



# Schlussbericht zum Thema

**Entwicklung von Methoden für die  
züchterische Weiterentwicklung von  
Einkorn als Brot- und Kochgetreide für  
Ökologischen Anbau unter besonderer  
Berücksichtigung von Verträglichkeit und  
artspezifisch wertgebenden  
Inhaltsstoffen**

**FKZ: 2815OE054**

**Projektnehmer: Cultivari  
Getreidezüchtungsforschung Darzau gGmbH**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung  
und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages im Rahmen des  
Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau Landwirtschaft (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter [www.bundesprogramm.de](http://www.bundesprogramm.de)

**Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau  
Deichmanns Aue 29  
53179 Bonn  
Tel: 0228-6845-3280  
E-Mail: [boel@ble.de](mailto:boel@ble.de)

Entwicklung von Methoden für die züchterische Weiterentwicklung von  
Einkorn als Brot- und Kochgetreide für Ökologischen Anbau  
unter besonderer Berücksichtigung von Verträglichkeit  
und artspezifisch wertgebenden Inhaltsstoffen

Abschlussbericht

Förderkennzeichen 2815OE054



Laufzeit: Sept. 2019 – Dez. 2022

vorgelegt von  
Yazdan Vaziritabar

Zuwendungsempfänger:



29490 Neu Darchau, Hof Darzau 1

Gefördert durch



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Entwicklung von Methoden für die züchterische Weiterentwicklung von Einkorn als Brot- und Kochgetreide für Ökologischen Anbau unter besonderer Berücksichtigung von Verträglichkeit und artspezifisch wertgebenden Inhaltsstoffen (Optimaleinkorn)

Yazdan Vaziritabar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cultivari Getreidezüchtungsforschung Darzau gGmbH  
29490 Neu Darchau, Hof Darzau 1  
Tel.: 05853-980980  
office@cultivari.de

## Kurzfassung

Die primäre Aufgabenstellung des Projektes lag darin, verschiedene Eigenschaften von Einkorn zu untersuchen, um gegebenenfalls mit der Umsetzung in neue Sorten Einkorn für Anbauer und Verarbeiter interessanter zu machen. Anbauphysiologisch spielten hierbei Beikrautkonkurrenz, Stinkbrandresistenz und Ertrag die Hauptrolle. Hinsichtlich der Verarbeitung sollte auf Verwendung als Backware und Kochgetreide nach hydrothermischem Aufschluss unter Berücksichtigung indirekter Parameter wie dem Soft-Wheat-Gluten-Index, SDS-Sedimentation, Kornhärte, Fallzahl und Korngröße untersucht werden. Außerdem sollte die Verträglichkeit von Einkorn gegenüber Weizen und Dinkel mit Hilfe von alpha-Amylase-Trypsin-Inhibitor (ATI) Analysen untersucht werden. Die Ergebnisse zeigten, dass Einkorn deutlich geringe ATI-Gehalte aufwies und nur zwei der aus Weizen bekannten ATI in Einkorn vorhanden waren.

Bei den Erträgen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Standorten. Auf den leichten Böden in Köhlingen waren im Jahr 2020 im Durchschnitt 12,2 dt/ha geerntet worden, aber die höchsten Erträge lagen bei 44,1 dt/ha in Hohenlohe im Jahr 2021. Die Ergebnisse wurden gemeinsam mit dem Backvolumen betrachtet, da auf einen hohen Ertrag bei hohem Backvolumina abgezielt wird. Hierbei fielen drei Zuchtstämme und eine Sorte besonders auf, darunter die Spelzeinkornsorte Enkidu (Ertrag von 32,3 dt/ha, Backvolumen von 63ml/20g Mehl) und der Zuchtstamm DZM1005d (Ertrag 26,6 dt/h, Backvolumen 64 ml/20g Mehl). Die untersuchten Nackteinkornzuchtstämme zeigten sehr hohe Backvolumen bei geringeren Erträgen. Weder der Sedimentationswert noch der Soft-Wheat-Gluten-Index korrelierten mit den Backergebnissen, weshalb diese zur Vorhersage der Backqualität bei Einkorn nicht ausreichen.

Die Gelbpigmentuntersuchungen zeigten eine hoch signifikante Korrelation von  $r=0,90^{***}$  zwischen Lutein und  $\beta$ -Carotin. Außerdem zeigten die Farbmessungen eine hoch signifikante Korrelation von  $r=0,88^{***}$  zu  $\beta$ -Carotin, wenn neben dem b-Wert (Gelbwert) auch der a-Wert (Grün-Rot-Wert) berücksichtigt wurde. Hinsichtlich Stinkbrand zeigten die meisten Zuchtstämme und Sorten (102 von 130 getesteten) eine Resistenz.

## Abstract

The primary task of the project was to examine various properties of einkorn to make it more interesting for growers and processors by converting it into new varieties. In terms of cultivation physiology, weed competition, resistance to common bunt and yield were the main factors. Regarding processing the use as baked goods and cooked grain after hydrothermal digestion should be examined, taking into account indirect parameters such as the Soft-Wheat-Gluten-Index, SDS-sedimentation, grain hardness, falling number and grain size. In addition, the compatibility of einkorn with wheat and spelt should be examined using alpha-amylase trypsin inhibitor (ATI) analyses. The results showed that einkorn had significantly low levels of ATI and only two of the ATI known from wheat were present in einkorn.

There were clear differences between the locations in terms of yield. On the sandy soils in Koehlingen an average of 12.2 dt/ha was harvested in 2020, but the highest yield was 44.1 dt/ha in Hohenlohe in 2021. The results were considered together with the baking volume, because a main objective was high yield with high baking volume. Three breeding lines and one variety stood out, including the hulled einkorn variety Enkidu (yield 32.3 dt/ha, baking volume 63ml/20g flour) and the breeding line DZM1005d (yield 26.6 dt/h, baking volume 64 ml/20g flour). The examined hullless einkorn breeding lines showed very high baking volumes with low yield. Neither the SDS-sedimentation value nor the Soft Wheat Gluten Index correlated with the baking results, which is why these parameters are not sufficient to predict the baking quality of einkorn.

The yellow pigment analysis showed a highly significant correlation of  $r=0.90^{***}$  between lutein and  $\beta$ -carotene analyses and the colour measurements also showed a highly significant correlation of  $r=0.88^{***}$  with  $\beta$ -carotene, if the a-value (green-red value) was taken into account in addition to the b-value (blue-yellow value). Regarding common bunt, most breeding lines and varieties (102 out of 130 tested) showed resistance.

## Inhalt

1. Einführung.....	6
1.1 Gegenstand des Vorhabens .....	6
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts .....	6
1.3 Planung und Ablauf des Projektes .....	6
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand .....	7
3. Material und Methoden.....	9
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	12
5. Diskussion der Ergebnisse .....	21
6. Angaben zum Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	23
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen .....	24
8. Zusammenfassung.....	26
9. Literaturverzeichnis .....	28
10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt.....	29

## Abkürzungsverzeichnis

ATI (Alpha-Amylase-Trypsin-Inhibitor)

Df (Freiheitsgrad)

FZ (Fallzahl)

NCGS (non-allergy-non-celiac-wheat-sensitivity)

NIRS (Nah-Infrarot-Spektroskopie)

n.s. (nicht signifikant)

PSI (Partikelgröße-Index)

SE (Standardfehler)

SKCS (single kernel characterisation system)

SDS-Sedimentation (Sodium-Dodecyl-Sulfat-Sedimentation)

SWGI (Soft Wheat Gluten Index)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Korrelation Ertrag und Backvolumen, Mittelwert über alle Standorte und Jahre hinweg. Nackteinkornlinien sind grün hinterlegt. ....	15
Abbildung 2: Korrelation zwischen Beta-Carotin und Lutein, Köhlingen 2020. ....	19
Abbildung 3: ATI-Gehalt (Peak Area/mg Mehl) von ausgewählten Einkornsorten (Nackt und Spelz) im Vergleich zu Weizen- und Dinkelsorten bei Köhlingen 2020. ....	20
Abbildung 4: ATI-Gehalt (Peak Area /mg Mehl) von ausgewählten Einkornsorten (Nackt und Spelz) im Vergleich zu Dinkelsorten bei Köhlingen 2021. ....	21

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Paarweise Vergleiche der Erträge aus Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	12
Tabelle 2: Korrelation der Erträge zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	13
Tabelle 3: Korrelation der TKGs zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	13
Tabelle 4: Paarweise Vergleiche der TKGs der Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	14
Tabelle 5: Korrelation der Backvolumen zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	15
Tabelle 6: Korrelation des Sedimentationswerts zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	16
Tabelle 7: Korrelation der Fallzahl zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	17
Tabelle 8: Korrelation der Fallzahl zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	17
Tabelle 9: Korrelation der Gelbwerte zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. ....	18
Tabelle 10: Korrelation zwischen das Protein und den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Notes: ....	19

# 1. Einführung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die primäre Aufgabenstellung des Vorhabens lag darin, verschiedene Eigenschaften von Einkornzuchtstämmen zu untersuchen, um Sorten mit möglichst vielen positiven Eigenschaften für Anbauer und Verarbeiter im Hinblick auf eine Nutzbarmachung zu finden.

