Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

DaFNE

Entwicklung von standfestem und klimaangepasstem Roggen – ein Beitrag zur nachhaltigen Getreideproduktion in marginalen Umwelten: Endbericht

SusCrop – ERA-NET
Cofund on Sustainable Crop Production
FACCEJPI

RYE8SUS

Saatzucht EDELHOF

BOKU

IPZ
Institut für Pflanzenzüchtung

Entwicklung von standfestem und klimaangepasstem Roggen – ein Beitrag zur nachhaltigen Getreideproduktion in marginalen Umwelten: Endbericht

Wien, 2022

Impressum

Projektnehmer/in: Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Adresse: Konrad-Lorenz-Str. 24, 3430 Tulln an der Donau
Projektleiter/in: Heinrich Grausgruber
Tel.: +43 1 47654 957 11
E-Mail: heinrich.grausgruber@boku.ac.at
Projektmitarbeiter/in: Stefan Kutschka
Tel.: +43 1 47654 957 20
E-Mail: stefan.kutschka@boku.ac.at
Kooperationspartner/in: Saatzucht LFS Edelhof
Finanzierungsstellen: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
Projektlaufzeit: 9. Oktober 2019 – 31. Oktober 2022
1. Auflage

Alle Rechte vorbehalten.
Wien, 2022. Stand: 31. Oktober 2022

Inhalt

Einleitung **6**

Arbeitspaket 1: Koordination, Kommunikation und Dissemination **7**

Meilenstein 1: Kick-Off-Meeting 7

Meilenstein 2: Kommunikationsplan und Website 8

Meilenstein 3: Workshop über Marker-gestützte Selektion und Hybridzüchtung 8

Meilenstein 4: Workshop über Roggenqualität 8

Meilenstein 5: Workshop über Winterhärte 9

Meilenstein 6: Sommerschule über Hybridroggenzüchtung 9

Meilenstein 7: Züchtertagung in Raumberg-Gumpenstein 9

Meilenstein 8: Grüne Woche in Berlin 10

Meilenstein 9: Abschlussmeeting in Polen 10

Arbeitspaket 2: Entwicklung von Halbzwerg-Roggenhybride **12**

Meilenstein 10: Anlage der Hybridsaatgutproduktion 12

Meilenstein 11: Produktion des Hybridsaatgutes 12

Arbeitspaket 3: Feld-Phänotypisierung **14**

Meilenstein 12: Anlage der Feldversuche 14

Meilenstein 13: Evaluierung am Feld 16

Meilenstein 14: Datenanalyse 16

- Kornertrag 16
- Ertragskomponenten 22

Arbeitspaket 4: Lebensmittelsicherheit **23**

Meilenstein 15: Qualitätsparameter 23

- Hektolitergewicht 23
- Fallzahl 25
- Protein- und Stärkegehalt 26
- Pentosangehalt und Viskosität 26
- Mutterkorn 29

Arbeitspaket 5: Wachstumsmodelle 31

Meilenstein 16: Kalibration eines Wachstumsmodells für Roggen 31

Meilenstein 17: Validierung des Wachstumsmodells mit Daten aus Arbeitspaket 3 31

Meilenstein 18: Erfolgreiche Testung des dynamischen Modules für relevante Pflanzenmerkmale.....32

Arbeitspaket 6: Genombasierte Züchtung auf Frosttoleranz 33

Meilenstein 19: Phänotypisierung 1. Jahr und Genotypisierung 33

Meilenstein 20: Phänotypisierung 2. Jahr 33

Zusammenfassung 35

Tabellenverzeichnis.....37

Abbildungsverzeichnis.....38

Literaturverzeichnis.....39

Abkürzungen.....44

Einleitung

RYE-SUS ist ein Verbund von elf europäischen und kanadischen Forschungsinstitutionen beziehungsweise Pflanzenzuchtunternehmen im Rahmen von SusCrop, einer ERA NET Cofund Action unter H2020, mit dem Ziel einer nachhaltigen Pflanzenproduktion. Im Fokus von RYE-SUS steht der Roggen, dessen Anbau als Brotgetreide in Österreich und den anderen beteiligten Ländern eine lange Tradition hat und der züchterisch auf die sich verändernden Produktionsbedingungen vorbereitet werden soll. Ein Schwerpunkt von RYE-SUS ist die Reduktion der Wuchshöhe durch die verstärkte Nutzung eines dominant vererbten Kurzstrohgenes. Dadurch soll an einen zentralen Aspekt der Grünen Revolution angeknüpft werden. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hatte die Züchtung von Halbzwergen beim Weizen zu einer enormen Ertragssteigerung geführt, unter anderem, weil kürzere Halme deutlich schwerere Ähren tragen können, ohne umzuknicken. RYE-SUS soll beim Roggen eine entsprechende Kurzstroh-Ära einleiten. In Feldversuchen wurden 48 Halbzwerg-Experimentalhybride und ihre 48 langstrohigen Geschwisterhybride an zwei unterschiedlichen österreichischen Standorten auf ihre Ertragsleistung sowie Qualitätseigenschaften geprüft. Zusätzlich wurde ein Referenzversuch mit alten Landsorten und modernen Populations- und Hybridsorten angelegt um den Zuchtfortschritt bei Roggen zu dokumentieren.

Arbeitspaket 1: Koordination, Kommunikation und Dissemination

Arbeitspaket 1 wurde von der HYBRO Saatzucht GmbH & Co. KG, Schenkenberg, Deutschland, koordiniert. Nach einem erfolgreichen Kick-Off-Meeting in Tartu, Estland, war dieser Projektteil in weiterer Folge sehr stark von den durch COVID 19 bedingten Restriktionen und Einschränkungen für Reisen und persönliche Treffen beeinflusst. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden neun Meilensteinen definiert, davon konnten vier mehr oder weniger wie geplant realisiert werden.

Meilenstein 1: Kick-Off-Meeting

Das RYE-SUS Kick-Off-Meeting fand von 2. bis 3. Juli 2019 in Tartu, Estland, statt. Das Meeting wurde vom Estonian Crop Research Institute in Jõgeva organisiert. Von österreichischer Seite nahmen Heinrich Grausgruber von der Universität für Bodenkultur Wien und Elisabeth Zechner vom Kooperationspartner Saatzucht Edelhof teil. Am ersten Tag des Treffens stellten sich die einzelnen Projektpartner mit einem Kurzvortrag vor. Des Weiteren stellte die Projektleitung die Kommunikationsstrategie vor. Zu diesem Zeitpunkt war RYE-SUS bereits auf Twitter aktiv (https://twitter.com/rye_sus?lang=de). Am zweiten Tag wurden die Aktivitäten der Arbeitspakete 2 bis 6 besprochen. Dabei wurde vor allem auf die Risiken der kurzen Projektlaufzeit von drei Jahren eingegangen. Entsprechend dem Projektantrag war dadurch nur ein Jahr, nämlich 2021, für die Feldversuche vorgesehen. Um die Logistik des Saatgutversandes an die beteiligten Projektpartner vorher zu testen, wurde beschlossen bereits im Jahr 2020 einen Referenzversuch mit 24 Roggensorten im Rahmen von Arbeitspaket 3 durchzuführen. Die Saatzucht Edelhof erklärte sich bereit dafür zwei österreichische Sorten, nämlich Elias und Elego, bereitzustellen. Von österreichischer Seite wurde zudem die Erhaltungssorte Lungauer Tauernroggen vorgeschlagen um den Zuchtfortschritt zwischen alten und modernen Sorten zu demonstrieren. Am Nachmittag des zweiten Tages erfolgte eine Besichtigung des Estonian Crop Research Institutes in Jõgeva. Neben den Räumlichkeiten wurden vor allem die Feldversuche besichtigt. Dabei konnten auch Bestände der beiden Edelhofer Sorten Elias und Elego besichtigt werden.

Meilenstein 2: Kommunikationsplan und Website

Die RYE-SUS Website (https://www.rye-sus.eu) ging im März 2020 online. Das Kommunikationsdesign (Logo, Präsentationsvorlagen, Infografiken) wurde kurz zuvor im Dezember 2019 fertiggestellt. Im September 2019 wurde RYE-SUS mittels Pressemeldung bekanntgemacht. Die Pressemeldung wurde in Deutsch, Estnisch, Finnisch und Polnisch verfasst. Im Jahr 2019 wurde das Projekt auch bei verschiedenen Veranstaltungen der Öffentlichkeit vorgestellt. Im September beim SUSCROP Kick-Off-Meeting in Ghent, Belgien, und der 62. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften in Berlin (Feike et al., 2019), sowie im November bei der Jahrestagung der Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation (GFPi) in Bonn. In Österreich erfolgte die Vorstellung des Projektes am 23. Oktober 2019 im Rahmen eines Absolvententreffens der Landwirtschaftlichen Fachschule Edelhof.

Meilenstein 3: Workshop über Marker-gestützte Selektion und Hybridzüchtung

Dieser Workshop war von 23. bis 25. März 2020 in Forssa, Finnland, geplant und wurde von den Projektpartnern Natural Resources Institute Finland (LUKE) und Boreal Plant Breeding organisiert. Aufgrund der damals sehr hohen aktuellen COVID-19 Sieben-Tage-Inzidenz in Österreich erlaubte Finnland keine Einreise aus Österreich. Kurzfristig wurde der ganze Workshop abgesagt. Den österreichischen Teilnehmern Heinrich Grausgruber (BOKU) und Elisabeth Zechner (Saatzucht Edelhof) wurden alle bereits entstandenen Kosten für Flug, Hotel und Mietauto vollständig zurückerstattet.

Meilenstein 4: Workshop über Roggenqualität

Der Workshop über die Kornqualität von Roggen war für Oktober 2020 in Kanada geplant. Dieser Workshop musste ebenfalls wegen der COVID-19 Einschränkungen hinsichtlich der Einreise aus Europa nach Kanada beziehungsweise des damaligen Verbotes von Tagungen mit persönlicher Anwesenheit an der Universität von Saskatchewan abgesagt werden. Stattdessen fand ein Projektmeeting online statt ohne jedoch die ursprünglich vorgesehenen Workshop-Inhalte abzuhandeln da diese online schwer zu realisieren gewesen wären.

Meilenstein 5: Workshop über Winterhärte

Auch der für Februar 2021 geplante Workshop über Winterhärte in Norwegen musste COVID-19 bedingt abgesagt werden. Eine Einführung in das vom norwegischen Partner entwickelte Prognosemodel FROSTOL und dessen Adaptierung von Weizen auf Roggen konnte somit nicht wie geplant stattfinden. In einem Projekt-Online-Meeting im April 2021 wurden aber die Arbeiten zur Frosttoleranz bei Roggen der Universität Sasketchewan vorgestellt. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten konnten mittlerweile publiziert werden und sind somit für alle Projektpartner verfügbar (Båga et al., 2022).

Meilenstein 6: Sommerschule über Hybridroggenzüchtung

Die für Juni 2021 geplante Sommerschule zur Hybridzüchtung bei Roggen sollte auf den Versuchsflächen der HYBRO Saatzucht in Kleptow stattfinden. Unsicherheiten während der Planung, sowohl seitens des Veranstalters als auch der Teilnehmer, ob die damals rigide Eindämmungsverordnung des Landes Brandenburg hinsichtlich COVID-19 rechtzeitig aufgehoben wird, führten zu einer Absage der Sommerschule. Anstatt der Sommerschule erfolgte eine Teilnahme zahlreicher Projektpartner am Internationalen Symposium über Roggenzüchtung und Genetik, welches von 21. bis 23. Juni 2021 als Online-Tagung von der Europäischen Gesellschaft für Züchtungsforschung veranstaltet wurde. Von österreichischer Seite waren Heinrich Grausgruber (BOKU) und Franz Wieser (Saatzucht Edelhof) anwesend. Im Rahmen des Symposiums wurden drei Präsentation mit Bezug zum Projekt RYE-SUS gegeben (Hackauf, 2021; Riedesel et al., 2021; Shawon et al., 2021).

