agrar.Projekt.Verein, Wien.
[https://www.zukunftsraumland.at/download/1854?v=1542788727; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Neumann, M. P., & Strube, J. (1933) Weizenqualität und Kleberquellung: Wert der Methode Berliner. Der Züchter, 5, 54–61. https://doi.org/10.1007/BF01811939

Ortmann, G. (1779) Von den Vortheilen und Nachtheilen des Mischelkorns, im Verhältnis gegen den Anbau einer einzeln Getreidart, und von der vortheilhaften Weise diese Vermischung nach Verschiedenheit des Erdreichs und Klimats, anzustellen. Neue Sammlung physischökonomischer Schriften, 1, 214–256.

Osborne, T. B. (1924) The vegetable proteins. Longmans Green and Co, London.

Pammer, G., & Ranninger, R. (1928) Der rationelle Getreidebau mit besonderer Berücksichtigung der Sortenwahl in Oesterreich. Julius Springer, Wien.

Percival, J. (1921) The wheat plant; a monograph. Duckworth, London. https://doi.org/10.5962/bhl.title.17154

Perten Instruments (2015) Rapid visco analyser application and method (ver. 3.3.).

Perten Instruments (o. J.) Micro-doughlab method 01.02 general flour testing method. Perten Instruments Method Description.

Peterson, R. F. (1965) Wheat. Botany, cultivation and utilization (World Crops Books). Leonard Hill Books, New York.

Pronin, D., Börner, A., Weber, H., & Scherf, K. A. (2020) Wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding from 1891 to 2010 contributed to increasing yield and glutenin contents but decreasing protein and gliadin contents. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68, 13247–13256.
https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02815

Rathjen, J. R. (2006) Role of the seed coat in the dormancy of wheat (*Triticum aestivum*) grains. Dissertation, University of Adelaide.
[https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/bitstream/2440/57104/2/02whole.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Reinhardt, N. (2020) Warum plötzlich alle daheim Brot backen. Der Standard, 11. Mai.
[https://www.derstandard.at/story/2000117372614/warum-ploetzlich-alle-daheim-brot-backen; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Romagosa, I., Prada, D., Moralejo, M. A., Sopena, A., Muñoz, P., Casas, A. M., Swanston, J. S., & Molina-Cano, J. L. (2001) Dormancy, ABA content and sensitivity of a barley mutant to ABA application during seed

development and after ripening. Journal of Experimental Botany, 52, 1499–1506. https://doi.org/10.1093/jexbot/52.360.1499

Ruiz, M., Zambrana, E., Fite, R., Sole, A., Tenorio, J. L., & Benavente, E. (2019). Yield and Quality Performance of Traditional and Improved Bread and Durum Wheat Varieties under Two Conservation Tillage Systems. Sustainability, 11, 4522. https://doi.org/10.3390/su11174522

Sanchez-Garcia, M., Royo, C., Aparicio, N., Martín-Sánchez, J. A., & Álvaro, F. (2013). Genetic improvement of bread wheat yield and associated traits in Spain during the 20th century. The Journal of Agricultural Science, 151, 105–118. https://doi.org/10.1017/S0021859612000330

SAVE Foundation (2018a) Sommerweizen-Winterweizen. Fundus Agri-Cultura Alpina, SAVE Foundation, St. Gallen. [https://fundus-agricultura.wiki/?p=2583; abgerufen am 24. Jänner 2022]

SAVE Foundation (2018b) Zwerg- oder Binkelweizen. Fundus Agri-Cultura Alpina, Save Foundation, St. Gallen. [https://fundus-agricultura.wiki/?p=2610; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Schachl, R. (1975) Die Landweizen des westlichen Alpenvorlandes. Dissertation, Hochschule für Bodenkultur, Wien.

Schachl, R. (1988) Genetische Ressourcen der Kulturpflanzen im alpinen Raum. Die Kulturpflanze, 36, 107–119. https://doi.org/10.1007/BF01986955

Schäfer, W., & Flechsig, J. (1985) Das Getreide: Eine Waren- und Sortenkunde, 5. Aufl. Alfred Strothe Verlag, Hannover.

Schiemann, E. (1932) Entstehung der Kulturpflanzen. Borntraeger, Berlin.