## 1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Einkorn als Kulturpflanze mit noch geringer Anbaubedeutung, aber besonderem Potential für den Ökologischen Landbau zu befördern, war das übergeordnete Ziel. Die Anbauwürdigkeit sollte unter Aspekten der Beikrautkonkurrenz und Ertragsbildung geprüft werden, sowie die Eignung für Backwaren und die Verwendung als Kochgetreide nach hydrothermischem Aufschluss. Wegen der weichen Konsistenz der Klebereiweiße sollten Mikrobackversuche unter Langzeitteigführung die Basis der Backparameterinterpretation, insbesondere unter Hinzuziehung des SDS-Sedimentationswertes bilden. Die Untersuchungen hinsichtlich Kochgetreide zielten auf eine hohe Ausbeute bei optimaler Beschaffenheit. Eine verbesserte Ressourcenqualität wurde auch durch die Berücksichtigung der Verträglichkeit angestrebt. Dafür sollte die Untersuchung auf die bei den weizenartigen Getreiden besonders in den Fokus geratenen ATI-Gehalte in das Vorhaben integriert werden, um grundlegende Kenntnisse über die Differenzierung innerhalb des Sortimentes zu erhalten und Unterschiede gegenüber Weizen deutlich machen zu können. Ein besonderes Gewicht wurde auch auf die Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Stinkbrand (*Tilletia tritici*), welche für eine gute Eignung unter ökologischen Anbaubedingungen und die Saatguterzeugung unverzichtbar ist, und die Untersuchung spelzenfreidreschender Formen von Einkorn im Hinblick auf deren Nutzbarmachung gelegt. Das Projekt trägt daher nachhaltig zur Förderung der Kulturpflanzenvielfalt in der Fruchtfolge mit gleichzeitiger Anpassung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus bei.

## 1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Der ursprüngliche Arbeitsplan musste im Laufe des Vorhabens angepasst werden. Alle Änderungen wurden im Rahmen der Zwischenberichte angezeigt.

Die Backversuche, welche für 12/2020 und 01/2021 vorgesehen waren, mussten vorgezogen und die Serienuntersuchung für den hydrothermischen Aufschluss bis 02/2021 verschoben werden. Grund war, dass das SKCS (single kernel characterisation system) zur Kornhärtebestimmung an den hydrothermisch aufgeschlossenen Körnern, welches von Perten-Instruments ausgeliehen werden sollte, nicht mehr aus USA verschickt wurde. Bis klar wurde, dass mit keinem SKCS mehr zu rechnen war, weil sich auch in Europa kein Gerät zur Nutzung auftreiben ließ und auch die Herstellung des SKCS von Perten eingestellt wurde, vergingen viele Wochen. Parallel wurde mit der Suche nach einer Alternative zur SKCS-

Kornhärtebestimmung begonnen. Letztendlich wurde die Bestimmung des Partikelgrößeindex (PSI) gewählt. Diese Methode ist leider langsamer als das SKCS. Es konnte ein preiswertes Gebrauchtgerät erworben werden, so dass mittels Ultrazentrifugalmühle vermahlene Proben nun damit gesichtet bzw. fraktioniert werden könnten.

Die ATI-Untersuchungen an den Proben der Ernte 2020 wurden nach der Methode von Sagu et al. (2020) vorgenommen, wodurch eine qualitative und quantitative Differenzierung gleichzeitig möglich wurde. Die eingesparten Mittel dienen dazu, die Untersuchungen an einer repräsentativen Stichprobe der Ernte 2021 von zwei Standorten in identischer Weise vorzunehmen, um zu prüfen, ob die Differenzierungen sortentypisch reproduzierbar, standortabhängig oder rohproteinabhängig waren.

Im Jahr 2022 kam es dann zu einem Totalausfall des extern vergebenen Versuchs bei Ravensmühle (Uckermark) infolge von Kümmerwuchs und extremer Verunkrautung, demgegenüber das Einkorn sich nicht behaupten konnte, wodurch ein dritter Standort für die Auswertungen fehlte.

Leider konnte auch der externe Versuchsstandort bei Rot am See in Hohenlohe nur partiell ausgewertet werden, da eine Vielzahl an Parzellen aufgrund von Staunässe, gefolgt von Trockenstress mangels Erntemenge ertraglich nicht ausgewertet werden konnten.

Außerdem wurde der ursprünglich geplante Workshop durch ein Videoprojekt zur Präsentation der Ergebnisse für die Praxis ersetzt, um eine Verfügbarkeit zu verlängern und eine bessere Verbreitung zu ermöglichen. Da ein eintägiger Workshop, insbesondere aufgrund der nachwirkenden Covid-19-Beschränkungen, nur wenige Verarbeiter und Landwirte erreicht hätte, kann die Einbeziehung neuer Medien für eine länger andauernde Präsenz der Ergebnisse dienlich sein.

## 2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Eine Besonderheit des Einkorns stellt der hohe Gehalt an Gelbpigmenten dar, diese sind bei Getreide definiert als der extrahierbare Teil an Carotinoiden aus dem Endosperm (ICC 2015). Abgesehen von ihrem ernährungsphysiologischen Wert sind Carotinoide hinsichtlich ihres färbenden Effektes von Bedeutung für die Herstellung von Teigwaren (Ziegler et al. 2015). Darüber hinaus wird der Gelbpigmentgehalt mit einem „harmonisch aromatisch, mild süßlich, bis leicht nussigen“ Aroma beschrieben (Münzing 2004). Der mengenmäßig stärkste Vertreter unter den Gelbpigmenten bei den Weizenartigen ist mit einem Anteil von 90–100% das Lutein, dabei ist Lutein gleichmäßig über das Korn verteilt (Mellado-Ortega & Hornero Méndez 2015). Ziegler et al. (2015) stellten bei 15 untersuchten Einkorngenotypen Luteingehalte von 4,03 – 7,83 µg/g Trockenmasse fest. Da Umweltbedingungen hinsichtlich der Luteingehalte eine untergeordnete Rolle spielen, werden die Unterschiede vorwiegend auf vererbte genetische Faktoren zurückgeführt. Züchterische Maßnahmen am Einkorn zur Erhöhung der

Luteingehalte werden daher als vielversprechend erachtet. Die Bestimmung des Luteingehaltes mittels einer schnellen und einfachen Farbmessung (CIE L\*a\*b\*) ist nur wenig untersucht. Humphries et al. (2004) fand für Weichweizen ein hohes Bestimmtheitsmaß ( $r^2 > 0,75$ ) zwischen den b-Farbwerten (für Gelb) und den Gehalten aus HPLC-Bestimmung. Einen etwas geringeren Wert ( $r^2 > 0,69$ ) konnte Fratianni et al. (2005) für Hartweizen feststellen. Für Einkorn sind derlei Untersuchungen nicht bekannt.

Im Hinblick auf die Verträglichkeit von Einkorn gibt es bezüglich der Amylase-Trypsin-Inhibitoren erst sehr wenige Anhaltspunkte. Jedoch konnten einzelne Epitope, welche in polyploiden Weizensorten enthalten sind, im diploiden Einkorn nicht nachgewiesen werden und belegen damit eindeutig die Unterscheidbarkeit der intestinalen Immunreaktion auf diploide Weizenarten (Mölberg et al. 2005 zitiert nach Vaccino et al. 2008). Im Falle von getreide- und glutenhaltigen Lebensmitteln spricht man von einer „non-allergy-non-celiac-wheat-sensitivity“ (NCGS), für welche das Vorkommen von Amylase-Trypsin-Inhibitoren (ATI) als Auslöser angenommen wird (Schuppan & Zavallos 2015, Schuppan et al. 2015). Zavallos et al. (2017) und Geisslitz et al. (2020) konnten für Einkorn die geringsten Gehalte an ATI im Vergleich zu anderen Weizenartigen feststellen. Geisslitz et al. (2020) stellten Einkorn daher für NCGS-Patienten heraus. Inzwischen muss davon ausgegangen werden, dass noch weitere als bisher aus Weizen bekannte ATI in Einkorn (ETI) vorhanden sind (Sielaff et al. 2021).