Meilenstein 7: Züchtertagung in Raumberg-Gumpenstein

Den mitteleuropäischen Pflanzenzüchtern wurde RYE-SUS erstmalig am 27. November 2019 im Rahmen der 70. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs in Raumberg-Gumpenstein vorgestellt (Hackauf et al., 2020). Die 72. Jahrestagung 2021 musste kurzfristig, auf Bitte des Bezirkshauptmanns von Liezen wegen der stark steigenden COVID-19 Sieben-Tage-Inzidenz im Bezirk, von einer Präsenzveranstaltung auf eine Online-Tagung umgestellt werden. Damit war auch dieses Projekttreffen nur sehr eingeschränkt interaktiv und es gab keine spezifische RYE-SUS Präsentation. Brigitte Gruber, die ihre Masterarbeit kurz vorher abgeschlossen hatte, bekam seitens ihres neuen Arbeitgebers keine Dienstfreistellung für die Tagung und konnte daher ihre Arbeit nicht präsentieren. Frau Gruber hatte ihre Masterarbeit aber bereits im April 2021 im Rahmen des

online Projektmeetings präsentiert und endgültig im Dezember 2021 mit ihrer Defensio abgeschlossen (Gruber, 2021). Die Masterarbeit von Jordan Lebesmühlbacher zur Mykorrhizierung bei Roggen wurde bei der von 30. bis 31. Mai 2022 in Graz stattgefundenen 76. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA) vorgestellt (Lebesmühlbacher et al., 2022). Weiters wird Herr Lebesmühlbacher seine finalen Ergebnisse bei der kommenden 73. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, die von 21. bis 23. November 2022 in Raumberg-Gumpenstein stattfinden wird, präsentieren. Bei dieser Tagung wird auch die Masterarbeit von Christiane Mayr zu den Qualitätsuntersuchungen des Referenzversuches und der Experimentalhybride mittels Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie und rheologischen Viskositätsmessungen präsentiert werden.

Meilenstein 8: Grüne Woche in Berlin

Die für 21. bis 30. Jänner 2022 geplante Internationale Grüne Woche in Berlin wurde bereits im November 2021 wegen der vierten Corona-Welle abgesagt. Die Präsentation des Projektes seitens des Julius-Kühn-Institutes als Aussteller konnte somit nicht stattfinden. In Österreich wurde das Projekt RYE-SUS im Jahr 2019 im Absolventenblatt der Landwirtschaftlichen Fachschule Edelhof, sowie 2022 im Factsheet 1/2022 des Ökosozialen Forums mit dem Titel „Pfade der Kreislaufwirtschaft für ein nachhaltiges Ernährungssystem“ besprochen (https://oekosozial.at/publikationen/factsheets/factsheet-august-2022-pfade-der-kreislaufwirtschaft-fuer-ein-nachhaltiges-ernaehrungssystem/).

Meilenstein 9: Abschlussmeeting in Polen

Das Projekt-Abschlussmeeting fand von 3. bis 5. Juli 2022 in Poznan, Polen, statt. Es wurde vom polnischen Projektpartner Danko Hodowla Roslin organisiert. Von österreichischer Seite nahm nur Heinrich Grausgruber (BOKU) am Treffen teil. Die Kollegen von der Saatzucht Edelhof waren zu diesem Termin verhindert. Das Meeting diente vor allem der Vorbereitung des internationalen Abschlussberichtes. Die Fortschritte und erreichten Ziele der einzelnen Arbeitspakete wurden präsentiert und diskutiert. Heinrich Grausgruber präsentierte die Ergebnisse des zweijährigen Referenzversuches, Bernd Hackauf vom Julius-Kühn-Institut die Ergebnisse des Versuches mit den Halbzwerg-Experimentalhybriden. Eine intensive Diskussion folgte bezüglich der Reduktion von Assimilationsfläche durch den kürzeren Halm der Halbzwerg-Hybriden. Auch hinsichtlich der indirekten Selektion auf niedrigen Pentosangehalt über die Korngröße war die Meinung geteilt. Am Nachmittag des 4. Juli folgten Präsentationen

zum aktuellen Stand beim für Roggen angepassten Wachstummodells durch Ashifur Shawon und Til Feike vom Julius-Kühn-Institut, sowie zur Frostresistenz von Monica Båga und Ravindra Chibbar von der Unversität von Sasketchewan. Lorenz Kottmann vom Julius-Kühn-Institut präsentierte seine Ergebnisse zu den Wurzeluntersuchungen mittels Videoschaltung. Der zweite Tag des Projekttreffens war einem Besuch bei Danko in Choryn gewidmet. Der polnische Partner stellte zuerst den Betrieb und dessen Geschichte vor. Stolz wurde die Bedeutung von Danko in der Triticale-Züchtung hervorgehoben. Professor Tadeusz Wolski gelang mit Lasko die erste kommerziell erfolgreiche Triticale-Sorte die in der Folge im Stammbaum vieler weltweit erfolgreicher Neuzüchtungen enthalten war. Danach ging es zur Besichtigung der Feldversuche. Es wurden kurz die Zuchtprogramme bei den einzelnen Kulturarten präsentiert bevor eine intensivere Besichtigung des Roggenzuchtprogramms anstand. Auch das Hybridroggenprogramm wurde am Feld besichtigt und es ergab sich eine lebhafte Diskussion über die unterschiedlichen Strategien und Vorgangsweisen zwischen den beiden Firmen Danko und HYBRO. Bernd Hackauf betonte die auf Grund neuester molekularbiologischer Untersuchungen bestätigte Besonderheit des polnischen beziehungsweise osteuropäischen Genpools als heterotische Gruppe zu den beiden deutschen Genpools Carsten und Petkus.

Arbeitspaket 2: Entwicklung von Halbzwerg-Roggenhybride

Meilenstein 10: Anlage der Hybridsaatgutproduktion

Die Herstellung der Halbzwerg-Testhybride und deren langstrohigen Geschwisterlinien erfolgte ausschließlich durch den deutschen Partner HYBRO Saatzucht. In Summe wurden 48 Kurz- und 48 Langstroh-Hybride unter Nutzung des Pampa-Cytoplasmas hergestellt. Als Samenelter kamen drei verschiedene männlich sterile Inzuchtlinien zum Einsatz, sowohl in der Kurz- als auch der Langstroh-Variante. Als Pollenelter wurden in Summe 16 verschiedene Genotypen verwendet. Dabei handelte es sich unter anderem um vier Linien mit dem QTL *Qgyd-2R* für Kornertrag. Die Pollenelter-Linien wurden zudem mittels Marker-gestützter Selektion auf die Anwesenheit der Restorergene *Rfp1*, *Rfp2* und *Rfp4* vorselektiert. Die Versuchsanlage wurde im September 2019 auf den Flächen der Firma HYBRO Saatzucht in Kleptow angelegt.

Meilenstein 11: Produktion des Hybridsaatgutes

Das Saatgut für die 192 Versuchseinheiten (96 Genotypen in zwei Wiederholungen) wurde im August 2020 geerntet und von der HYBRO Saatzucht fertig abgepackt und im September 2020 inklusive Versuchsplan an die beiden österreichischen Projektpartner ausgeliefert.

Vom Julius-Kühn-Institut wurden im September 2020 Hybridkörner von Kreuzungen einer kurzstrohigen Inzuchtlinie mit den Populationssorten Elias, Elego und SU Popidol sowohl der BOKU als auch der Saatzucht Edelhof zur Verfügung gestellt. Daraus aufgewachsene kurzstrohige F_1-Pflanzen wurden im Frühling 2021 an der Saatzucht Edelhof mit den Sorten Elias, Elego und Amilo zurückgekreuzt. An der BOKU erfolgte eine Rückkreuzung mit verschiedenen Selektionen eines Purpurroggens. Dieser Typ zeigt auf Grund einer Anthocyanfärbung in der Samenschale eine violette Kornfarbe. Das Ausgangsmaterial dafür wurde ursprünglich aus einer iranischen Landsorte namens Moghan selektiert. In weiterer Folge entstanden auch Abkömmlinge mit violetter Kornfarbe durch Kreuzung von Moghan mit Hellvus und Helltop, zwei hellkörnigen Hybridroggensorten. Diese Kreuzungsnachkommen wurden ebenfalls für die Rückkreuzungen mit den kurzstrohigen F_1-Pflanzen verwendet. Im Jahr 2022 wurden die Nachkommen der Rückkreuzungen einerseits auf Selbstfertilität durch Eintüten einzelner Ähren geprüft, andererseits wurden kurzstrohige Pflanzen für weitere

Rückkreuzungen verwendet. Im Oktober 2022 wurden die Körner der Rückkreuzungen für die weitere Bearbeitung in den Folgejahren von beiden österreichischen Projektpartnern am Feld ausgesät.

Kreuzungen zwischen Purpurroggen-Linien und Roggen-Kurzstroh-Linien im Kalthaus der Universität für Bodenkultur, Campus Tulln, sowie Kornansatz bei Purpurroggen-Samenelter. Quelle: © Heinrich Grausgruber

Arbeitspaket 3: Feld-Phänotypisierung

Dieses Arbeitspaket beschäftigte sich mit der Evaluierung des Referenzversuches sowie der Experimentalhybride in Feldversuchen und wurde von der Universität für Bodenkultur Wien koordiniert. Der Referenzversuch (V31) wurde auf Basis intensiver Diskussion beim Kick-Off-Meeting im Juli 2019 angelegt um die Logistik innerhalb der Projektkonsortiums zu testen. Nach der Ernte 2020 stimmten alle Projektpartner zu, diesen Versuch ein weiteres Jahr, parallel zu der Prüfung der 96 Experimentalhybride (V32), weiterzuführen.

Meilenstein 12: Anlage der Feldversuche

Der Referenzversuch V31 bestand aus 24 Prüfgliedern die einen Züchtungszeitraum von 142 Jahren (1876-2018) repräsentieren (Tabelle 1). In Österreich wurde dieser Versuch im Jahr 2019 am 30. September sowohl auf der konventionell, als auch auf der biologisch bewirtschafteten Fläche der BOKU-Versuchswirtschaft in Raasdorf gesät, sowie am 18. Oktober auf den Versuchsflächen der Saatzucht Edelhof in Zwettl. Im Jahr 2020 wurde V31 in Edelhof am 20. Oktober und in Raasdorf am 28. Oktober gesät. In Summe wurden somit für V31 Daten in sechs verschiedenen Umwelten (= Standort × Jahr × Management Kombination) generiert. Im Gegensatz dazu wurde V32 nur im Jahr 2020 an den gleichen Tagen wie V31 ausgesät. Auf Grund der eingeschränkten Menge an verfügbarem Saatgut konnte dieser Versuch in Raasdorf nur auf der biologisch bewirtschafteten Versuchsfläche gesät werden. Für V32 wurden im Vegetationsjahr 2020/2021 somit nur in zwei österreichischen Umwelten Daten generiert.

Der V31 am Edelhof wurde im Frühjahr 2020 mit insgesamt 95 kg/ha Stickstoff gedüngt, wobei die erste Gabe am 10. März mit 54 kg/ha und die zweite Gabe am 28. April mit 41 kg/ha erfolgte. Eine Unkrautbekämpfung erfolgte am 7. April mit den Produkten Broadway, Atlantis® OD und Pixxaro EC. Im Jahr 2021 erfolgte die Beikrautregulierung am 12. April mit denselben Produkten, die Düngung war mit 81 kg/ha Stickstoff niedriger als 2020. Die erste Stickstoffgabe erfolgte am 20. März mit 54 kg/ha, die zweite am 20. April mit 27 kg/ha. In Raasdorf erfolgte in beiden Jahren nur eine einfache Stickstoffgabe von 54 kg/ha jeweils Mitte April. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte auch die Beikrautregulierung mit Express SX. Der Bioversuch wurde Mitte bis Ende April gestriegelt.

Tabelle 1 Beschreibung der im Referenzversuch involvierten Roggensorten

Sortenname / (Abkürzung)	Zulassung	Herkunft	Züchter
Sangaste (SAN)	1876	Estland	Graf F.G.M. von Berg
Norddeutscher Champagnerroggen (NCH)	1898	Deutschland	Adolf Jäger
Lungauer Tauernroggen (TAU)	1924	Österreich	Lungauer Saatzuchtverein
Vambo (VAM)	1973	Estland	Eesti Taimekasvatuse Institut
H3	(1983)	Estland	Eesti Taimekasvatuse Institut
H6	(1983)	Estland	Eesti Taimekasvatuse Institut
Tulvi (TUL)	1986	Estland	Eesti Taimekasvatuse Institut
Elvi (ELV)	1993	Estland	Eesti Taimekasvatuse Institut
AC Rifle (ACR)	1994	Kanada	Agriculture & Agri-Food Canada
Dankowskie Diament (DMT)	2005	Polen	Danko Hodowla Roslin
Hazlet (HAZ)	2006	Kanada	Agriculture & Agri-Food Canada
Elego (ELG)	2009	Österreich	Saatzucht LFS Edelhof
Reetta (REE)	2009	Finnland	Boreal Kasvinjalostus Oy
SU Performer (PER)	2012	Deutschland	Hybro Saatzucht
Dankowskie Opal (OPL)	2013	Polen	Danko Hodowla Roslin
Dankowskie Rubin (RUB)	2013	Polen	Danko Hodowla Roslin
Elias (ELS)	2013	Österreich	Saatzucht LFS Edelhof
SU Forsetti (FOR)	2013	Deutschland	Hybro Saatzucht
Tur (TF1)	2013	Polen	Danko Hodowla Roslin
SU Cossani (COS)	2014	Deutschland	Hybro Saatzucht
Dankowskie Hadron (HAD)	2016	Polen	Danko Hodowla Roslin
Dankowskie Turkus (TKS)	2016	Polen	Danko Hodowla Roslin
Dankowskie Skand (SKD)	2017	Polen	Danko Hodowla Roslin
SU Popidol (POP)	2018	Deutschland	Hybro Saatzucht

Anmerkung: Bei den Sorten SU Performer, SU Forsetti, SU Cossani und Tur handelt es sich um Hybridsorten, alle anderen Sorten sind Populationen. Dankowskie Opal wurde in Polen von der Firma Danko gezüchtet, innerhalb der EU jedoch nur in Österreich zugelassen. In anderen EU-Ländern wird die Sorte über die EU-Sortenliste vermarktet. H3 und H6 sind ältere kurzstrohige Zuchtstämme welche nie als Sorte zugelassen wurden.