Schiemann, E. (1947) Über McFadden-Sears's Theorie zur Phylogenie des Weizens. Der Züchter, 17–18, 385–391. https://doi.org/10.1007/BF00706960

Schilperoord, P. (2004) Ackerbau gehört zur Berglandwirtschaft. Verein für alpine Kulturpflanzen, Alvaneu. Ursprünglich erschienen im Bündner Bauer, Fachzeitschrift des Bündner Bauernverband, Cazis. [http://www.berggetreide.ch/Archiv/BerggetreideBuendnerBaueranuar04.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Schilperoord, P. (2014) Erfahrungen im Bergackerbau, 6. Aufl. Genossenschaft Gran Alpin, Surava. [https://docplayer.org/22945955-Erfahrungen-im-bergackerbau-2014.html; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Schilperoord, P. (2017) Kulturpflanzen in der Schweiz - Weizen. Verein für alpine Kulturpflanzen, Alvaneu. https://doi.org/10.22014/978-3-9524176-2-1.1

Schilperoord, P., & Heistinger, A. (2011) Kulturpflanzen der Schweiz, Süd- und Nordtirol. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4754.1844

Schmieder, W., & Zabel, S. (1965) Die praktische Auswertung des Sedimentationstestes nach Zeleny zur Qualitätseinstufung von Weizen. Food / Nahrung, 9, 715–720. https://doi.org/10.1002/food.19650090704

Sestili, F., Janni, M., Doherty, A., Botticella, E., D'Ovidio, R., Masci, S., Jones, H. D., & Lafiandra, D. (2010) Increasing the amylose content of durum wheat through silencing of the SBEIIa genes. BMC Plant Biology, 10, 144. https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-144

Sharma, R. C. (1994) Early generation selection for grain-filling period in wheat. Crop Science, 34, 945–948. https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040020x

Shewry, P. R., & Hey, S. J. (2015) The contribution of wheat to human diet and health. Food and Energy Security, 4, 178-202. https://doi.org/10.1002/fes3.64

Shewry, P. R., Halford, N. G., & Lafiandra, D. (2003) Genetics of wheat gluten proteins. Advances in Genetics, 49, 111–184. Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0065-2660(03)01003-4

Shewry, P. R., Hassall, K. L., Grausgruber, H., Andersson, A. A. M., Lampi, A. -M., Piironen, V., Rakszegi, M., Ward, J. L., & Lovegrove, A. (2020) Do modern types of wheat have lower quality for human health? Nutrition Bulletin, 45, 362–373. https://doi.org/10.1111/nbu.12461

Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.-J., Duveiller, E., Reynolds, M., & Muricho, G. (2013) Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. Food Security, 5, 291–317. https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y

Singh, H., & MacRitchie, F. (2001) Application of polymer science to properties of gluten. Journal of Cereal Science, 33, 231–243. https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0360

Slatkin, M. (1987) Gene flow and the geographic structure of natural populations. Science, 236, 787–792. https://doi.org/10.1126/science.3576198

Spiertz, J. H. J., ten Hag, B. A., & Kupers, L. J. P. (1971) Relation between green area duration and grain yield in some varieties of spring wheat. Netherlands Journal of Agricultural Science, 19, 211–222. https://doi.org/10.18174/njas.v19i4.17302

Tessmann, E. W., & Van Sanford, D. A. (2019). Associations between morphological and FHB traits in a soft red winter wheat population. Euphytica, 215, 189. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2509-z

Thorne, G. N. (1965) Photosynthesis of ears and flag leaves of wheat and barley. Annals of Botany, 29, 317–329. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083954

Tiroler Umweltanwaltschaft (2020) Alte Tiroler Getreidesorten. Land Tirol, Innsbruck. [https://www.tiroler-umweltanwaltschaft.gv.at/fileadmin/userdaten/dokumente/Naturschutz/Naturprojekte/Getreidesorten/18_Getreidefolder.pdf; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Tobler, M. (2016) Agronomische und qualitative Eigenschaften von Roggen- und Dinkellandsorten unter inneralpinen Anbaubedingungen. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien. [https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=13002&property_id=107&role_id=NONE; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Torbica, A., Antov, M., Mastilović, J., & Knežević, D. (2007) The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Food Research International, 40, 1038–1045. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.05.009

Torbica, A., Mocko Blažek, K., Belović, M., & Janić Hajnal, E. (2019) Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology. Journal of Cereal Science, 89, 102812. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102812