Zoccatelli et al. (2012) haben Untersuchungen zur Expression von  $\alpha$ -Amylase-Inhibitoren diploider Weizen durchgeführt und deren hemmende Aktivität auf  $\alpha$ -Amylase im menschlichen Speichel untersucht. Im Gegensatz zu *T. monococcum subsp. boeoticum* und *Triticum urartu* konnte für *T. monococcum subsp. monococcum* keine hemmende Wirkung auf die  $\alpha$ -Amylase im menschlichen Speichel nachgewiesen werden. Zoccatelli et al. (2012) ziehen Einkorn daher für die Entwicklung von gesünderen „functional foods“ in Betracht. Aus dem Kenntnisstand ergab sich die Frage, wie sich Genotypen von Einkorn in der Menge und der Zusammensetzung der  $\alpha$ -Amylase- und Proteinase-Inhibitoren voneinander und von heutigen Weizensorten unterscheiden, wenn davon ein größeres Spektrum und nicht nur Platzhalter verwendet werden. Dies dient dazu, Einkorn von anderen Weizenartigen zunehmend deutlicher abgrenzen zu können.

Hinsichtlich der Verarbeitung von Einkorn zu Brot- und Feinbackwaren werden von der Bohlsener Mühle die größten Probleme in der Unsicherheit bezogen auf die Teigkonsistenz gesehen (mündl. Mitteilung, aktualisiert 2018). Aufgrund der klebrigweichen Konsistenz des Klebereiweiß kommen Untersuchungen mit einer Glutomatic nicht in Frage. Allerdings kann bei der Beurteilung von Mikrobrötchen eine Differenzierung hinsichtlich der Konsistenz vorgenommen werden, für die in Darzau aus eigenen Untersuchungen an Weizen mit sehr weicher Konsistenz bereits Erfahrungen vorliegen. Berücksichtigung finden hierbei die Ausrichtung der Porung im Inneren, das Backvolumen und die Dimensionierung mit Hilfe eines Quotienten aus

Höhe zu Durchmesser des Gebäcks. Hinsichtlich der Teigführung empfiehlt sich eine Langzeitführung mit Sauerteig, da diese den Carotinoid-Gehalt, trotz längerem Kontakt zum atmosphärischen Sauerstoff, besser erhält (Antognoni et al. 2017). Generell wird in der Praxis eine Langzeitteigführung von Einkorn mit kalter Wasserzugabe und reduziertem Energieeintrag empfohlen (Diskussionsbeitrag Praxistag Urgetreide am 24.04.2018, Akademie Deutsches Bäckerhandwerk Weinheim). Erste Erfahrungen mit der Herstellung eines Einkorn-Bulgur als Kochgetreide konnte die Firma ErdmannHauser sammeln, wobei Probleme auftraten, die vermutlich mit der Korngröße, der Kornhärte und dem Stärkeverkleisterungsvermögen einhergehen (mündl. Mitteilungen, aktualisiert 2018). Das Testprodukt war hinsichtlich geschmacklicher Feinheit und Kauempfinden jedoch herausragend.

Während die Krankheitsanfälligkeit von Einkorn gegenüber Gelbrost, Braunrost, Schwarzrost und Mehltau überwiegend gering ist, mangelt es noch an aussagekräftigen Untersuchungen zur Brandresistenz. Miedaner & Longin (2012) beschreiben Einkorn aus ersten Erfahrungen heraus als anfällig gegenüber Steinbrand. Bei Untersuchungen der LfL-Freising (mündl. Mitteilung) zur Anfälligkeit gegenüber Stink- und Zwergsteinbrand (*Tilletia tritici*, *T.controversa*) hat sich die Einkornsorte Terzino aber bereits als resistent erwiesen. Von der inzwischen nicht mehr im Handel erhältlichen Sorte Tifi dagegen ist die Anfälligkeit bekannt. Im Hinblick auf die Saatguterzeugung unter ökologischen Anbaubedingungen muss der Stinkbrandanfälligkeit unbedingt Beachtung geschenkt werden, da eine wirksame Behandlung mit den derzeit im Ökolanbau bei Weizenstinkbrandbefall verwendeten Saatgutbehandlungsmitteln Tillecur und Cedomon aufgrund der Aussaat im Spelz mangels vollständiger Benetzung nicht zufriedenstellend möglich ist.

### 3. Material und Methoden

#### **Material**

Die Herkünfte aus den Genbank-Quellen waren in vorausgehenden Vegetationsperioden aus umfangreichen Genbanksortimenten unter dem Gesichtspunkt der Eignung zur Herbstaussaat in der Cultivari Getreidezuchtforschung Darzau gGmbH vorselektiert und für die Untersuchung in Ertragsprüfungen vorvermehrt worden. Dazu kamen die durch Kreuzungen von der Cultivari gGmbH angelegten Zuchtstämme, welche aus Filialgenerationen ab der F 5 stammten.

#### **Standorte**

Im ersten Versuchsjahr 2020 reichte das Probenmaterial erst für einen Standort. Aus diesem Grund wurden im ersten Versuchsjahr 200 Linien und Zuchtstämme am Standort Köhlingen (53°12'44,7" N 10°50'18,0" E) mit lehmigem Sandboden (Ackerzahl: 45) ausgesät. Die Versuchsanlage umfasste je zwei Wiederholungen zu je 7,5m<sup>2</sup>. Im zweiten Versuchsjahr wurde das Untersuchungsset auf 80 Proben reduziert, es kam der Standort Hohenlohe (49°14'34,4"N

9°42'30,6"E) hinzu, welcher sich durch lehmigeren Boden (Ackerzahl: 65) und durchschnittlich höhere Niederschläge auszeichnete. Im dritten Versuchsjahr wurden die Versuche zusätzlich in Ravensmühle (53°31'01.6"N 13°46'57.8"E) in der Uckermark angelegt. Dieser Standort zeichnet sich durch Trockenheit und schwache Böden aus. Im dritten Jahr umfasste das Probenet nurmehr 50 Proben. Somit sollten im dritten Jahr Ergebnisse von drei Standorten vorliegen, jedoch war der Versuche in Ravensmühle durch hohes Ackerwildkrautauflkommen nicht zu beernten und am Standort in Hohenlohe 2022 fielen viele Parzellen aufgrund von Staunässe gefolgt von Trockenstress aus.

## **Methoden**

### Ertrag (dt/ha)

Der Ertrag wurde in g/Plot Feuchtmasse nach einheitlicher Belüftung erfasst und für die Auswertungen in dt/ha umgerechnet. Für Spelzeinkorn wurde der Ertrag mit den Spelzen erfasst.

### Tausendkorngewichte

Für die Bestimmung des Tausendkorngewichtes wurden 100 Körner mittels Kornzählgerät abgezählt, gewogen und mit 10 multipliziert.

### Stinkbrand

Die Körner der verschiedenen Proben wurden als entspelztes Korn mit Stinkbrandsporen inokuliert und in Doppelreihen zu 1m Länge ausgesät. Der Stinkbrandbefall wurde als befallsfrei mit „0“, Befall von einer Ähre mit „1“, sowie Befall von mehr als einer Ähre mit „9“ bonitiert.

### Sodium-Dodecyl-Sulfat-Sedimentation (SDS-Sedimentation)

Micro-Sedimentationsmethode mit 10ml nach MC Donald (publiziert in: Cereal Foods World 30, 1985, 674-677) zur Bestimmung des Aggregatbildungsvermögens der Eiweiße.

### Fallzahl

Die Fallzahl wurde mit dem Fallzahlgerät von Perten nach der Methode ICC Standard Nr.107/1 (1995), AACC Method 56-81B erhoben.

### Weichweizen-Glutenindex (Soft Wheat Gluten Index = SWGI)

Der Soft-Wheat-Gluten-Index wurde mittels Rapid-Visco-Analyzer der Firma Perten ermittelt. Hierfür wurde eine Milchsäurelösung verwendet und eine Messung ohne Erhitzung durchgeführt, basierend auf der Newport Scientific Method Nr. 21, Version 2, 1997 (Die Testzeit wurde auf 3 Minuten reduziert).

### Beta-Carotin

Ausgehend von 1-1,2g Vollkornschrot (<0,25mm) werden in Anlehnung an ICC-Standard-Methode Nr. 152 für die Gelbpigmentbestimmung die Carotinoide mit wassergesättigtem n-Butanol bei Raumtemperatur gelöst und die optische Dichte des klaren Filtrates photometrisch bei 440nm gegen  $\beta$ -Carotin als Vergleichsstandard gemessen. Die Messwerte werden auf mg  $\beta$ -Carotin in 100g Trockensubstanz umgerechnet.

### Lutein

Die Lutein Untersuchungen wurden von BioTeSys in Esslingen mittels der HPLC-Methode (UPLC-Trennung mit UV/Vis-DAD-Auswertung für Lutein) als Auftragsarbeit durchgeführt.