Meilenstein 13: Evaluierung am Feld

Die Feldversuche wurden im Laufe der Vegetationsperiode auf verschiedene Merkmale evaluiert: Entwicklungsstadium an den jeweiligen Boniturtagen, Bodenbedeckung im Frühjahr, Krankheitsbefall mit Braunrost (*Puccinia recondita*), Wuchshöhe und Lagerbonitur, sowie die Ährendichte pro Quadratmeter. Nach der Ernte der Versuchsparzellen erfolgte am Erntegut zunächst eine Bestimmung des Kornertrages, des Tausendkorn- und Hektolitergewichtes, und der Kornmorphologie (Länge, Breite, Fläche) durch digitale Bildverarbeitung (Marvitech Compact Line).

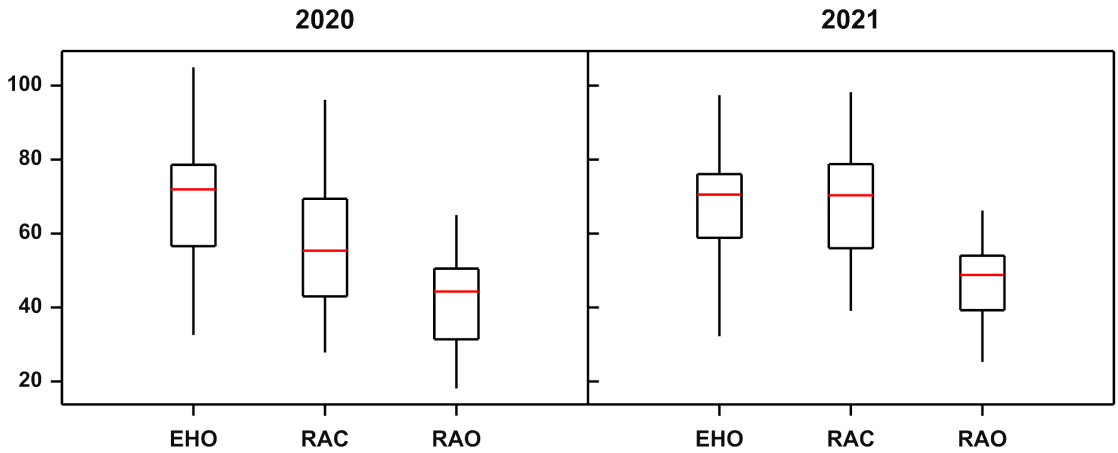
Meilenstein 14: Datenanalyse

Die erfassten Daten wurden mittels SAS® 9.4 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA) und Genstat® 22nd Ed. (VSN International, Hemel Hempstead, UK) Software statistisch verrechnet. Varianzanalysen wurden prinzipiell als gemischt lineare Modelle verrechnet in denen die Feldwiederholung (Block) und das Jahr als zufällige Faktoren, die Genotypen und die Standorte als fixe Faktoren betrachtet wurden.

Kornertrag

Der Kornertrag des Referenzversuches V31 war 2021 mit durchschnittlich 61,5 dt/ha um etwa 600 kg/ha höher als 2020. Dies ist vor allem auf den in diesem Jahr deutlich höheren Kornertrag im konventionellen Versuch in Raasdorf (RAC) zurückzuführen, während die Erträge in den beiden anderen Umwelten (Edelhof, Raasdorf biologisch) in beiden Versuchsjahren ähnlich waren (Abbildung 1). Die höheren Erträge in RAC 2021 können durch geringeres Lager bei den drei alten Landsorten (Sangaste, Norddeutscher Champagnerroggen, Lungauer Tauernroggen) und somit einem geringeren Kornverlust in dieser Umwelt erklärt werden. Der Kornertrag lag in Raasdorf im Bioversuch etwa 30% unter jenem des konventionellen Versuches und ist somit vergleichbar mit langjährigen Daten. Der durchschnittliche Minderertrag bei Bio-Roggen lag über den Zeitraum 2003 bis 2021 bei 36,9% (berechnet mit Daten aus dem Vollständigen Tabellenteil des Grünen Berichts 2022). Vergleichbare Zahlen wurden aus Estland berichtet (Järvan et al., 2018). Aus Dänemark wird eine Reduktion im Kornertrag bei biologisch kultivierten Winterroggen von 37% bis 42% nach Vorfrucht Karotte und von 21% bis 32% bei Vorfrucht Zwiebel berichtet (Thorup-Kristensen et al., 2012). Konträr dazu wird von Oljača et al. (2010) von nur geringen Ertragsreduktionen bis zu 15% von Versuchen in Serbien berichtet, allerdings war in dieser Studie das Ertragsniveau deutlich niedriger als in den zuvor erwähnten.

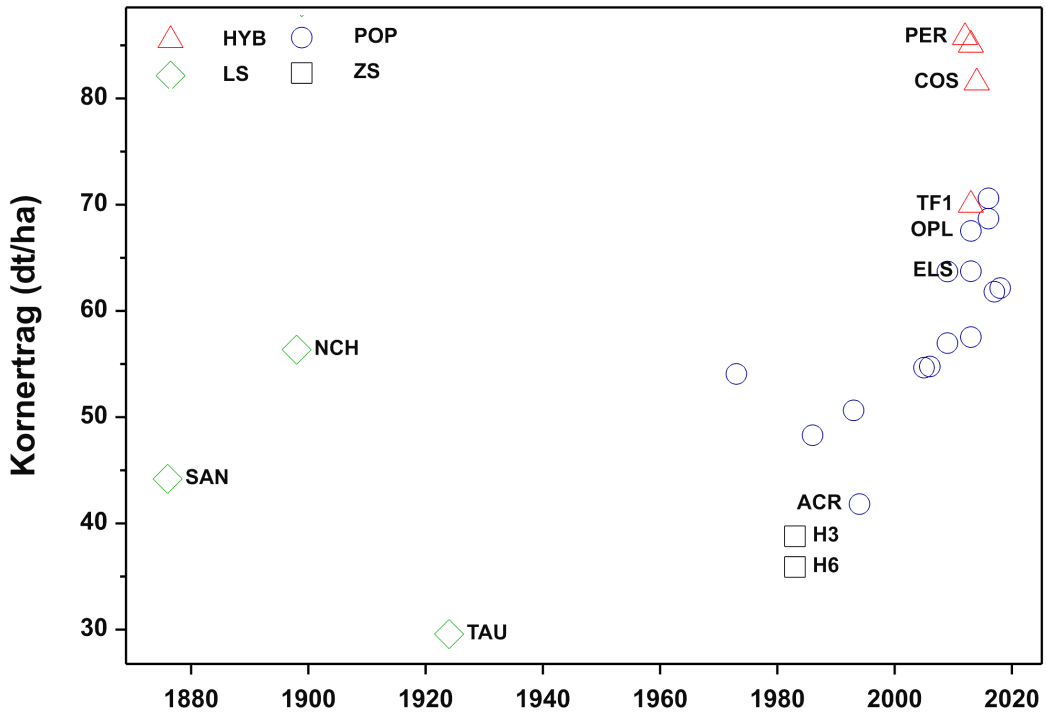
Abbildung 1 Variabilität im Kornertrag des Referenzversuches



Anmerkung: Kornertrag in Dezitonnen pro Hektar des Referenzversuches V31 in den beiden Versuchsjahren. Der Standort Edelhof (EHO) wurde konventionell bewirtschaftet, am Standort Raasdorf wurde der Versuch unter konventioneller (RAC) und biologischer (RAO) Bewirtschaftung durchgeführt.

Starkes Lager bei der Landsorte Lungauer Tauernroggen (im Vordergrund) im Vergleich zum Norddeutschen Champagnerrogen (links hinten), der Hybridsorte SU Forsetti (Mitte hinten) und der Populationssorte Dankowskie Rubin (rechts hinten). Quelle: © Heinrich Grausgruber

Abbildung 2 Kornertrag von Sorten des Referenzversuches in Abhängigkeit vom Zulassungsjahr

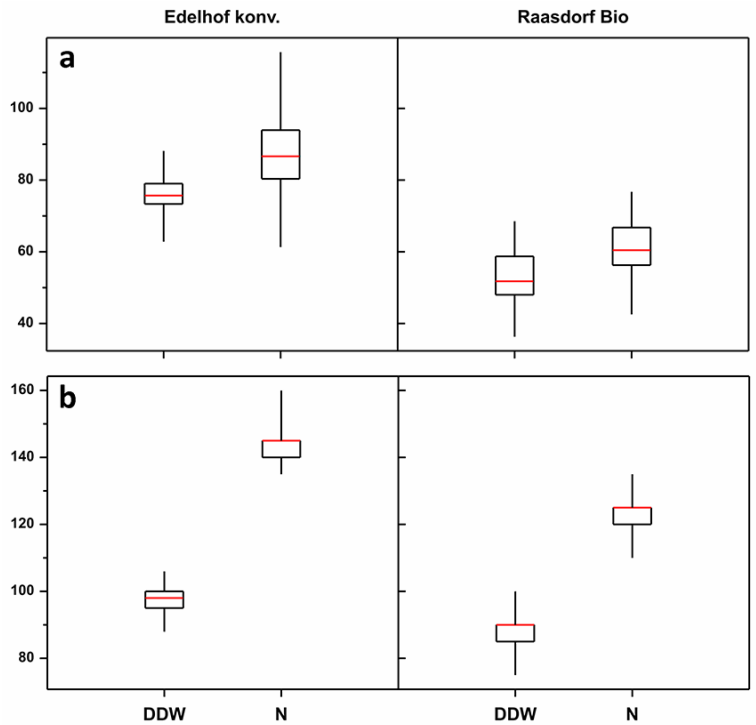


Anmerkung: Zuchtfortschritt im Kornertrag bei Roggen im Zeitraum 1876 bis 2018. Landsorten (LS) sind durch grüne Rauten, Populationssorten (POP) durch blaue Kreise, Zuchtstämme (ZS) durch schwarze Quadrate und Hybridsorten (HYB) durch rote Dreiecke markiert. Hervorgehobene Sorten sind Sangaste (SAN), Norddeutscher Champagnerroggen (NCH), Lungauer Tauernroggen (TAU), AC Rifle (ACR), Elias (ELS), Dankowskie Opal (OPL), Tur (TF1), SU Cossani (COS), SU Performer (PER), sowie die beiden Zuchtstämme H3 und H6.

Der Kornertrag an den österreichischen Standorten steht in deutlicher Abhängigkeit von einerseits dem Zulassungsjahr der Sorte, andererseits vom Sortentyp (Abbildung 2). Die Hybridsorten SU Performer, SU Forsetti und SU Cossani zeigten im Durchschnitt um 17 bis 22 dt/ha höhere Erträge als die beiden österreichischen Sorten Elego und Elias. Die Mehrleistung gegenüber der besten Populationssorte Dankowskie Hadron betrug 11 bis 16 dt/ha. Die polnische Hybridsorte Tur hingegen war nur so leistungsstark wie die besten Populationssorten. In Deutschland lag 2014 die Mehrleistung von Hybriden in der Wertprüfung bei vergleichbaren 15 dt/ha (Laidig et al., 2017). Der gleiche Wert wird für Österreich berichtet (Oberforster und Werteker, 2011). Auffallend in Abbildung 2 ist, dass einerseits bis Anfang der 1980er Jahre der Zuchtfortschritt bei den Populationssorten gering war, andererseits, dass die drei Genotypen mit deutlich kürzerer Wuchshöhe, AC Rifle und die beiden estnischen Zuchtstämme H3 und H6, sehr niedrige Erträge realisierten. Die drei Genotypen sind sicherlich nicht optimal an die österreichischen Produktionsbedingungen angepasst, aber dennoch stellt sich die Frage über eine eventuelle negative Wirkung der in diesen Genotypen verwendeten Kurzstrohgene auf den Kornertrag. Diese Frage sollte eingehend mit V32 geklärt werden.