Van Waes, J. (2006) Evaluation of lodging. In: Donner, D. & Osman, A. (eds.), Handbook cereal variety testing for organic low input agriculture, L1–L10. Louis Bolk Institute, Driebergen. [https://edepot.wur.nl/116544; abgerufen am 24. Jänner 2022]

VERORDNUNG (EU) 2018/848 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates, Pub. L. No. 32018R0848 (2018). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0848&qid=1605958571280; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Waines, J. G., & Hedge, S. G. (2003) Intraspecific gene flow in bread wheat as affected by reproductive biology and pollination ecology of wheat flowers. Crop Science, 43, 451-463. https://doi.org/10.2135/cropsci2003.4510

Wieser, H. (2007) Chemistry of gluten proteins. Food Microbiology, 24, 115–119. https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004

Willenborg, C. J., & Van Acker, R. C. (2008) The biology and ecology of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) and its implications for trait confinement. Canadian Journal of Plant Science, 88, 997-1013. https://doi.org/10.4141/CJPS07144

Winkler, E. (1970) Erwin Mayr † (1899-1969). Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Verein Innsbruck, 58, 519–523.

Witzenberger, A., Boom, T. van den, & Hack, H. (1989) Erlaeuterungen zum BBCH-Dezimal-Code fuer die Entwicklungsstadien des Getreides - Mit Abbildungen. Gesunde-Pflanzen, 41, 384–388.

Wöckl, S. (2019) Backversuche mit Einkorn. Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

Wrigley, C. W. (1996) Giant proteins with flour power. Nature, 381, 738–739. https://doi.org/10.1038/381738a0

Würschum, T., Langer, S. M., & Longin, C. F. H. (2015). Genetic control of plant height in European winter wheat cultivars. Theoretical and Applied Genetics, 128, 865–874. https://doi.org/10.1007/s00122-015-2476-2

Xi, K., Kumar, K., Holtz, M. D., Turkington, T. K., & Chapman, B. (2015). Understanding the development and management of stripe rust in central Alberta. Canadian Journal of Plant Pathology, 37, 21–39. https://doi.org/10.1080/07060661.2014.981215

Youssefian, S., Kirby, E. J. M., & Gale, M. D. (1992) Pleiotropic effects of the GA-insensitive *Rht* dwarfing genes in wheat. 2. Effects on leaf, stem, ear and floret growth. Field Crops Research, 28, 191-210. https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90040-G

ZAMG (2012) Klimamittelwerte 1981-2010. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. [https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel; abgerufen am 24. Jänner 2022]

Zeng, M., Morris, C. F., Batey, I. L., & Wrigley, C. W. (1997) Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. Cereal Chemistry, 74, 63–71. https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.1.63

Zeven, A. C. (1998) Landraces: A review of definitions and classifications. Euphytica, 104, 127–139. https://doi.org/10.1023/A:1018683119237

Zeven, A. C. (1999) The traditional inexplicable replacement of seed and seed ware of landraces and cultivars: A review. Euphytica, 110, 181–191. https://doi.org/10.1023/A:1003701529155

Zohary, D., & Hopf, M. (2000) Domestication of plants in the old world: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley (3rd ed). Oxford University Press.

Abkürzungsverzeichnis

µm	Mikrometer = 10^{-6} m
BH	Bischofshofen
BVH	Höhe Brotlaib
BVOL	Brotvolumen
BVUMF	Umfang Brotlaibe waagrecht gemessen
cm	Zentimeter
cP	Zenti-Pascal
dt	Dezitonne = 100 kg
DTAE	Datum Ährenschieben
DTGR	Datum Gelbreife
ebd.	ebenda, in der letztgenannten Publikation
EXA	Teigenergie bis EXE
EXA1	Teigenergie bis EXE1 Mikro-Extensogramm
EXE	Dehnung bei Kraft = 0 g
EXE1	Dehnbarkeit
EXKEZ	Kurzextensogrammzahl
EXRMAX	maximaler Dehnwiderstand R_m
EXRZ	Relationszahl
FE	Farinogrammeinheiten
g	Gramm
GEN	Genotyp
ha	Hektar
hL	Hektoliter
HLW	Hektolitergewicht
kg	Kilogramm
KORNF	Dauer Kornfüllung
LLSD	Abstand Ansatz Fahnenblatt zur Ähre
LOC	Ort
m	Meter
m²	Quadratmeter
MD_LSTAB	Teigstabilität
MDL_DDT	Teigentwicklungszeit
MDL_SOFT	Teigerweichung
MDL_WA	Wasseraufnahme DoughLab
mind.	Mindestens
Mio.	Millionen
mm	Milimeter
mNm	Mili-Newtonmeter
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
NIRSGLUT	Glutengehalt Nahinfrarotspektroskopie
NIRSPROT	Proteingehalt Nahinfrarotspektroskopie