### L\*a\*b\* Farbmessung

Die Gelbwerte wurden mit dem CHROMA METER CR-400 von KONICA MINOLTA für Gelbpigmentbestimmungen durchgeführt. Die Farbe wird als Punkt in einem dreidimensionalen Raum bestimmt.

L= Lightness eine Verschiebung auf der Achse von Schwarz (niedrige) zu weiß (hohe Werte)

a= eine Verschiebung auf der Grün-Rot Achse von Grün (negativ) zu Rot (positiv)

b= eine Verschiebung auf der Blau-Gelb Achse von Blau (negativ) zu Gelb (positiv)

### Mikrobackversuch

Für die Mikrobackversuche wurden 20g Mehl, 2,5% Hefe, 3% Salz und eine individuell, mittels eines Farinogramms des Micro-DoughLAB (Perten), festgelegte Menge Wasser verwendet. Alle Zutaten wurden vermischt und per Hand für drei Minuten geknetet. Im Anschluss ruhten die Proben für 23 Stunden bei 4°C. Danach wurden die Proben für 45 Minuten bei 30°C temperiert und darauffolgend bei 190°C für 17 Minuten gebacken. Das Backvolumen wurde volumetrisch nach der AACC Method 10–05.01 ermittelt.

### Hydrothermischer Aufschluss

Es wurden je Probe 30 g Körner mit je 30 ml kaltem Wasser für 24 Stunden bei Raumtemperatur gewässert. Nach der Wässerung wurden die Proben bei 90°C zum Gelatinisieren für fünf Stunden in den Trockenschrank gestellt. Im Anschluss wurde die Temperatur auf 70°C verringert und die Proben in flacher Schicht und offen für drei Stunden gedarrt. Zur Zerkleinerung zu Bulgur wurde in Ermangelung eines Labor-Kornschnaiders (nirgends erhältlich) eine Ultra-Zentrifugalmühle ohne Siebeinsatz verwendet.

### Kornhärte-Bestimmung mittels Partikelgröße-Index (PSI)

Der PSI wird prozentual angegeben und beschreibt das Gewicht der Schrotprobe, das durch ein 0,075mm Sieb, nach 2-minütigem Sieben mittels Luftstrahlsieb durchgeht, dividiert durch das Gewicht der gesamten Probe mal 100. Die Methode entspricht der AACC Method 55-30.01 und kann zur Kornhärtebestimmung verwendet werden.

### Amylase-Trypsin-Inhibitoren (ATI) Bestimmung

Das Mehl wurde mit 4 M Urea versetztem 100 mM Ammonium-Bicarbonat extrahiert. Im Anschluss wurde basierend auf der LC-MS/MS Methode (Sagu et al. 2020) die verschiedenen ATI qualitativ und quantitativ bestimmt. Die ATI-Bestimmungen wurden als Auftragsarbeit vom IGV Potsdam durchgeführt.

### Protein

Die Proteine wurden prozentual durch Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) bestimmt. Hierzu wurde der Hiperscan Finder V03. serial number FW1351 715. verwendet, welcher durch den

Sensologic Calibration Wizard Version 2.0 kalibriert wurde.

### Statistik

Für Statistische Auswertungen wurde R Version 3.6.3 verwendet. Es wurden die Pakete ggplot and ggrepel genutzt und die Tabelle wurden mittels MS Excel 365 erstellt.

## 4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

### Erträge

Die Sorten und Zuchtstämme präsentierten sich an den verschiedenen Standorten sehr unterschiedlich (Tab.1). Aufgrund des extremen Unkrautauflommens in Ravensmühle im Erntejahr 2022 war keine Ernte möglich. Deswegen werden die Ergebnisse ohne Daten von diesem Standort präsentiert. Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Standorten ( $p < 0,001$ ) hinsichtlich der Erträge. Die Erträge im Jahr 2021 und 2022 am Standort Köhlingen konnten nicht voneinander unterschieden werden.

Tabelle 1: Paarweise Vergleiche der Erträge aus Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. SE= Standardfehler, Df= Freiheitsgrad, Group= Gruppen mit denselben Zahlen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Standort	Mittelwert	SE	Df	Gruppe
Köhlingen 2020	12,2	0,669	176	1
Hohenlohe 2022	19,3	0,669	176	2
Köhlingen 2022	22,2	0,669	176	3
Köhlingen 2021	23,6	0,669	176	3
Hohenlohe 2021	44,1	0,669	176	4

Hierbei ergaben sich die durchschnittlich höchsten Erträge am Standort Hohenlohe im Jahr 2021 mit 44 dt/ha. Der Zuchtstamm Aquino brachte mit 58,2 dt/ha den höchsten Ertrag der am Ende verbliebenen 50 Sorten. Die niedrigsten Erträge fanden sich am Standort Köhlingen im Jahr 2020 mit durchschnittlich 12,1 dt/ha. Hier erzielte die inzwischen offiziell registrierte Sorte Enkidu mit 17,6 dt/ha die höchsten Erträge. Zwischen den Jahren und Standorten waren nur die Erträge zwischen Köhlingen im Jahr 2021 und 2022 nicht signifikant verschieden voneinander (Tab. 1).

Für die Korrelation der Erträge wurden Nackt- und Spelzeinkornsorten gemeinsam betrachtet (Tab. 2), weshalb sich starke Korrelationen zwischen den Erträgen der Standorte ergaben. Betrachtet man Nackt- und Spelzeinkorn getrennt, korrelierten die Erträge der Standorte nicht miteinander, da diese zu nah beieinander lagen. In Hohenlohe kam es im Jahr 2022 zum Ausfall einiger Parzellen, was die Auswertung des Standortes erschwerte und die Zuchtstämme kein eindeutiges Bild hinsichtlich der Erträge zeigten.

Tabelle 2: Korrelation der Erträge zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Anmerkung: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \*=5% \*\* = 1% \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2021	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2021					
Hohenlohe 2022	0,433**				
Köhlingen 2020	0,849***	0,493***			
Köhlingen 2021	0,771***	0,614***	0,863***		
Köhlingen 2022	0,796***	0,435**	0,806***	0,732***	

Die Varianzanalyse zeigte über alle Jahre hinweg, signifikante Unterschiede ( $p=0,027^*$ ) zwischen der Spelzeinkornsorte Enkidu und dem Zuchtstamm DZM1306i gegenüber der Sorte Kipfli. Betrachtet man den Standort Köhlingen allein, zeigen sich ebenso signifikante Unterschiede ( $p=0,026$ ) zwischen den Sorten. Enkidu zeigte signifikant höhere Erträge gegenüber Baggari, Kipfli, dem Zuchtstamm DZM0903b und Aurifex. Am Standort Hohenlohe, gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Spelzeinkornsorten ( $p=0,652$ ). Eine Darstellung der Erträge im Verhältnis zum Backvolumen ist im Kapitel Mikrobackversuch aufgeführt.

### Tausendkorngewichte

Beim Tausendkorngewicht (Körner ohne Spelz) fand sich eine Spannweite von im Mittel 24,0g bis 33,3g. Unter den Mustern mit den höchsten über alle Standorte gemittelten Tausendkorngewichten fanden sich die Nackteinkornzuchtstämme DZM1303d1 (33,8g), DZM1481e1 (33,4g) und DZM1031b (32,2g). Die Standorte korrelierten signifikant miteinander, bis auf Köhlingen 2021 der nicht mit den TKG aus Hohenlohe 2021 und 2022 korreliert war (Tab. 3). Unter den Spelzeinkornsorten zeigten Monlis (28,9g), Monomax (28,8g) und Eichenberger (28,8g) durchschnittlich die höchsten Tausendkorngewichte.

Tabelle 3: Korrelation der TKGs zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Anmerkung: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \*=5% \*\* = 1% \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Mittelwert	SE	Df	Gruppe
Köhlingen 2021	26,3	0,307	176	1
Köhlingen 2020	26,5	0,307	176	1
Köhlingen 2022	27,5	0,307	176	12
Hohenlohe 2021	28,2	0,307	176	2
Hohenlohe 2022	29,5	0,307	176	3

Zwischen den Standorten zeigte Hohenlohe im Jahr 2022 die höchsten TKG-Werte (Tab.4).

Tabelle 4: Paarweise Vergleiche der TKGs der Standorte Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. SE= Standardfehler, Df= Freiheitsgrad, Group= Gruppen mit denselben Zahlen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

	Hohenlohe 2021	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2021					
Hohenlohe 2022	0,538***				
Köhlingen 2020	0,486***	0,422**			
Köhlingen 2021	0,212 n.s.	0,284 n.s.	0,467**		
Köhlingen 2022	0,657***	0,555***	0,682***	0,511***	

### Stinkbrand

Insgesamt hatten nur 14 Proben von 130 getesteten Spelzeinkorn- und Nackteinkorn-Proben Stinkbrand. Bei 14 weiteren Proben konnten nur je eine einzige befallene Ähre gefunden werden. 102 Proben blieben befallsfrei. Eindeutig befallen waren Agru, Huscher, Ungari, Tifi, Rumänien, Aurifex und Serbien, sowie die Zuchtstämme DZM1306p2, DZM1301b1, DZM1201a1, DZM1201d1 und DZM1201d2. Die anfälligen Zuchtstämme waren auf Ungari und Rumänien rückverfolgbar.