Auch bei den Experimentalhybriden (V32) zeigten kurzstrohige Genotypen geringere Kornerträge (-10 dt/ha), wobei der Unterschied auf der ertragsschwächeren Biofläche in Raasdorf geringer ausfiel (Abbildung 3a). Der Unterschied zwischen Kurz- und Langstrohtypen war bei V32 allerdings nicht so stark ausgeprägt als bei V31. Der konventionell bewirtschaftete Versuch in Edelhof war mit im Schnitt 81,9 dt/ha deutlich produktiver als der biologisch bewirtschaftete Standort in Raasdorf im Marchfeld (56,9 dt/ha). Die Wuchshöhe war bei den Kurzstrohtypen um durchschnittlich 40 cm reduziert. Auch bei diesem Merkmal war die Differenz zwischen Kurz- und Langstrohtypen im Trockengebiet etwas geringer als im Waldviertel (Abbildung 3b). Geringere Erträge bei Kurzstrohtypen werden auf eine andere Assimilatspeicherung und ein anderes Verteilungsmuster der Assimilate bei Roggen im Vergleich zu Weizen zurückgeführt. Bei Roggen spielt der Halm als Hauptassimilationsorgan und nicht die Blätter die entscheidende Rolle und auch der Großteil der Assimilate wird im Halm gespeichert (Iwaki et al., 1976; Geiger und Miedaner, 2009). Allerdings wurden die älteren Untersuchungen alle bei langstrohigen Sorten durchgeführt. Mittlerweile konnte für Kurzstrohroggen gezeigt werden, dass in diesem Fall eine Verschiebung der Assimilatleistung zugunsten des Fahnenblatts und des zweitobersten Blattes erfolgt (Kobylyansky und Babuzhina, 2007). Auch die Ähre spielt eine deutlich größere Rolle als ursprünglich vermutet (Kobylyansky und Bubuzhina, 2007; Tambussi et al., 2007).

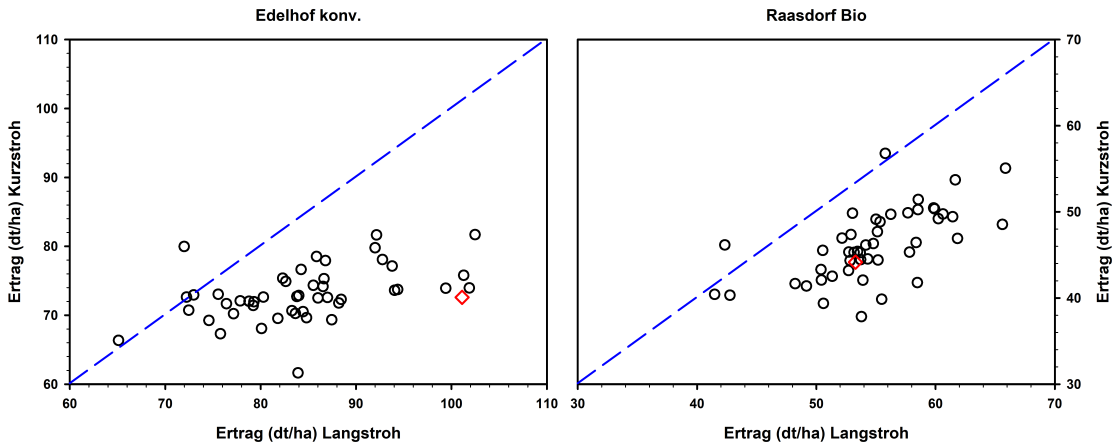
Abbildung 3 Kornertrag und Wuchshöhe von Kurz- und Langstrohhybriden



Anmerkung: Leistung von Lang- (N) und Kurzstrohhybriden (DDW) an den Standorten Edelhof und Raasdorf im Jahr 2021: (a) Kornertrag (dt/ha); (b) Wuchshöhe (cm).

Betrachtet man die Erträge der Experimentalhybride etwas detaillierter fällt auf, dass nicht für alle Geschwister-Testkreuzungen ein niedrigeres Ertragsniveau für die Kurzstrohhybride erzielt wurde (Abbildung 4). Sowohl in Edelhof als auch in Raasdorf können Testkreuzungen identifiziert werden bei denen die langstrohigen Hybride gleichwertig hohe bis leicht höhere Erträge erzielten. Am konventionellen Standort war dies allerdings nur beim niedrigsten Ertragspotential der Fall, auf der Biofläche auch bei mittlerem Ertragspotential. Zudem liegen auf der Biofläche die Werte nicht so weit von der Diagonale entfernt als am konventionellen Standort. Die Kurzstrohhybride sind somit an den weniger produktiven Standort relativ betrachtet besser adaptiert, womit eine Arbeitshypothese des Projektes bestätigt werden kann. Auffallend an den Ergebnissen ist auch, dass (i) jene Genotypen die in Abbildung 4 über der Diagonale liegen alle auf Seiten des Samenelters den Tester 1 hatten und dass (ii) die Hybridsorte SU Performer am Edelhof ertraglich an der Spitze war, während sie in Raasdorf nur im Mittelfeld zu finden war. Die genetische Konstitution von Hybridsorten ist somit für deren Adaptation an die jeweiligen Umweltbedingungen entscheidend. Im vorliegenden Material scheinen die beiden Komponenten, Samen- und Pollenelter, in den meisten Fällen nicht optimal für die beiden österreichischen Umwelten angepasst zu sein. Im internationalen Versuch hingegen, zeigten die Kurzstrohhybriden in den polnischen Umwelten gleich hohe Erträge wie die langstrohigen Geschwisterhybriden. Einen klaren Vorteil hatten die Kurzstrohhybride in der Standfestigkeit in Edelhof. Hier wurde für die Kurzstrohhybride durchgehend eine Bonitur von 1 (kein Lager) vergeben, während die Langstrohhybride eine Variation von 1 bis 8 (starkes Lager) zeigten (Mittelwert 3,1).

Abbildung 4 Paarvergleich der kurz- und langstrohigen Geschwisterhybride



Anmerkung: Lang- und kurzstrohige Geschwisterhybride sind durch schwarze Kreise gekennzeichnet. Die rote Raute symbolisiert die langstrohige Hybridsorte SU Performer beziehungsweise ihr kurzstrohiges Pendant. Die blaue Diagonallinie kennzeichnet die theoretisch gleiche Ertragsleistung von Kurz- und Langstrohtypen. Kreise über der Diagonale kennzeichnen Kurzstrohhybride mit höherem Ertrag als ihre langstrohige Variante, für Kreise unter der Diagonale gilt das Gegenteil.

Wuchshöhe und Standfestigkeit von kurz- und langstrohigen Roggengenotypen am Standort Edelhof 2021. Quelle: © Heinrich Grausgruber

Kurzstrohige und langstrohige Experimentalhybride am Standort Raasdorf 2021. Quelle: © Heinrich Grausgruber

Ertragskomponenten

Um einen tieferen Einblick in die Ertragsstruktur der Experimentalhybride zu bekommen wurde die Ährenanzahl pro Quadratmeter in den Versuchsparzellen, sowie das Tausendkorngewicht am Erntegut bestimmt. Die Unterschiede in der Bestandesdichte waren statistisch signifikant, wobei die Kurzstrohhybride mit 490 Ähren pro Quadratmeter deutlich über den Langstrohhybriden lagen (428 Ähren). Die etwas geringeren Erträge der Kurzstrohhybride können somit nur auf ein geringeres Korngewicht oder auf eine geringere Anzahl an Körnern pro Ähre zurückgeführt werden. Tatsächlich war das Tausendkorngewicht auch statistisch signifikant niedriger bei den Kurzstrohhybriden. In Edelhof mit 28,5 g um 5,6 g im Vergleich zu den Langstrohhybriden. In Raasdorf betrug die Differenz nur 1,5 g (24,6 g und 26,1 g). Im Vergleich dazu schwankte die Bestandesdichte im Referenzversuch zwischen 300 und 500 Ähren pro Quadratmeter. Wobei sowohl der höchste als auch niedrigste Wert für zwei Kurzstrohtypen, AC Rifle und H6, realisiert wurden. Die niedrigen Erträge der in diesen Versuch inkludierten Kurzstrohroggen AC Rifle, H3 und H6 (Abbildung 2) können somit teilweise, für H3 und H6, durch eine geringe Bestockung erklärt werden, im Falle von AC Rifle jedoch nicht. Wie bei den Experimentalhybriden zeigten aber auch hier alle drei Kurzstrohroggen signifikant geringere Tausendkorngewichte. Diese lagen mit 24,6 g für AC Rifle bis 28,3 g für H3 deutlich unter jenen von Standardsorten wie Elias (32,8 g) und Elego (33,3 g). Lediglich die alte Landsorte Lungauer Tauernroggen zeigte mit 27,1 g ein ähnlich niedriges Tausendkorngewicht.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kurzstrohroggen deutliche Vorteile auf produktiven Standorten hinsichtlich der Standfestigkeit haben und so einen wichtigen Faktor für die Ertragssicherheit darstellen können. Durch eine bessere Bestockung ist das Ertragspotential an und für sich vielversprechend, allerdings wird dieses durch ein deutlich niedrigeres Korngewicht wieder aufgewogen so dass die Kornerträge in Summe sogar niedriger waren. Auf ertragslimitierenden Standorten wie Bioflächen im Trockengebiet spielt die Standfestigkeit zwar keine Rolle, in diesem Fall zeigten die Kurzstrohhybride allerdings eine bessere Anpassung. Hier ist das Korngewicht auf Grund schlechterer Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit generell geringer und somit für die Ertragsbildung weniger bedeutsam. Die negative Auswirkung von *Ddw1* auf das Korngewicht wurde auch bereits von Börner et al. (2000) beschrieben, allerdings konnten die Autoren nicht klären, ob es sich dabei um einen pleiotropen Effekt des Kurzstrohgens handelt oder um eine Kopplung in der ursprünglichen genetischen Ressource die als Donor für *Ddw1* verwendet wurde. Für eine nachhaltige Nutzung des Kurzstrohgens in der Sortenentwicklung wird eine Anhebung des Korngewichtes und somit eine Steigerung des Ertrages im Vordergrund stehen müssen.

Arbeitspaket 4: Lebensmittelsicherheit

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes standen die Bestimmung des Mutterkornbefalls und der Fallzahl im Vordergrund. Für die beiden österreichischen Standorte wurde das Arbeitspaket um die Bestimmungen der Viskosität sowie der Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) erweitert. Verantwortlich für die Leitung des Arbeitspaketes war das Estonian Crop Research Institute (Eesti Taimekasvatuse Instituut). Die Bestimmung der NSP erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Julius-Kühn-Institut in Groß-Lüsewitz.

Meilenstein 15: Qualitätsparameter

Hektolitergewicht

Das Hektolitergewicht (HLG) lässt einen Rückschluss auf die Kornausbildung zu und wird daher als indirektes Merkmal für die Mahlfähigkeit verwendet. Die Bestimmung des HLG erfolgte an der BOKU mittels 250 mL Messzylinder (Bauart 1938) und anschließender Umrechnung des Probengewichtes laut entsprechender Tabelle. Bei der Saatzucht Edelhof wurde das HLG mit dem Hektoliter-Modul des Foss Infratec NIRS bestimmt. Für Anbau-Lieferverträge werden mehrheitlich ein Basiswert von 72 kg/hL für konventionellen und 71 kg/hL für Biomahlroggen verlangt. Preisabschläge werden schlagend gemacht bis 70 kg/hL beziehungsweise 68 kg/hL (AGES, 2022).

Im Referenzversuch V31 wurden die geforderten Mindestwerte von den österreichischen Populationssorten und den deutschen Hybridsorten ohne Probleme erfüllt (Tabelle 2). Von den polnischen Populationssorten waren lediglich Dankowskie Hadron und Dankowskie Skand in allen Umwelten zufriedenstellend, während bei den anderen Sorten von Danko in einzelnen Umwelten Werte zwischen Mindest- und Basiswert gemessen wurden. Nicht zufriedenstellende Ergebnisse wurden für die estnischen Kurzstrohstämme H3 und H6, sowie für die kanadische Sorte AC Rifle festgestellt. Auch die alten Landsorten Sangaste und Lungauer Tauernroggen waren unterdurchschnittlich. Im V32 wurden die Basiswerte von der Mehrheit der Proben erfüllt, wobei auch hier für die Kurzstrohhybride niedrigere Werte festgestellt wurden (Tabelle 3). Lediglich für die Kurzstrohhybride am Biostandort lag die Mehrheit der Proben unter dem Basiswert von 71 kg/hL, jedoch immerhin über dem Mindestwert von 68 kg/hL. Die schlechtere Kornausprägung bei den Kurzstrohhybriden hatte aber auch beim Merkmal HLG deutliche Spuren hinterlassen.