NÖ	Niederösterreich
o.J.	ohne Jahr
P	Signifikanzwert (p-Wert)
PROTYLD	Proteinertrag pro Hektar
r	Korrelationskoeffizient
R_m	maximaler Dehnwiderstand
RVA	Rapid Visco Analyzer Fa. Perten Instruments
RVABREAKDOWN	Abbau-Viskosität
RVAFINVISC	Endviskosität
RVAPEAK	Viskositätsmaximum
RVAPEAKTIME	Zeit bis RVAPEAK
RVARZ	Relationszahl
S	Land Salzburg
spp.	Art
subsp.	Unterart
t ha^{-1}	Tonnen pro Hektar
T	Land Tirol
t	Tonne = 1000 kg
T.	*Triticum*
TF	Trautenfels
TKM	Tausendkornmasse
v.Chr.	vor Christus
var.	Varietät
vgl.	vergleiche
WHOE	Wuchshöhe
YLDDT	Kornertrag gereinigt in dt

Abbildungsverzeichnis

Seite ii	Eigenes Bild
Abb. 1	In: Miedaner, T. (2014) Kulturpflanzen: Botanik - Geschichte - Perspektiven. Springer Spektrum, Berlin.
Abb. 2	Steiner, D., Amt für Archäologie Thurgau; in: Schilperoord, P. (2017) Kulturpflanzen in der Schweiz - Weizen. Verein für alpine Kulturpflanzen, Alvaneu. https://doi.org/10.22014/978-3-9524176-2-1.1
Abb. 3	Berghoff, W., Bonn; in: Lobitz, R. (2019) Längsschnitt durch ein Getreidekorn. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn. https://www.ble-medienservice.de/6207/laengsschnitt-durch-ein-getreidekorn
Abb. 4 a–d	Eigene Bilder/Abbildungen
Abb. 5	Veränderter Ausschnitt aus einer Abbildung in: Mayr, E. (1956) Die getreidebau-geographischen Zonen der westlichen Bundesländer Österreichs. In: Die Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn – Arbeiten aus ihrer 15 jährigen Tätigkeit. Schlern-Schriften 145, 90–93.
Abb. 6 a–c	Eigene Bilder
Abb. 7 a	In: Fegg, T. (2012) Untersuchungen zur Populationsstruktur von Sommerweizen-Landsorten anhand der „Alpinen Landsortensammlung“. Bachelorarbeit, Technische Universität München, Freising.
Abb. 7 b	AGES (2015) Seltene Landwirtschaftliche Kulturpflanzen, SLK-Sortenliste/Sortenbeschreibungen, A) Getreide, Hirse und Mais, Sommerweizen (*Triticum aestivum*), Tiroler Mittelfrüher Binkel. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Wien [https://slk.ages.at/fileadmin/eventpages/slk2011/daten/Beschreibungen_PDF/Tiroler_Mittelfrüher_Binkel_2015.pdf]
Abb. 8	Eigene Abbildung
Abb. 9	Eigene Abbildung
Abb. 10	Modifiziert nach van Waes, J. (2006) Evaluation of lodging. In: Donner, D. & Osman, A. (eds.), Handbook cereal variety testing for organic low input agriculture, L1–L10. Louis Bolk Institute, Driebergen.
Abb.11	BAES (2015) Richtlinien für die Sortenwertprüfung, Methoden für Saatgut und Sorten gemäß § 5 Saatgutgesetz 1997 BGBl. I Nr. 72/1997 idgF. Republik Österreich. Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES), Wien.
Abb.12	Eigene Bilder
Abb. 13	Eigene Abbildung
Abb. 14	Eigene Bilder
Abb. 15	Eigene Bilder
Abb. 16	Eigene Abbildung
Abb. 17	Eigenes Bild
Abb. 18	Eigene Abbildung
Abb. 19	Eigene Abbildung
Abb. 20	Eigene Abbildung
Abb. 21	Eigene Abbildung
Abb. 22 a–c	Eigene Bilder