### Bedeckung

Die Bedeckung wurde nur am Standort Köhlingen erfasst. Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hinsichtlich der Bedeckung ( $p < 0,001$ ). Die Spannweite der Mittelwerte betrug 40-67,2%. Die paarweisen Vergleiche zeigten, dass sich die Bedeckung in Köhlingen 2021 signifikant zu den anderen Jahren unterschied und die Bedeckung lag im Mittel bei 53,6%. Die einzelnen Jahre, sowie die gemittelten Werte über alle Jahre, zeigten keine Korrelation zwischen Bedeckung und Ertrag. Die Sorten/Zuchtstämme zeigten keine signifikanten Unterschiede zueinander. Unter den Mustern mit den höchsten Bedeckungen und Erträgen über alle Standorte befanden sich Kirado, DZM1203f, DZM0602e. Die Sorte Enkidu mit dem höchsten Durchschnittsertrag zeigte hingegen nur eine mittlere Bodenbedeckung.

### Mikrobackversuch

Die Varianzanalyse der Backversuche zeigte signifikante Unterschiede der Standorte hinsichtlich der Backvolumen ( $p < 0,001$ ). Die paarweisen Vergleiche zeigten, dass Hohenlohe 2022, Hohenlohe 2021 und Köhlingen 2020 sich signifikant von Köhlingen 2021 und Köhlingen 2022 unterschieden. Die Varianzanalyse über alle Jahre und Standorte hinweg zeigte signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen den Linien, jedoch unterschied sich lediglich der Nackteinkornzuchtstamm DZM1034i31 (Nackteinkorn) mit einem Mittelwert von 68,2 ml/20 g Mehl signifikant von den anderen Sorten und Zuchtstämmen. Die zweithöchsten Backvolumina erreichte der Spelzeinkornzuchtstamm DZM1005d mit im Mittel 64,4ml/20g Mehl. Enkidu und der Nackteinkornzuchtstamm DZM1124f lagen mit im Mittel 63,4ml/20g Mehl gleichauf.

Abbildung 1 zeigt die Korrelation zwischen Ertrag in dt/ha und dem Backvolumen in ml/20g Mehl, wofür Mittelwerte über alle Standorte und Jahre hinweg gebildet wurden. Besonders fällt hierbei die Spelzeinkornsorte Enkidu auf, welche einen weit überdurchschnittlichen Ertrag (32,3 dt/ha) und hohes Backvolumen (63ml/20g Mehl) zeigt. Auch der Zuchtstamm DZM1005d4110 mit seinem auffällig hohen Backvolumen (64 ml/20g Mehl) und seinen Erträgen im mittleren Bereich (26,6 dt/ha) sticht deutlich hervor. Außerdem zeigten der Zuchtstamm Kirado und der inzwischen in der Sortenregistrierung befindliche Zuchtstamm Aquino hohe Backvolumina bei mittleren Erträgen. Die Nackteinkornlinien zeigten bei zunehmenden Erträgen eine Abnahme der Backvolumen, was bei den Spelzeinkornlinien weniger ausgeprägt war.

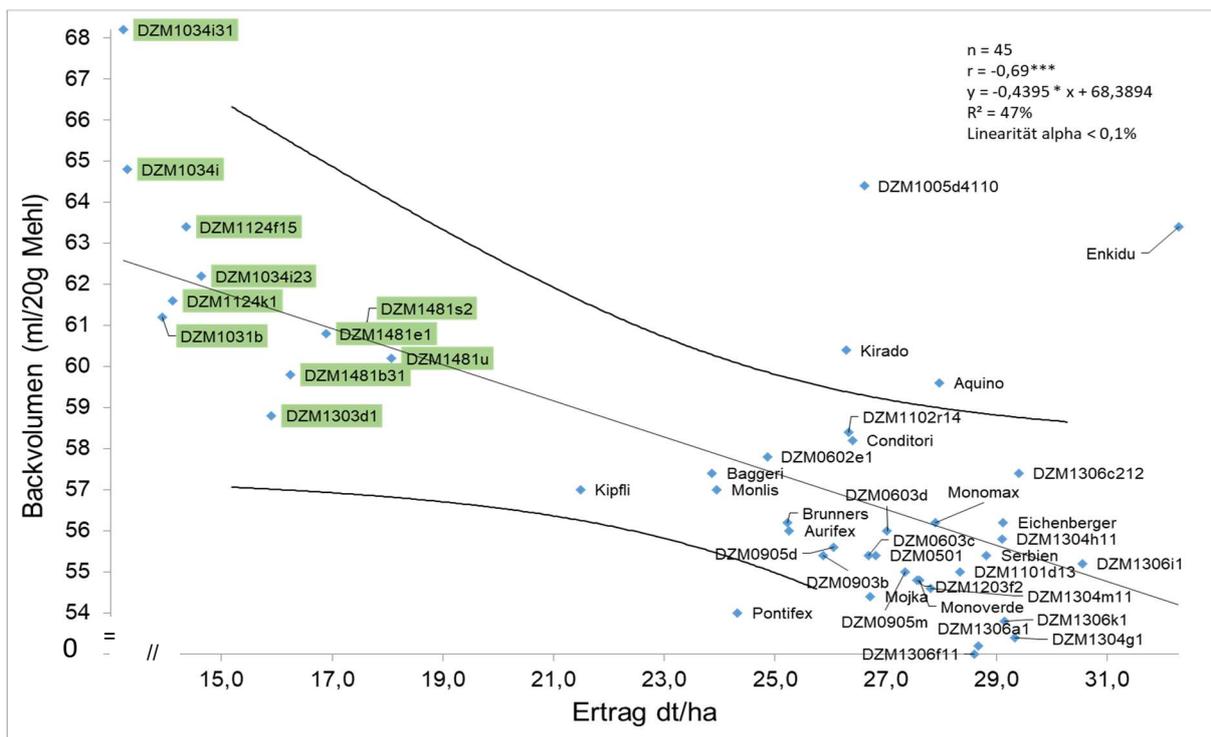


Abbildung 1: Korrelation Ertrag und Backvolumen, Mittelwert über alle Standorte und Jahre hinweg. Nackteinkornlinien sind grün hinterlegt.

Die drei Standorte mit höheren Backvolumina (Hohenlohe 2021, Hohenlohe 2022 und Köhlingen 2020) korrelierten miteinander. Ebenso wie die Standorte mit geringem Backvolumen miteinander korreliert waren (Köhlingen 2021 und Köhlingen 2022) (Tab. 5).

Tabelle 5: Korrelation der Backvolumen zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Anmerkung: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \* = 5% \*\* = 1% \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2021	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2021					
Hohenlohe 2022	0,309*				
Köhlingen 2020	0,626***	0,414**			
Köhlingen 2021	n.s.	n.s.	0,304*		
Köhlingen 2022	n.s.	n.s.	n.s.	0,534***	

Die Backvolumen korrelierten negativ mit den Erträgen am Standort Hohenlohe 2021 ( $r=-0,64^{***}$ ), an dem sowohl die höchsten Gesamterträge wie auch Backvolumen erzielt wurden und am Standort Köhlingen 2020 ( $r=-0,57^{***}$ ), mit insgesamt hohen Backvolumina bei geringen Erträgen. Das Backvolumen war in Hohenlohe negativ mit der Fallzahl korreliert (2021:  $r=-0,57^{***}$ ; 2022:  $r=-0,43^{**}$ ). Der Soft-Wheat-Gluten-Index war in Hohenlohe 2021 mit  $r=0,35^*$  nur sehr schwach mit dem Backvolumen korreliert. Bei den Standorten Köhlingen 2020 und 2022, welche insgesamt niedrige Backvolumina hatten, zeigte der SDS-Wert eine etwas ausgeprägtere Beziehung und korrelierte in 2020 mit  $r=0,43^*$  und in 2021 mit  $r=0,50^{**}$  mit dem Backvolumen. Daneben zeigte auch der Proteinwert in Köhlingen 2021 eine Korrelation von  $r=0,43^*$  zum Backvolumen. Keiner der indirekten Parameter zeigte über alle Jahre hinweg eine Korrelation zum Backvolumen.