Tabelle 2 Qualitätsausprägungen der im Referenzversuch involvierten Roggensorten

Sorte	HLG	HFN_{eho}	RPRT	STAR	WEAX	TAX	$finV_{eho}$	$finV_{ra}$
SAN	67,3	95	10,8	58,4	1,94	7,55	85	2094
NCH	71,9	118	9,8	59,6	1,91	8,10	164	2293
TAU	68,8	63	12,2	57,6	1,95	7,74	79	1969
VAM	71,1	101	9,5	60,0	1,90	7,25	79	2206
H3	66,4	105	10,1	58,4	2,15	7,97	141	2350
H6	65,3	100	10,4	58,1	2,17	8,42	87	2178
TUL	71,1	121	9,7	59,7	1,92	7,73	173	2468
ELV	71,9	117	9,5	60,0	1,86	7,28	206	1811
ACR	70,3	110	10,7	58,8	2,13	7,69	127	2038
DMT	73,1	199	9,7	60,2	1,91	7,78	705	2756
HAZ	73,7	77	9,3	60,8	1,76	6,61	46	1657
ELG	72,5	158	9,2	60,6	1,81	7,43	275	2460
REE	72,8	123	9,9	60,0	1,86	7,75	94	2491
PER	72,7	215	8,8	60,6	1,72	7,39	810	3146
OPL	71,4	185	9,6	60,0	1,90	7,72	670	2539
RUB	72,6	154	9,8	60,3	1,85	7,38	354	2371
ELS	73,4	190	9,5	60,1	1,88	7,70	434	2939
FOR	72,6	204	8,5	60,8	1,78	7,68	858	3174
TF1	71,1	131	8,7	60,4	1,89	7,15	302	2385
COS	73,6	217	8,9	60,9	1,99	7,66	1195	2987
HAD	73,1	151	9,8	60,2	1,83	7,78	310	2628
TKS	73,2	174	9,7	60,2	1,96	7,21	577	2475
SKD	73,2	131	9,5	60,6	1,91	6,94	192	2443
POP	72,7	143	9,4	60,4	1,84	7,98	350	2449

Anmerkung: Mittelwerte über zwei Standorte (Edelhof, Raasdorf) und zwei Jahre (2020 und 2021), wenn nicht anders angegeben. In Raasdorf wurde in zwei Managementstufen (konventionell und biologisch) getestet. Sortennamen sind entsprechend Tabelle 1 abgekürzt und wie dort chronologisch nach Zulassungsjahr aufsteigend geordnet. Abkürzungen der Qualitätsparameter: HLG, Hektolitergewicht (kg/hL); HFN_{eho}, Fallzahl (s) Edelhof; RPRT, Rohproteingehalt (%); STAR, Stärkegehalt (%); WEAX, wasserlösliche Arabinoxylane (%); TAX, Gesamt-Arabinoxylane (%); finV, finale Viskosität (cP) in Edelhof ($_{eho}$) und Raasdorf ($_{ra}$).

Tabelle 3 Qualitätsausprägungen der Experimentalhybride in Edelhof und Raasdorf

Typ	HLG	HFN	RPRT	STAR	WEAX	TAX	finV
Edelhof							
Ddw1	72,6	165	7,9	58,8	2,17	7,87	559
N	74,0	154	8,3	59,2	2,18	7,73	541
Raasdorf							
Ddw1	69,1	397	10,3	58,8	2,10	7,89	2940
N	72,0	445	10,6	58,4	1,87	8,11	2667

Anmerkung: Ddw1, Kurstrohhybride; N, Langstrohhybride; HLG, Hektolitergewicht (kg/hL); RPRT, Rohproteingehalt (%); STAR, Stärkegehalt (%); WEAX, wasserlösliche Arabinoxylane (%); TAX, Gesamt-Arabinoxylane (%); finV, finale Viskosität.

Fallzahl

Die Fallzahl nach Hagberg-Perten (HFN) misst die Viskosität einer erhitzten Mehl-Wasser-Suspension und spiegelt die Enzymaktivität von Amylasen wider. Ist die Amylaseaktivität hoch, was bei Auswuchs der Fall ist, ist die Suspension dünnflüssig, die Viskosität gering und folglich die Fallzahl gering. Die Witterung ist entscheidend für die Fallzahl. Fallzahlen zwischen 150 und 200 Sekunden gelten als optimal, für Bioroggen werden mindestens 120 s gefordert (AGES, 2022). Im vorliegenden Projekt wurden HFN-Messungen im Labor der Saatzucht Edelhof durchgeführt. Sehr hohe Fallzahlen, meistens über 300 s wurden in den Versuchen im Trockengebiet (Raasdorf) gemessen. Diese hohen Fallzahlen sind durch die trockene Abreife bei hohen Temperaturen bedingt. Dadurch ergeben sich sehr enzymarme Mehle die trockenbackene Brote ergeben und daher in der Bäckerei durch Enzymbeigabe korrigiert werden müssen (Miedaner und Hübner, 2011). Im Waldviertel am Standort Edelhof war die Situation anders. Hier lagen die meisten Sorten im Referenzversuch unter 150 s, lediglich die jüngsten Populationssorten zeigten Fallzahlen zwischen 150 und 200 s. Die deutschen Hybridsorten zeigten auch hier ihre Ausnahmestellung mit Fallzahlen knapp über 200 s (Tabelle 2). Etwas niedriger waren die Fallzahlen für die Experimentalhybride (Tabelle 3). Hier war auch kein Unterschied zwischen Kurz- und Langstrohhybride feststellbar. Die großen Unterschiede zwischen den österreichischen Roggenproduktionsgebieten Wald-/Mühlviertel und Pannonikum führen laut Beschreibender Sortenliste generell zu Unterschieden von 70-110 s in der Fallzahl (AGES, 2022). Im vorliegenden Fall waren die Unterschiede für die Mehrzahl der Genotypen sogar über 200 s. Die hohen Fallzahlen und damit verbundene geringe Enzymaktivität moderner Roggensorten wurde bereits zu Beginn der 2000er Jahre kritisch angemerkt, da sich dadurch das Lockerungsvermögen der Teige, das Brotvolumen und

das Frischhaltevermögen vermindert (Brümmer und Lindhauer, 2002). Die niedrigsten Fallzahlen wurden für die alten Landsorten Lungauer Tauernroggen und Sangaste, sowie für die kanadische Sorte Hazlet beobachtet. Hazlet ist bekannt für seine niedrigen Fallzahlen, auch bei früher Ernte (Darby, 2020), sowie seine niedrigen Viskositäten (Alberta Government, 2016).

Protein- und Stärkegehalt

Für die Backeignung von Roggen spielt der Proteingehalt keine Rolle, sondern die Pentosane, Schleim- und Quellstoffe die zur Gruppe der Hemicellulosen zählen und ein wesentlicher Bestandteil pflanzlicher Zellwände sind. Ernährungsphysiologisch sind sie als Nahrungsfasern (Ballaststoffe) von Bedeutung. Gemeinsam mit den Verkleisterungseigenschaften der Stärke sind sie für die Backeignung von Roggen hauptverantwortlich, während sie für die Verwendung als Futterroggen unerwünscht sind. Hier sind proteinreichere Sorten bevorzugt (Miedaner und Hübner, 2011; AGES, 2022). In Rahmen des Projektes wurden der Protein- und Stärkegehalt am Ganzkorn mittels NIRS gemessen. Die Bestimmungen erfolgten an der BOKU und am Julius-Kühn-Institut mit den jeweils vorhandenen NIRS Geräten und den vorhandenen Kalibrationen (Musmann et al., 2014). Betrachtet man die Variabilität im Referenzversuch für die beiden Merkmale so fällt auf, dass die meisten modernen Sorten einen Proteingehalt zwischen 8,5% und 9,8% besitzen und der Stärkegehalt um 60% liegt (Tabelle 2). Ein deutlicher Ausreißer ist hier die alte Landsorte Lungauer Tauernroggen die einen Proteingehalt von über 12% und einen Stärkegehalt von unter 58% zeigte. Nachdem diese Sorte den niedrigsten Ertrag und auch ein sehr niedriges Tausendkorngewicht zeigte, ist auch von einer kurzen Kornfüllungsphase auszugehen da der Stärkegehalt im Getreidekorn mit zunehmender Kornfüllungsdauer und höherer Ertragsleistung ansteigt (Shewry et al., 2020; Call et al., 2021). Im V32 sind keine Unterschiede zwischen Kurz- und Langstrohhybride für den Protein- und Stärkegehalt feststellbar (Tabelle 3). Lediglich ein Standorteffekt für den Proteingehalt ist ersichtlich mit etwa 2% höheren Gehalten in Raasdorf. Diese höheren Werte können durch das niedrigere Ertragsniveau und das geringere Korngewicht erklärt werden.

Pentosangehalt und Viskosität

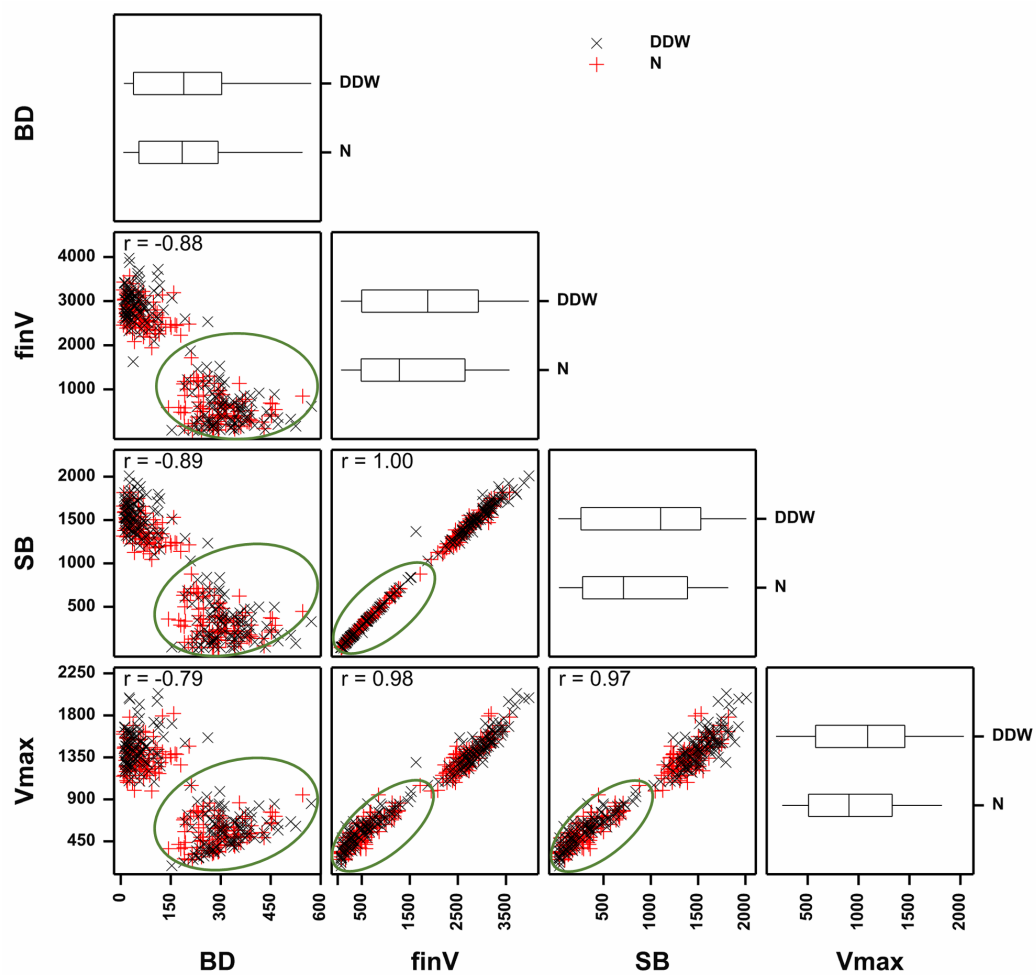
Der Pentosangehalt wurde ebenfalls mittels NIRS am Julius-Kühn-Institut in Groß-Lüsewitz gemessen. Die Kalibration errechnet sowohl den Gehalt an wasserlöslichen Arabinoxylanen (WEAX) als auch den Gesamt-Arabinoxylangehalt (TAX) (Musmann et al., 2014). Sowohl im Referenzversuch V31 als auch im V32 konnte eine ähnliche Variabilität in WEAX (1,4% bis 2,7%) und TAX (5,4% bis 10,4%) festgestellt werden, davon die leicht höhere Variationsbreite für beide Merkmale in V32. Es konnte allerdings kein Unterschied zwischen Kurz- und Langstrohhybriden festgestellt werden (Tabelle 3). Die Variabilität in WEAX und TAX stimmt

mit publizierten Daten gut überein (Kaur et al., 2021) wobei anzumerken ist, dass Schwankungen in den Literaturangaben nicht nur durch unterschiedlich verwendetes Pflanzenmaterial und unterschiedliche Umwelten bedingt sind, sondern auch durch unterschiedliche Methoden zur Bestimmung des Pentosangehaltes. Bei den Sorten in V31 ist vor allem der niedrigere TAX-Gehalt der kanadischen Sorte Hazlet erwähnenswert (Tabelle 2). Diese Sorte wurde 2008 zugelassen, wobei in der Sortenbeschreibung vor allem das große Korn hervorgehoben wird (McLeod und Gan, 2008). Ein Zusammenhang zwischen Korngröße und Pentosangehalt den man somit vermuten könnte, und wie indirekt von Kobylyansky und Solodukhina (2013) für die Selektion vorgeschlagen, konnte allerdings im vorliegenden Material nicht bestätigt werden. Die Korngröße wurde im vorliegenden Projekt mittels Marvitech Compact Line und anschließender digitaler Bildverarbeitung bestimmt. Die Korrelation zwischen Korngröße und Pentosangehalt (WEAX und TAX) war statistisch an der Signifikanzgrenze von p=0.05, zeichnete sich aber durch sehr niedrige Korrelationskoeffizienten aus (p=0,04-0,08; r=0,08-0,09). In der Zwischenzeit haben Kobylyansky et al. (2021) spezifiziert, dass nicht die Korngröße, sondern die Dicke der Samenschale für die Selektion herangezogen werden soll, wobei eine dünne Samenschale mit einem niedrigen Pentosangehalt assoziiert ist.

Die Verkleisterungseigenschaften von Roggenmehl wird standardmäßig mit den Amylographen eruiert (AGES, 2022). Im vorliegenden Fall wurde ein Perten RVA 4500 der Firma Perkin-Elmer verwendet der mit deutlich geringerer Probemenge auskommt. Das Gerät misst die Veränderung der Viskosität einer Schrot-Wasser-Suspension während eines kontinuierlichen Aufheizens und späteren Abkühlung über einen Zeitverlauf von 13 Minuten. Zuerst wird die Mehl-Wasser-Suspension bei 50°C erhitzt und 10 s lang bei einer Drehzahl von 160 Umdrehungen pro Minute gerührt, um eine gute Durchmischung zu erreichen. Die Suspension wird 1 Minute bei 50°C gehalten, danach auf 95°C erhitzt und etwas mehr als 2 Minuten bei maximaler Temperatur gehalten bevor sie innerhalb von knapp 4 Minuten wieder auf 50°C abgekühlt wird und weitere 2 Minuten konstant gehalten wird. Mehrere Kennwerte können aus der Kurve abgelesen werden: das Viskositätsmaximum nach Erhitzung sowie die Zeitspanne bis zum Erreichen des Maximums und die Verkleisterungstemperatur zu diesem Zeitpunkt, der Abfall der Kurve nach dem Maximum, der Wiederanstieg der Kurve und die Endviskosität nach der Abkühlungsphase. Untereinander zeigen die Viskositätsparameter eine statistisch signifikante und hohe (positive oder negative) Korrelation (Abbildung 5). Die Viskosität steht auch eng in Zusammenhang mit der Fallzahl. Im vorliegenden Datensatz (V31 plus V32) betrug die Korrelation zwischen Fallzahl und Endviskosität r=0.71 (p<0.0001). In Abbildung 5 ist in die einzelnen Viskositätsparameter eine deutliche Gruppierung zu erkennen. Die beiden Gruppen entsprechen jedoch nicht den Kurz- und Langstrohhybriden, sondern den beiden Standorten Edelhof und Raasdorf. Der Standort im Waldviertel ist auf Grund der ungünstigeren Abreifebedingungen durch geringere Viskositäten (Tabelle 3), einen stärkeren

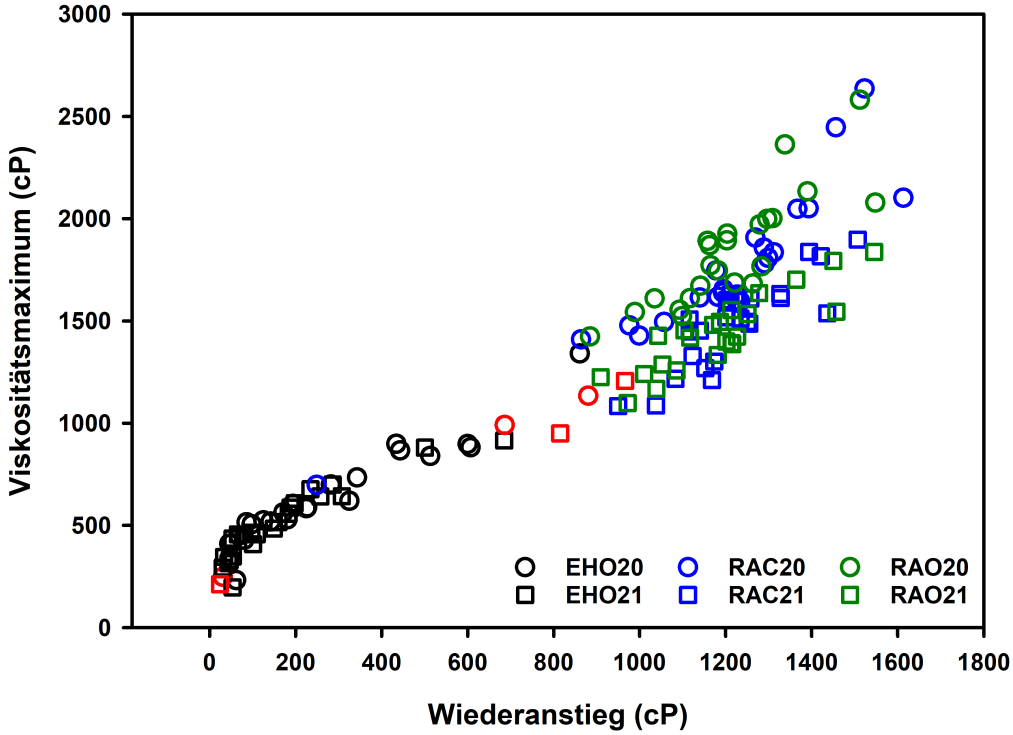
Abfall der Kurve nach dem Maximum und einem geringeren Wiederanstieg nach der Abkühlungsphase gekennzeichnet (Abbildung 5). Dies ist auch in Abbildung 6 ersichtlich in dem ausgewählte Viskositätsergebnisse des Referenzversuches V31 dargestellt sind. Die besondere Stellung der kanadischen Sorte Hazlet hinsichtlich ihrer Viskosität ist in allen sechs Testumwelten ersichtlich wo diese Sorte sich immer im unteren Ende der entsprechenden Merkmalsausprägung befindet (Abbildung 6). Eine vergleichbar niedrige Ausprägung in den Viskositätsparametern zeigt nur mehr die alte Landsorte Lungauer Tauernroggen (Tabelle 2). Aufgrund seiner niedrigen Viskosität wird Hazlet in Kanada auch für die Verfütterung an Monogastrier empfohlen (Alberta Government, 2016) und von den nordamerikanischen Roggen-Whiskeydestillateuren bevorzugt.

Abbildung 5 Scatterplot-Matrix von Viskositätsparametern von kurz- und langstrohigen Experimentalhybriden



Anmerkung: Variabilität der Kurz- (DDW) und Langstrohhybride (N) innerhalb der einzelnen Viskositätsparameter: Vmax, Viskositätsmaximum; BD, Viskositätsabfall nach Maximum; SB, Wiederanstieg nach Abkühlung; finV, finale Viskosität am Kurvenende. Proben des Standort Edelhof liegen innerhalb der grünen Kreise.

Abbildung 6 Viskositätsmaximum und Wiederanstieg nach Abkühlung im Referenzversuch



Anmerkung: Variabilität in den RVA Parametern Viskositätsmaximum und Wiederanstieg nach Abkühlung des Sortenversuches in den sechs Prüfumwelten: EHO, Edelhof konventionell; RAC, Raasdorf konventionell; RAO, Raasdorf biologisch; das Versuchsjahr ist den Umweltabkürzungen als Suffix nachgestellt. Die kanadische Populationssorte Hazlet ist durch rote Symbole gekennzeichnet.

Mutterkorn

Auf Grund der Toxizität von Ergotalkaloiden (Ergotismus) gelten für den Befall von Roggen mit Mutterkorn (*Claviceps purpurea*) strenge Grenzwerte. Mit der Verordnung (EU) 2021/1399 hat die EU für unverarbeiteten Roggen den bisherigen Grenzwert von 0,5 g/kg bis zum 1. Juli 2024 bestätigt, danach wird er allerdings auf 0,2 g/kg gesenkt. Neu aufgenommen wurden Höchstgehalte für Ergotalkaloide in vermahlenen Getreideprodukten. Damit wird erstmals zwischen zulässigem Mutterkorn und dem Ergotalkaloidgehalt unterschieden, wobei allerdings ein sehr hoher Zusammenhang zwischen Sklerotienbefall und Gehalt an Ergotalkaloiden besteht (Miedaner et al., 2021). Der Befall mit Mutterkorn wird durch feucht-kühe Witterung während der Roggenblüte gefördert, wobei Hybridsorten lange Zeit stärker befallen waren auf Grund geringerer Pollenschüttung durch unvollständige Restauration der verwendeten cytoplasmatisch vererbten männlichen Sterilität. Die Verwendung von mehreren effektiven Genen zur Wiederherstellung der Pollenfertilität (*Rfp*) ist empfehlenswert. Im vorliegenden Projekt wurden in die Experimentalhybride *Rfp1*, *Rfp2* und *Rfp4* mittels Marker-

gestützter Selektion eingebracht. Wenn auch gering, so konnten aber auch auf Seite des Samenelters bei Testhybriden unterschiedliche Anfälligkeiten gegen Mutterkorn beobachtet werden (Kodisch et al., 2020).

Im vorliegenden Projekt konnte kein relevanter Befall mit Mutterkorn festgestellt werden. Vor allem im Trockengebiet war der Befall vernachlässigbar. In nur wenigen Ernteproben konnten Sklerotien gefunden werden und in allen Fällen waren es deutlich weniger als der ab 2024 geltende Grenzwert von 0,02% (0,2 g/kg). Zu erwähnen sei dennoch, dass in V32 die kurzstrohigen Experimentalhybride einen noch geringeren Befall (0 bis 0,006%) als die langstrohigen Hybride (0 bis 0,012%) zeigten. Auch ein Einfluss des Samenelters war leicht ersichtlich wobei Hybride mit T1 als Mutterkomponente einen höheren Befall (0 bis 0,012%) als die beiden anderen Tester (0 bis 0,007%) zeigten. An dieser Stelle sei aber betont, dass lediglich in 25 von 192 Proben Sklerotien gefunden wurden. Das Problem war im Trockengebiet somit absolut vernachlässigbar. Ähnliches gilt für V31. Hier wurden nur in neun von 192 Proben Sklerotien gefunden. Allerdings war hier in zwei Proben mit 0,035% der Gewichtsanteil zwar niedriger als der derzeit noch gültige Grenzwert, aber doch höher als der ab 2024 gültige. Bei den beiden Proben handelte es sich um die polnische Hybridsorte Tur und die alte Landsorte Lungauer Tauernroggen. Beide Proben stammten vom konventionellen Versuch im Jahr 2021. Im Bioversuch konnte in beiden Jahren keine einzige Probe mit Mutterkornsklerotien gefunden werden. Etwas anders verhielt sich die Situation am Standort Edelhof im Waldviertel. Auch hier war der Befall mit Mutterkorn in den normal entwickelten Pflanzen sehr gering. Es kam jedoch vor allem an den Parzellenrändern zur Bildung von Nachschosserpflanzen die schlecht befruchtet wurden und daher stark von Mutterkorn befallen wurden. Dadurch kam es in manchen Proben zu einem höheren Anteil an Sklerotien der jedoch eine falsche Realität widerspiegelte. Von einer gewichtsmäßigen Auszählung der Edelhof Proben wurde daher abgesehen.

Nachschosserpflanze am Parzellenrand mit Mutterkornbefall (rot eingekreist) und händisch geerntete Ähren von n Nachschosser-Randpflanzen mit ausgeprägten Mutterkorn-Sklerotien. Aufnahmen stammen vom Standort Edelhof 2021. Quelle: © Heinrich Grausgruber

Arbeitspaket 5: Wachstumsmodelle

Dieses Arbeitspaket wurde vom Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO) koordiniert. Neben NIBIO war noch das Julius-Kühn-Institut in diesem Arbeitspaket beteiligt.

Meilenstein 16: Kalibration eines Wachstumsmodells für Roggen

Auf Basis langjähriger Daten von Feldversuchen mit bisher zugelassenen langstrohigen Sorten sollten existierende Wachstumsmodelle für Weizen an Roggen angepasst werden. Vor allem sollte das schnellere Jugendwachstum im Frühjahr, das intensivere Wurzelsystem und die bessere Winterhärte berücksichtigt werden. Weiters sollten spezifische Merkmale der Halbzwerghybriden Berücksichtigung finden um ein Prognosemodell für diesen Sortentyp unter zukünftigen Klimabedingungen zu entwickeln. Ergebnisse zu Teilaspekten liegen bereits vor (Shawon et al., 2022; Söder et al., 2022).