### Sodium-Dodecyl-Sulfat (SDS)-Sedimentation

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede der Proben und Standorte hinsichtlich der Backvolumen ( $p<0,001$ ). Die Sedimentationswerte lagen im Mittel zwischen 21,0 und 34,8 ml. Unter den Mustern mit den höchsten über alle Standorte gemittelten SDS fanden sich die Sorten Monomax (34,8 ml) und Baggeri (34,8 ml), gefolgt von Enkidu (30,4 ml). Die Standorte korrelierten signifikant miteinander bis auf Köhlingen 2020, der nur schwach mit den anderen Versuchen korreliert war (Tab. 6). Die paarweisen Vergleiche zeigten, dass sich die Standorte Köhlingen 2021 und Hohenlohe 2021 hinsichtlich des Sedimentationswertes signifikant zu den anderen Standorten unterschieden.

Tabelle 6: Korrelation des Sedimentationswerts zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Anmerkung: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $^*=5\%$   $^{**}=1\%$   $^{***}=0,1\%$  abgelehnt werden (n. s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2021	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2021					
Hohenlohe 2022	0,650 <sup>***</sup>				
Köhlingen 2020	0,305 <sup>*</sup>	0,307 <sup>*</sup>			
Köhlingen 2021	0,629 <sup>***</sup>	0,681 <sup>***</sup>	n.s.		
Köhlingen 2022	0,518 <sup>***</sup>	0,559 <sup>***</sup>	0,593 <sup>***</sup>	0,589 <sup>***</sup>	

### Fallzahl (FZ)

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede der Sorten/Zuchtstämme ( $p=0,01$ ) und Standorte ( $p<0,001$ ) hinsichtlich der Fallzahl. Unter den Mustern mit den höchsten über alle Standorte gemittelten Fallzahlen fanden sich Baggeri (352 Sek.) und Brunners (340 Sek.). Die niedrigste Fallzahl wies Aquino (281 Sek.) auf. Enkidu lag im mittleren Bereich mit einer Fallzahl von im Schnitt 316 Sekunden. Die Standorte korrelierten signifikant miteinander in Köhlingen 2020 und Hohenlohe 2021 ( $r=0,67^{***}$ ) sowie Köhlingen 2020 und Hohenlohe 2022 ( $r=0,464^{**}$ ). Köhlingen 2020 hatte die höchsten Fallzahlen. Es gab eine schwache Korrelation

zwischen Köhlingen 2020 und Köhlingen 2021 (0,40\*\*) (Tab. 7).

Tabelle 7: Korrelation der Fallzahl zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Anmerkung: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \*=5% \*\* = 1% \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2021	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2021					
Hohenlohe 2022	n.s.				
Köhlingen 2020	0,464**	0,666***			
Köhlingen 2021	n.s.	n.s.	0,404**		
Köhlingen 2022	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

### Soft-Wheat-Gluten-Index (SWGI)

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede der Sorten/Zuchtstämme und Standorte hinsichtlich des Soft-Wheat-Gluten-Indexes ( $p < 0,001$ ). Unter den Mustern mit den höchsten über alle Standorte gemittelten SWGI fanden sich der Spelzeinkornzuchtstamm DZM0602e1 (124 visco unites (vu)) und der Nackteinkornzuchtstamm DZM1031b (95,6 vu). Den niedrigsten SWGI hatten die Sorten Pontifex (42,6 vu), Monoverde (42,8 vu) und Aurifex (43 vu). Die Standorte korrelierten signifikant miteinander bis auf Hohenlohe 2021 der lediglich mit Hohenlohe 2022 ( $r = 0,638^{***}$ ) korreliert war (Tab. 8). Hohenlohe 2021 zeigte signifikant höhere SWGI-Werte gegenüber den anderen Standorten mit im Durchschnitt 102 vu.

Tabelle 8: Korrelation der Fallzahl zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Anmerkung: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \*=5% \*\* = 1% \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2021	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2021					
Hohenlohe 2022	0,638***				
Köhlingen 2020	n.s.	0,553***			
Köhlingen 2021	n.s.	0,539***	0,724***		
Köhlingen 2022	n.s.	0,437***	0,837***	0,613***	

### Hydrothermischen Aufschluss

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hinsichtlich der Ausbeute ( $p < 0,001$ ). Die Spannweite der Mittelwerte betrug 72,6 bis 77,6 Prozent. Die paarweisen Vergleiche zeigten, dass sich die Ausbeuten in Köhlingen 2021, als im Mittel um drei Prozent höher, signifikant zu den anderen Jahren unterschied. Die Bulgurausbeute korrelierte mit  $r = 0,394^*$  zwischen den Standorten Köhlingen 2022 und Hohenlohe 2022. Außerdem korrelierten die Bulgurausbeuten zwischen Hohenlohe 2021 und Hohenlohe 2022 schwach  $r = 0,328^*$ . Die Sorten/Zuchtstämme zeigten keine signifikanten Unterschiede zueinander.

## L\*a\*b\*-Farbmessung

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede der Zuchtstämme und Standorte hinsichtlich des Gelbwerts ( $p < 0,001$ ). Die Mittelwerte der Jahre lagen zwischen 14 und 19. Unter den Mustern mit den höchsten über alle Standorte gemittelten Gelbwerten fanden sich die Zuchtstämme DZM0602e1 mit (19) und DZM0603c mit (18,1). Der Nackteinkornzuchtstamm DZM1031b (14) und die Spelzeinkornsorte Baggeri (14,7) hatten geringere Gelbwerte gemittelt über alle Standorte. Die Standorte korrelierten signifikant miteinander (Tab. 9).

Tabelle 9: Korrelation der Gelbwerte zwischen den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Notes: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \*\* = 1% bzw. \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2022				
Köhlingen 2020	0,653***			
Köhlingen 2021	0,606***	0,548***		
Köhlingen 2022	0,572***	0,527***	0,658***	

## Beziehung zwischen Beta-Carotin, Farbmessung und Lutein

Lutein wurde im Jahr 2020 an 30 Proben untersucht, um den Zusammenhang mit  $\beta$ -Carotin zu prüfen und eventuelle Abweichungen aufzufinden. Die Werte lagen zwischen 0,61 mg/100g T.S. (Baggeri) und 1,16 mg/100g T.S. (T.monococcum No.5), gefolgt von den Zuchtstämmen DZM1102t2 mit (1,1 mg/100g T.S.) DZM0603d mit (1,12 mg/100g T.S.), Enkidu mit (1,10 mg/100g T.S.) und Kirado mit (1,02 mg/100g T.S.). Lutein und Beta-Carotin korrelierten sehr stark miteinander  $r = 0,90^{***}$  (Abb. 2). Bei den nach oben von der Regressionslinie abweichenden Proben Aurifex, Monomax und DZM1481g lag eine Verschiebung zu höheren  $\beta$ -Carotin- und niedrigeren Lutein-Gehalten vor, bei den Proben Monoverde, Huscher und DZM1124f, die deutlich nach unten abweichen, eine Verschiebung zu mehr Lutein und weniger  $\beta$ -Carotin als bei den vielen sich um die Regressionsgrade gruppierenden Proben.

Im Jahr 2019 lag der Beta-Carotin-Gehalt zwischen 0,76 mg/100g Trockenmasse und 1,59 mg/100g Trockenmasse. Im Mittel lagen die Werte bei 1,12 mg/100g Trockenmasse. Im Jahr 2020 lagen die Beta-Carotin-Werte etwas höher als aus der Vergangenheit erwartet. Der höchste Wert lag bei 1,99 mg  $\beta$ -Carotin/100g Trockensubstanz, der niedrigste bei 1,05 mg  $\beta$ -Carotin/100g Trockensubstanz. Im Mittel lagen die Werte bei 1,45 mg  $\beta$ -Carotin/100g Trockensubstanz.

Der Gelbwert (b-Wert) der L\*a\*b\*- Farbwertmessungen korrelierte stark ( $r=0,82^{***}$ ) im Jahr 2019 mit den  $\beta$ -Carotingehalten. Die Korrelation wurde mit  $r=0,89^{***}$  noch ausgeprägter wenn die Grün-Rot-Werte (a-Wert) und die L-Werte (Helligkeitswerte) hinzugenommen wurden. Insbesondere die Zunahme der a-Werte verbesserte die Korrelation auf  $r=0,88^{***}$ . Im Jahr 2020 korrelierten die Gelbwerte mit den  $\beta$ -Carotinwerten mit  $r=0,78^{***}$ . Im Jahr 2021 wurden lediglich die Gelbwerte erfasst. Im Jahr 2022 wurde nachvalidiert, wobei sich Korrelationen

zwischen b-Wert und  $\beta$ -Carotin von  $r=0,69^{***}$  ergaben. Unter Hinzuziehung von L und a-Werten, wurde eine Korrelation von  $r=0,86^{***}$  erreicht. Bei der Korrelation der b- und a-Werte mit dem  $\beta$ -Carotingehalte ergab sich bereits eine Korrelation von  $r=0,85^{***}$ . Hohe Beta-Carotin-Werte fanden sich bei niedrigen a- und hohen b-Werten.