Meilenstein 17: Validierung des Wachstumsmodells mit Daten aus Arbeitspaket 3

Sowohl die Universität für Bodenkultur als auch die Saatzucht Edelhof stellten die Daten von V31 und V32 und die dazugehörigen Klimadaten für die Dissertation von Ashifur Rahman Shawon zur Verfügung. Die Arbeiten dazu sind am Julius-Kühn-Institut noch im Laufen. Für die Wachstumsmodelle wurden auch Untersuchungen zum Wurzelwachstum von verschiedenen Roggensorten am Julius-Kühn-Institut durchgeführt. Auch dazu werden die Daten noch ausgewertet, da durch die COVID-19 Pandemie eine Verzögerung der Arbeiten entstanden ist. Ein kurzer Bericht über die Versuchsanlage und Fragestellung wurde im Tagungsband der 63. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften publiziert (Kottmann et al., 2021). Auf Basis historischer Daten von 1983 bis 2019 aus Deutschland wurden Berechnungen zum CO_2-Fußabdruck von Weizen und Roggen durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Pflanzenzüchtung in diesem Zeitraum signifikant zur Reduktion der Treibhausgase beigetragen hat, wobei für Roggen eine etwa 20% geringere Produktion von Treibhausgasen und ein um etwa 8% geringerer CO_2-Fußabdruck im Vergleich zu Weizen berechnet wurde (Riedesel et al., 2022).

Meilenstein 18: Erfolgreiche Testung des dynamischen Modules für relevante Pflanzenmerkmale

Die ersten Simulationen mit dem CERES-Rye Wachstumsmodell ergaben, dass ein niedrigerer CO_2-Fußabdruck mit der Hybridzüchtung, chemischen Pflanzenschutz und größeren Betrieben zusammenhängt. Dieses Modell wurde auf Basis von historischen Daten aus Deutschland entwickelt. Inwiefern eine Umlegung auf österreichische Produktionsbedingungen gleich ist kann noch nicht beantwortet werden. Die Arbeiten zur dynamischen Simulation von Wachstum (Biomasse und Kornertrag) und phenologischer Entwicklung unter Berücksichtigung verschiedener Umwelt- und Managementbedingungen sind noch nicht abgeschlossen. Von Seiten der österreichischen Partner wurden dazu die in Arbeitspaket 3 generierten Daten dem Julius-Kühn-Institut zur Verfügung gestellt.

Arbeitspaket 6: Genombasierte Züchtung auf Frosttoleranz

Dieses Arbeitspaket wurde vom finnischen Partner Natural Resources Institute Finland (LUKE) koordiniert. Von österreichischer Seite war die Universität für Bodenkultur Wien beteiligt.

Meilenstein 19: Phänotypisierung 1. Jahr und Genotypisierung

Der erste Feldversuch für die Phänotypisierung der Frosttoleranz von 320 Genotypen wurde am 30. September 2019 ausgesät. Der Versuch ist durch die lange Trockenheit im Oktober 2019 schlecht aufgelaufen, entwickelte sich dann aber auf Grund des milden Winters noch zufriedenstellend. Leider gab es durch die milden Wintertemperaturen keine Ausfälle an Pflanzen durch Frost wodurch dieser Versuch keine aussagekräftige Phänotypisierung zuließ. Die Partner Universität von Sasketchewan und Julius-Kühn-Institut erzielten einen substantiellen Fortschritt im Verständnis der Genetik der Frosttoleranz und Winterhärte von Roggen durch Integration signifikanter Marker-Merkmalsbeziehungen in das Referenzgenom der Inzuchtlinie Lo7 (Båga et al., 2022). Aufbauend auf diesen Ergebnissen selektierten LUKE und das Julius-Kühn-Institute molekulare Marker die einen großen QTL für Winterhärte beschreiben. Unter Verwendung eines neuen 25k Weizen/Roggen/Triticale SNP Chips wurden genotypische Profile für mehr als 2000 DNA Proben erstellt. Davon waren mehr als 50% der Proben offen abblühende Populationssorten, 18 davon aus dem RYE-SUS Referenzversuch. Eine anschließende phylogenetische Analyse offenbarte eine Gruppierung der getesteten Genotypen deren Herkunft sehr gut mit der Klimaklassifikation nach Geiger und Köppen übereinstimmt. Neben einigen kanadischen Sorten wie Hazlet, AC Rifle oder AC Remington die bekannt für ihre Winterhärte sind, lag auch die österreichische Landsorte Lungauer Tauernroggen in der Gruppe der Sorten die an kalte Klimate sehr gut angepasst sind.

Meilenstein 20: Phänotypisierung 2. Jahr

Am 28. Oktober 2020 wurde der Feldversuch mit den 320 Genotypen abermals in drei Wiederholungen ausgesät. Das Saatgut wurde wie im Vorjahr von der HYBRO Saatzucht zur Verfügung gestellt. Pro Genotyp und Wiederholung waren nur 25 Körner verfügbar wodurch pro Versuchsglied nur eine Einzelreihe angelegt wurde. Die Aussaat erfolgte mit einer Hege 95 Einzelkornsämaschine mit einem Abstand von 20 cm zwischen den einzeln abgelegten

Körnern. Im zweiten Versuchsjahr 2020/2021 kam es zwar zu Schäden am Pflanzenbestand, vor allem durch im Frühjahr auftretende Fröste, allerdings waren diese Schäden über die drei Wiederholungen nicht reproduzierbar. Es zeigte sich, dass nur eine Hälfte des Versuchsfeldes betroffen war. Hier liefen die Pflanzen schlechter auf wodurch sie im Frühjahr noch schwächer entwickelt waren und von den dann auftretenden Frösten stark dezimiert wurden. In der anderen Feldhälfte gab es bei denselben Genotypen keinerlei Schäden. In Summe waren die BOKU-Ergebnisse somit für die Phänotypisierung der Frosttoleranz nicht zu gebrauchen.

Ungleicher Feldaufgang beziehungsweise ungleich verteilte Winterschäden im Frostversuch 2021 in Raasdorf. Während in einer Feldhälfte keinerlei Schäden verzeichnet wurden, kam es in der anderen Feldhälfte zu unerklärlichen, zum Teil Totalausfällen.

Zusammenfassung

Die europäische Getreideproduktion erfährt eine fortschreitende Intensivierung und Spezialisierung auf Weizen und Gerste zu Lasten von Hafer, Roggen und anderen wenig genutzten Getreidearten. Diese Spezialisierung führt zu einem kontinuierlichen Verlust an landwirtschaftlicher Biodiversität und traditioneller Landbewirtschaftungssysteme. Roggen ist die einzige fremdbefruchtende Getreideart und benötigt daher roggenspezifische Strategien hinsichtlich der züchterischen Verbesserung. Das Ziel von RYE-SUS war die Entwicklung, Erprobung und Modellierung von Gibberellin-sensitivem Halbzwergroggen mit optimiertem Ernteindex, verbesserter Standfestigkeit, hohem Ertragspotential und verbesserter Trockenheitstoleranz für eine nachhaltige Intensivierung. Die systematische Ausnutzung der Heterosis und die genetisch optimierte Verteilung der Assimilate auf das Korn soll zur Ernährungssicherheit beitragen ohne mehr Land zu verbrauchen und gleichzeitig die Treihausgas-Emissionen senken. Im Rahmen des Projektes wurden drei Halbzwerg-Genotypen sowie ihre nah-isogenen langstrohigen Schwesterlinien als Sameneltern verwendet, die das sogenannte Pampa Cytoplasma für männliche Sterilität tragen. In Kreuzungen mit 16 Pollenspender wurden 48 Halbzwerg-Prototypen und ihre 48 nah-isogenen langstrohigen Schwesterlinien entwickelt. Die Anwesenheit dreier Gene für die Wiederherstellung der Pollenfertilität in der F_1 ermöglicht eine Minimierung des Risikos eines Mutterkornbefalls. Die Prüfung der Experimentalhybride erfolgte unter biologischen Produktionsbedingungen im Marchfeld sowie unter konventionellen Bedingungen im Waldviertel. An keinem der beiden Standorte waren die Kurstrohhybride ertragreicher als ihre langstrohigen Pendants. Im Waldviertel zeigten die kurzstrohigen Typen allerdings eine deutlich bessere Standfestigkeit. Die niedrigeren Kornerträge der Halbzwerghybride war vor allem auf ein niedrigeres Korngewicht zurückzuführen, während die Bestockung etwas höher war als bei den langstrohigen Vergleichshybriden. Auf diverse Qualitätsmerkmale wirkte sich das Kurzstrohgen nicht negativ aus. Auch der Befall mit Mutterkorn war in den Testhybriden nicht erhöht im Vergleich zu offen abblühende Populationssorten. Um das dominante Kurzstrohgen *Ddw1* in Zukunft besser nutzen zu können wurde eine Inzuchtlinie mit *Ddw1* mit 13 verschiedenen Populationssorten gekreuzt. Halbzwerghybride aus den Kreuzungen mit Elego, Elias und SU Popidol wurden von den österreichischen Partnern verwendet um damit ein Rückkreuzungsprogramm zu starten. Daraus entstandenes Material wird derzeit bei der Saatzucht Edelhof und der Universität für Bodenkultur Wien weitergeführt. Weiters wurde im Rahmen des Projektes ein Referenzsversuch mit 24 Roggensorten, zugelassen zwischen 1876 und 2018, etabliert und über zwei Jahre an verschiedenen Standorten geprüft. Mit Hilfe dieses Sortiments konnte ein deutlicher Zuchtfortschritt, vor allem in den letzten 40 Jahren gezeigt werden, wobei die Hybridsorten den offen abblühenden Populationssorten überlegen sind,

auch unter Bedingungen des biologischen Landbaus. Basierend auf fast 40000 historischen Beobachtungen von mehr als 100 Standorten in ganz Deutschland während des Zeitraums 1983 bis 2019 wurde eine Ökobilanz für die Produktion von Weizen und Roggen berechnet. Dabei zeigte sich, dass die Treibhausgas-Emissionen und der CO_2-Fußabdruck pro Einheit Ernteprodukt von Roggen kleiner sind als die von Weizen. Hybridsorten zeigten zwar höhere Treibhausgas-Emissionen pro Flächeneinheit, aber einen niedrigeren CO_2-Fußabdruck im Vergleich zu Populationssorten. Basierend auf dem umfangreichen Datensatz sowie den Ergebnissen aus den Referenzsortiment und den entsprechenden Klimadaten wurden mehr als 1000 sortenspezifische Pflanzenmodelldateien erstellt um ein bestehendes Wachstumsmodell für Weizen an den Roggen anzupassen. Das kürzlich veröffentlichte Roggen-Referenzgenom ermöglichte zudem die Identifikation von einer Reihe von zuvor unbekannten Genen, die wesentlich zur Winterhärte beitragen. Basierend darauf wurden mehrere molekulare Marker identifiziert die in Zukunft eine Marker-gestützte Selektion auf Winterhärte möglich machen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beschreibung der im Referenzversuch involvierten Roggensorten 15
Tabelle 2 Qualitätsausprägungen der im Referenzversuch involvierten Roggensorten 24
Tabelle 3 Qualitätsausprägungen der Experimentalhybride in Edelhof und Raasdorf 25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Variabilität im Kornertrag des Referenzversuches 17
Abbildung 2 Kornertrag von Sorten des Referenzversuches in Abhängigkeit vom Zulassungsjahr 18
Abbildung 3 Kornertrag und Wuchshöhe von Kurz- und Langstrohhybriden 19
Abbildung 4 Paarvergleich der kurz- und langstrohigen Geschwisterhybride 20
Abbildung 5 Scatterplot-Matrix von Viskositätsparametern von kurz- und langstrohigen Experimentalhybriden 28
Abbildung 6 Viskositätsmaximum und Wiederanstieg nach Abkühlung im Referenzversuch 29

Literaturverzeichnis

AGES: Österreichische Beschreibende Sortenliste 2022 Landwirtschaftliche Pflanzenarten. Schriftenreihe 21/2022. Wien: Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES).

Alberta Government: Varieties of cereal and oilseed crops for Alberta. Agri-Facts, Practical information for Alberta's agriculture industry. Agdex 100-32. Edmonton: Ministry of Agriculture and Irrigation 2016.

Båga, Monica/Bahrani, Hirbod/Larsen, Jamie/Hackauf, Bernd/Graf, Robert J./Laroche, Andre/Chibbar, Ravindra N.: Association mapping of autumn-seeded rye (*Secale cereale* L.) reveals genetic linkages between genes controlling winter hardiness and plant development. Scientific Reports 2022, Bd. 12, 5793. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09582-2

Börner, Andreas/Korzun, Viktor/Voylokov, Anatoly V./Worland, Anthony J./Weber, W. Eberhard: Genetic mapping of quantitative trait loci in rye (*Secale cereale* L.). Euphytica 2000, Bd. 116, S. 203-209. https://doi.org/10.1023/A:1004052505692

Brümmer, Jürgen-Michael/Lindhauer, Meinolf Georg: Züchterischer Fortschritt der Backqualität von Roggen. In: Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) (Hg.), 37. Vortragstagung, Qualität und Pflanzenzüchtung, 4.-5. März, Hannover. Freising: Technische Universität München 2002, S. 19-29.

Call, Lisa/Haider, Elisabeth/D'Amico, Stefano/Reiter, Elisabeth/Grausgruber, Heinrich: Synthesis and accumulation of amylase-trypsin inhibitors and changes in carbohydrate profile during grain development of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). BMC Plant Biology 2021, Bd. 21, 113. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02886-x

Darby, Heather: Understanding quality standards for cereal rye to help farmers access value-added markets for malting, distilling, and baking. Final report for ONE18-312. Sustainable Agriculture Research & Education. College Park: University of Maryland 2020.

Feike, Til/Shawon, Ashifur Rahman/Bergjord Olsen, Anne Kari/Waalen, Wendy/Harvie, Jordan/Haikka, Hanna/Tupits, Ilme/Tamm, Ilmar/Kottmann, Lorenz/Schittenhelm, Siegfried/Tenhola Roininen, Teija/Zechner, Elisabeth/Wieser, Franz/Hanek, Monica/Niewinska, Malgorzata/Siekmann, Dörthe/Fromme, Franz Joachim/Baga, Monica/Chibbar, Ravindra N./Grausgruber, Heinrich/Hackauf, Bernd: Development of lodging resistant and climate smart rye a contribution to a sustainable cereal production in

marginal environments. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 2019, Bd. 31, S. 171-172.

Geiger, Hartmut H./Miedaner, Thomas: Rye breeding. In: Carena, M.J. (Hg.), Cereals, Handbook of Plant Breeding, vol. 3. New York: Springer 2009, S. 151-181. https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9_4

Gruber, Brigitte: Vergleich von Hybrid- und Populationsroggen unter konventionellem und biologischem Anbau. Wien: Universität für Bodenkultur 2021. https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=22002&property_id=107&role_id=NONE

Hackauf, Bernd: Bridging the genotype-phenotype gap for SMART breeding in rye. In: Lohwasser, Ulrike & Börner, Andreas (Hg.), Book of Abstracts, International Symposium on Rye Breeding & Genetics, 21-22 June. Gaterleben: EUCARPIA 2021, S. 9.

Hackauf, Bernd/ Shawon, Ashifur Rahman/Tsvetkova, Natalia/Plieske, Jörg/Miller, Jordan/Ragupathy, Raja/Haikka, Hanna/Maninnen, Outi/Tupits, Ilme/Tamm, Ilmar/Tenhola Roininen, Teija/Tanhuanpää, Pirjo/Laine, Antti/Hanek, Monika/Banaszak, Katarzyna/Niewinska, Malgorzata/Siekmann, Dörthe/Zechner, Elisabeth/Wieser, Franz/Bergjord Olsen, Anne Kari/Waalen, Wendy/Kottmann, Lorenz/Schittenhelm, Siegfried/Baga, Monica/Chibbar, Ravindra N/Feike, Til/Voylokov, Anatoly V./Fromme, Franz Joachim/Grausgruber, Heinrich: RYE-SUS: a transnational approach to support sustainable grain production in changing environments. In: Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs (Hg.), 70. Jahrestagung 2019, 25.-27. November, Raumberg-Gumpenstein. Wien: Universität für Bodenkultur Wien 2020, S. 61-69.

Iwaki, Hideo/Takeda, Genkichi/Udagawa, Taketoshi: Ecological studies on the photosynthesis of winter cereals. II. Photosynthesis of wheat and rye plants under field conditions. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 1976, Bd. 45, S. 32-39.

Järvan, Malle/Lukme, Lea/Tupits, Ilme/Akk, Ann: The productivity, quality and bread-making properties of organically and conventionally grown winter rye. Zemdirbyste-Agriculture 2108, Bd. 105, S. 323-330. https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.041

Kaur, Pinderpal/Sandhu, Kawaljit Singh/Purewal, Sukhvinder Singh/Kaur, Maninder/Singh, Surender Kumar: Rye: A wonder crop with industrially important macromolecules and health benefits. Food Research International 2021, Bd. 150, 110769. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110769

Kobylyansky, Vladimir D./Babuzhina, Dina I.: Photosynthesis of different plant organs in short stem rye. Vorträge für Pflanzenzüchtung 2007, Bd. 71, S. 62-65.

Kobylyansky, Vladimir D./Solodukhina, Olga V.: The theoretical basis of grain fodder rye breeding for low water soluble pentosans. Agricultural Biology 2013, Bd. 48, S. 31-39. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.2.31rus

Kobylyansky, Vladimir D./Solodukhina, Olga V./Nikonorowa, Iluysya M.: Morphological features of rye grain with low pentosan content. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding 2021, Bd. 182, S. 123-130. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-123-130

Kodisch, Anna/Wilde, Peer/Schmiedchen, Brigitta/ Fromme, Franz-Joachim/Rodemann, Bernd/Tratwal, Anna/Oberforster, Michael/Wieser, Franz/Schiemann, Andrea/Nistrup Jørgensen, Lise/Miedaner, Thomas: Ergot infection in winter rye hybrids shows differential contribution of male and female genotypes and environment. Euphytica 2020, Bd. 216, 65. https://doi.org/10.1007/s10681-020-02600-2

Kottmann, Lorenz/Feike, Til/Fromme, Joachim/Kucherova, Veronika/Gabriel, Doreen/Hackauf, Bernd: Einfluss des Kurzstrohgens *Ddw1* auf das Wurzelsystem von Winterroggen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 2021, Bd. 32, S. 249-250.

Laidig, Friedrich/Piepho, Hans-Peter/Rentel, Dirk/ Drobek, Thomas/Meyer, Uwe/Huesken, Alexandra: Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years. Theoretical and Applied Genetics 2017, Bd. 130, S. 981-998. https://doi.org/10.1007/s00122-017-2865-9

Lebesmühlbacher, Jordan/Hage-Ahmed, Karin/Grausgruber, Heinrich: Mykorrhizierung unterschiedlicher Roggensorten unter konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel, Veterinär- und Agrarwesen (Hg.), Makro- und Nanoplastik – vom Boden und Wasser auf den Teller, Tagungsbericht 2022, 30.-31. Mai, Graz. Wien: ALVA 2022, S. 269-272.

McLeod, J. Grant/Gan, Yantai: Hazlet winter rye. Canadian Journal of Plant Sciences 2008, Bd. 88, S. 527-529.

Miedaner, Thomas/Hübner, Marlen: Qualitätsansprüche für unterschiedliche Verwendungszwecke bei Hybridroggen. In: Vereinigung der Pflanzenzüchter und

Saatgutkaufleute Österreichs (Hg.), 61. Jahrestagung 2010, 23.-25. November, Raumberg Gumpenstein. Irdning: LFZ Raumberg-Gumpenstein 2011, S. 45-49.

Miedaner, Thomas/Kodisch, Anna/Raditschnig, Armin/Eifler, Jakob: Ergot alkaloid contents in hybrid rye are reduced by breeding. Agriculture 2021, Bd. 11, 526. https://doi.org/10.3390/agriculture11060526

Musmann, Dörthe/Jansen, Gisela/Jürgens, Hans-Ulrich/Kusterer, Barbara/Fromme, Franz Joachim/Hackauf, Bernd: High throughput analysis of grain quality parameters for hybrid rye breeding. In: Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs (Hg.), 64. Jahrestagung 2013, 23.-25. November, Raumberg Gumpenstein. Irdning: LFZ Raumberg-Gumpenstein 2014, S. 17.

Oberforster, Michael/Werteker, Manfred: Inverse und nicht inverse Beziehungen von Kornertrag und Qualität im österreichischen Sortenspektrum von Weizen, Gerste und Roggen. In: Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs (Hg.), 61. Jahrestagung 2010, 23.-25. November, Raumberg Gumpenstein. Irdning: LFZ Raumberg-Gumpenstein 2011, S. 9-17.

Oljača, Snežana I./ Dolijanović, Željko K./Glamočlija, Đorđe N./Đorđević, Snežana S./Oljača, Jasmina M.: Productivity of winter rye in organic vs. conventional cropping system. Journal of Agricultural Sciences, Belgrade 2010, Bd. 55, S. 123-129. https://doi.org/10.2298/JAS1002123O

Riedesel, Ludwig/Laidig, Friedrich/Hadasch, Steffen/Rentel, Dirk/Hackauf, Bernd/Piepho, Hans-Peter/Feike, Til: Rye breeding promotes climate change mitigation. In: Lohwasser, Ulrike & Börner, Andreas (Hg.), Book of Abstracts, International Symposium on Rye Breeding & Genetics, 21-22 June. Gaterleben: EUCARPIA 2021, S. 31.

Riedesel, Ludwig/Laidig, Friedrich/Hadasch, Steffen/Rentel, Dirk/Hackauf, Bernd/Piepho, Hans-Peter/Feike, Til: Breeding progress reduces carbon footprints of wheat and rye. Journal of Cleaner Production 2022, Bd. 377, 134326. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134326

Shawon, Ashifur R./Bergjord Olsen, Anne Kari/Waalen, Wendy/Kottmann, Lorenz/Hackauf, Bernd/Feike, Til: Developing a crop model for simulating rye growth, development, and yield. In: Lohwasser, Ulrike & Börner, Andreas (Hg.), Book of Abstracts, International Symposium on Rye Breeding & Genetics, 21-22 June. Gaterleben: EUCARPIA 2021, S. 30.

Shawon, Ashifur R./Memic, Emir/Bergjord Olsen, Anne K./Kottmann, Lorenz/Hackauf, Bernd/Feike, Til: Adapting the CERES model to simulate growth and production of cereal rye. In: Book of Abstracts, 17th Congress of the European Society for Agronomy, 29 Aug-2 Sep, Potsdam. Müncheberg: Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) 2022, S. 280-281.

Shewry, Peter R./ Hassall, Kirsty L./Grausgruber, Heinrich/ Andersson, Annica A. M./Lampi, Anna-Maija/Piironen, Vieno/Rakszegi, Marianna/Ward, Jane L./Lovegrove, Alison: Do modern types of wheat have lower quality for human health? Nutrition Bulletin 2020, Bd. 45, S. 362-373. https://doi.org/10.1111/nbu.12461

Söder, Mareike/Berg-Mohnicke, Michael/Bittner, Marlene/Ernst, Stefan/Feike, Til/Frühauf, Cathleen/Golla, Burkhard/Jänicke, Clemens/Jorzig, Christian/Leppelt, Thomas/Liedtke, Marco/Möller, Markus/Nendel, Claas/Offermann, Frank/Riedesel, Ludwig/Romanova, Vanya/Schmitt, Jonas/Schulz, Susanne/Seserman, Diana-Maria/Shawon, Ashifur Rahman: Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag). Thünen Working Paper 198. Braunschweig: Thünen-Institut 2022.

Tambussi, Eduardo A./Bort, Jordi/Guiamet, Juan José: The photosynthetic role of ears in C_3 cereals: metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. Critical Reviews in Plant Sciences 2007, Bd. 26, S. 1-16. https://doi.org/10.1080/07352680601147901

Thorup-Kristensen, Kristian/Bodin Dresbøll, Dorte/Kristensen, Hanne L.: Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. European Journal of Agronomy 2012, Bd. 37, S. 66-82. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.11.004

Abkürzungen

AGES	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
cm	Zentimeter
cP	Centi-Poise
DDW	Kurzstroh-Experimentalhybride (*dominant dwarfing*)
EHO	Edelhof
dt/ha	Dezitonnen pro Hektar
g	Gramm
GFPi	Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation
HFN	Fallzahl nach Hagberg-Perten
HLG	Hektolitergewicht
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
kg/hL	Kilogramm pro Hektoliter
LUKE	Luonnonvarakeskus (Natural Resources Institute Finland)
mL	Milliliter
N	Langstroh-Experimentalhybride (Normaltyp)
NIRS	Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
RAC	Raasdorf konventionell
RAO	Raasdorf biologisch
RPRT	Rohproteingehalt
RVA	Rapid Visco Analyser
SNP	Single-Nucleotid-Polymorphism (Mikrosatelliten)
STAR	Rohstärkegehalt
TAX	Gesamtgehalt an Arabinoxylanen
VISC	Viskosität (Rapid Visco Analyser)
WEAX	Gehalt an wasserlöslichen Arabinoxylanen

Heinrich Grausgruber
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Pflanzenzüchtung,
Konrad-Lorenz-Str. 24, 3430 Tulln an der Donau
https://boku.ac.at/dnw/pz