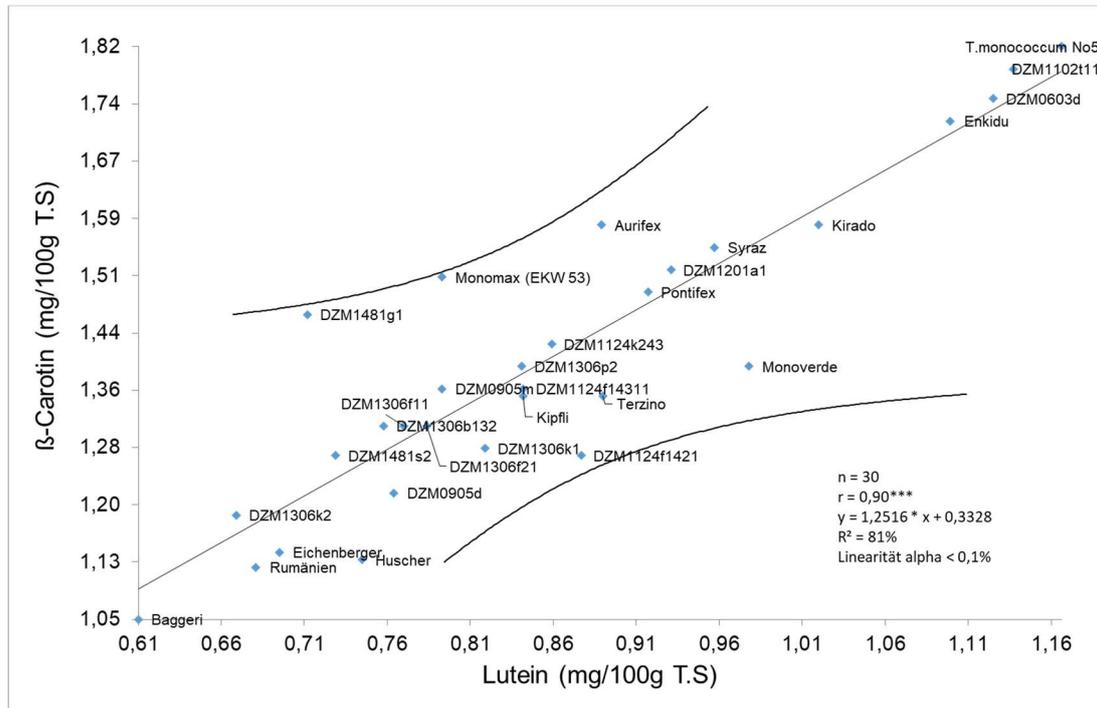


Abbildung 2: Korrelation zwischen Beta-Carotin und Lutein, Köhlingen 2020.

### Protein

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede der Zuchtstämme und Standorte hinsichtlich des Proteingehaltes ( $p < 0,001$ ). Für den Proteingehalt fand sich eine Spannweite von im Mittel 12,3% bis 17,2%. Unter den Mustern mit dem höchsten über alle Standorte gemittelten Proteingehalten fanden sich die Zuchtstämme DZM1031b (17,2%) und DZM1481e1 (16,2%), Enkidu und Kirado hatten je 13% Protein. Die Standorte korrelierten hoch signifikant miteinander (Tab.10). Die paarweisen Vergleiche zeigten, dass sich die Standorte Köhlingen 2021 und Hohenlohe 2022 im Hinblick auf Protein signifikant zu den anderen Standorten unterschieden. Aus Hohenlohe 2021 lagen keine Proteindaten vor. Es gab keine signifikanten Korrelationen zwischen Protein und Backvolumen.

Tabelle 10: Korrelation zwischen das Protein und den Standorten Köhlingen und Hohenlohe 2020-2022. Notes: Die Nullhypothese „es besteht keine Korrelation“ kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von \*\* = 1% bzw. \*\*\* = 0,1% abgelehnt werden (n.s. = nicht signifikant).

	Hohenlohe 2022	Köhlingen 2020	Köhlingen 2021	Köhlingen 2022
Hohenlohe 2022				
Köhlingen 2020	0,581***			
Köhlingen 2021	0,579***	0,511***		
Köhlingen 2022	0,622***	0,774***	0,544***	

## ATI Untersuchungen

Im Jahr 2020 wurde ein Spektrum von 88 Sorten, Zuchtstämmen und genetischen Ressourcen von Winterweizen, die Winterdinkel „Badengold“ und „Oberkulmer Rotkorn“ und die Winterweizen „Ponticus“, „Goldritter“, „Roderik“, „Goldblume“ und „Ackermanns Bayernkönig“ vom Standort Köhlingen (N 53.21209, E 10.83799) zur ATI-Analyse herangezogen. Im Jahr 2021 wurde die Anzahl auf 36 sehr verschiedenartige Proben reduziert, die am Standort Köhlingen (N 53.22747, E 10.83895) und bei Künzelsau (N 49.24235, E 9.70981) angebaut worden waren. Die ATI-Extraktionsmethode basierte auf der LC-MS/MS Methode nach Sagu et al. 2020.

Von zwölf ATI-Proteinen, die in den Weizen und Dinkel gefunden wurden, konnten nur zwei (P93602 und Q43723-Q43691) in Einkorn nachgewiesen werden (Abb.3 & Abb.4). An keinem der drei Standorte konnte eine Korrelation zwischen ATI und Rohprotein gefunden werden. Im Jahr 2020 in Köhlingen erreichten Weizen und Dinkel einen neunmal höheren ATI-Gehalt als Einkorn. Im Jahr 2021 in Köhlingen wies Dinkel sechseinhalb Mal mehr ATI auf als Einkorn. Der Proteingehalt war lediglich in Köhlingen 2020 mit  $r = -0,38^{***}$  mit dem Gesamt-ATI-Gehalt korreliert. In Hohenlohe und Köhlingen 2021 zeigte sich kein Zusammenhang von Protein und ATI. Bemerkenswert ist, dass die Unterschiede im qualitativen Vorkommen der untersuchten ATI beim Einkorn über alle hochdiversen Proben gleich war, insbesondere auch unter Einbeziehung der spelzenfreidreschenden Formen. Bei keiner Einkornprobe kam auch nur eins der anderen zehn untersuchten ATI-Proteine vor! Sortenspezifische ATI-Gehalte konnten aus dem Vergleich der Standorte nicht abgeleitet werden!

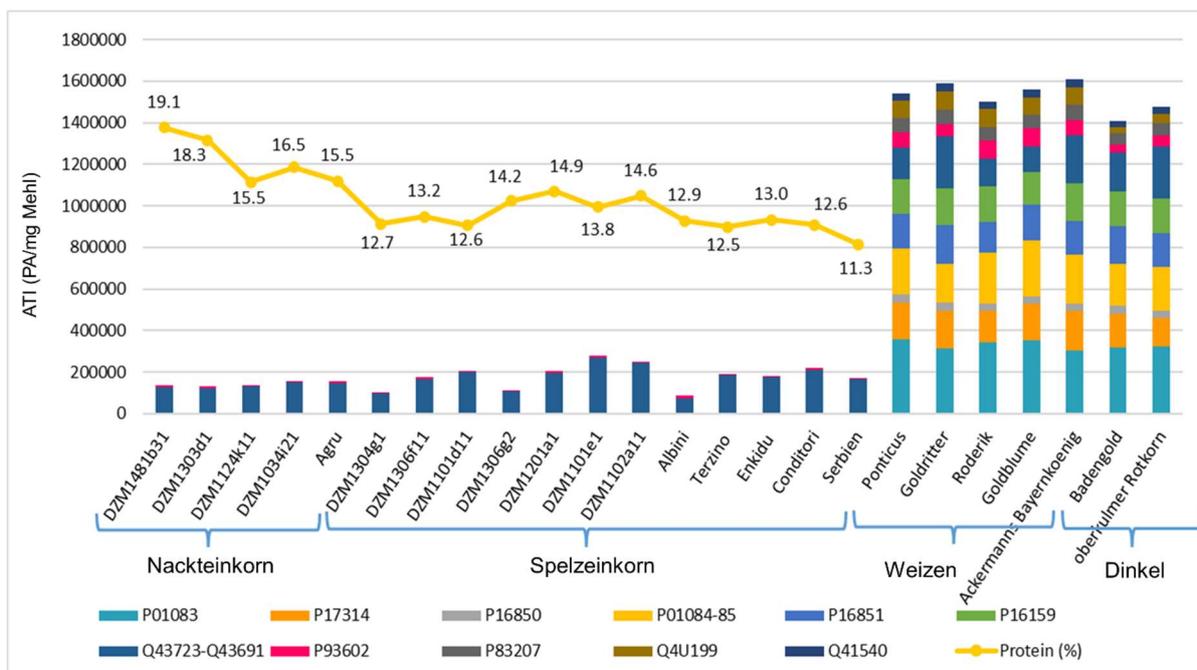


Abbildung 3: ATI-Gehalt (Peak Area/mg Mehl) von ausgewählten Einkornsorten (Nackt und Spelz) im Vergleich zu Weizen- und Dinkelsorten bei Köhlingen 2020.

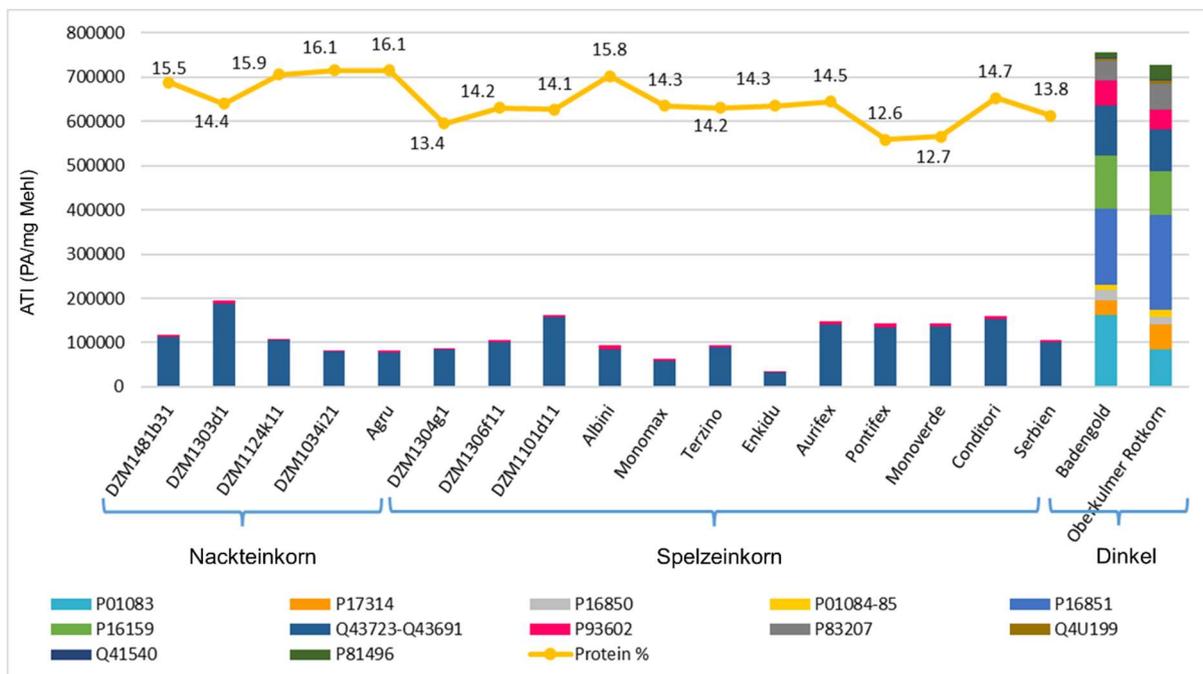


Abbildung 4: ATI-Gehalt (Peak Area /mg Mehl) von ausgewählten Einkornsorten (Nackt und Spelz) im Vergleich zu Dinkelsorten bei Köhlingen 2021.

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Hinsichtlich des **Ertrags** zeigten die Nackteinkornzuchtstämme niedrige Erträge, was sich bereits im Jugendstadium abzeichnete, da hier mehr maschinelle Unkrautunterdrückung benötigt wurde, bis sich die Bestände schließen konnten. Auch eine verminderte Keimfähigkeit durch die brüchigeren Körner führte zu mehr Ausfällen in der Saatreihe, wodurch weniger Konkurrenz gegenüber Ackerwildkräutern gegeben war. Die Ähren der Spelzeinkörner sind gegenüber den Nackteinkornähren länglicher. Beim Nackteinkorn finden sich bei vielen Zuchtstämmen mehr oder weniger häufig taube Blüten. Bei zunehmenden Erträgen wiesen die Nackteinkornsorten geringere Backvolumina auf, im Gegensatz zu den Spelzeinkornsorten, bei denen dieser Zusammenhang fehlte.

Die Sorte Enkidu zeigte überdurchschnittliche Erträge am Standort Köhlingen im Vergleich zu den anderen Zuchtstämmen, während sie in Hohenlohe eher durchschnittlich war. Da Enkidu eine relativ langwüchsige Sorte ist und am Standort Hohenlohe viel Lager auftrat, war es dort nicht von Vorteil im Unterschied zum trockenstressgefährdeten Standort Köhlingen. Kirado zeigte ebenso hohe Backvolumen bei mittleren Erträgen und war aufgrund des kürzeren Wuchses auch weniger lageranfällig, zeigte jedoch im Jahr 2021 eine Anfälligkeit gegenüber Gelbverzwergungsvirus. Kirado zeigte auch eine gute Bodenbedeckung, jedoch hatte die Bedeckung keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag der Zuchtstämme.

Hinsichtlich der Untersuchung auf Resistenz gegenüber **Stinkbrand** (*Tilletia caries*) ist zu

berücksichtigen, dass das auch zur Selektion bei Winterweizen verwendete Inokulum nicht virulent gegenüber den Weizen-Resistenztypen Bt5, Bt7, Bt8, Bt9, Bt10, Bt11, Bt12 und Btz war. Ohne entsprechende Prüfungen mit verschiedenen Stinkbrandrassen kann daher keine Aussage darüber gemacht werden, ob es sich bei den befallsfrei gebliebenen Einkornmustern immer um ein und dieselbe oder verschiedene Resistenzen handelt bzw. ob es inzwischen bereits Standorte gibt, an denen Stinkbrandrassen vorkommen, welche die vorhandenen Resistenzen überwinden können.

Die Ergebnisse der **Mikrobackversuche** zeigten eine deutliche Differenzierbarkeit der Proben hinsichtlich Volumina und Oberfläche, welche sich nicht durch indirekte Parameter einschätzen ließ. Indirekte Qualitätsparameter, wie sie vom Weizen bekannt sind, wie Feuchtklebergehalt und Sedimentationswert waren nicht mit dem Backvolumen korreliert. Im Mittel über alle Jahre zeigten einige Sorten stabil hohe Backvolumen, darunter die Nackteinkornzuchtstämme, die auch größere Körner aufwiesen. Da weder Kleber noch Protein eine Rolle für das Backvolumen spielten und bei den Nackteinkornsorten sogar tendenziell ein negativer Zusammenhang erkennbar war, kann die Menge des Klebers nicht als das entscheidende Kriterium angesehen werden. Inwiefern die Beschaffenheit der Eiweiße eine Rolle spielt, wäre in weiteren Untersuchungen zu klären. Wieser et al. 2009 zeigte bereits auf, dass das Gliadin-Glutenin-Verhältnis in Einkorn im Vergleich zu Weizen in Richtung Gliadin verschoben ist. Ihre Ergebnisse zeigten einen Zusammenhang zwischen dem Anteil an Glutenin und dem Backvolumen. Auch Geislitz et al. 2019 stellten fest, dass bei einer Zunahme an Glutenin und einem niedrigeren Verhältnis von Gliadin zu Glutenin bessere Backvolumina erreicht wurden, wofür die Sorte Monlis als Beispiel aufgeführt wurde. Die Untersuchungen von Cultivari hingegen zeigten, dass Monlis über drei Jahre nur ein mittleres Backvolumen aufwies. Demgegenüber zeigte Geislitz et al. 2019, dass die Zusammensetzung der Proteine einen höheren genetischen als Umwelteinfluss hatte. Jedoch wurden dort nur Proben von süddeutschen Standorten untersucht.

Hinsichtlich der Tauglichkeit von Einkorn als **Kochgetreide**, welches durch hydrothermischen Aufschluss behandelt wurde, zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Sorten. Es gab nicht wie zuvor vermutet Einflüsse von Korngröße oder Kornhärte. Jedoch war das Brechen der behandelten Körner laborbedingt nur durch die Ultrazentrifugalmühle ohne Siebeinsatz möglich, da die Handquetschen und Handmühlen, welche zuvor angedacht waren, zu keinem einheitlichen Ergebnis führten. Die Ergebnisse können nur schwer in die Praxis übertragen werden, da industriell der Prozess stark angepasst werden müsste. Zwischen den Sorten war kein über die Versuchsjahre reproduzierbare Unterschiede zu erkennen, weshalb noch keine Selektion der Zuchtstämme auf Kocheignung möglich erscheint. Nach der hydrothermischen Behandlung waren auch die Farbunterschiede zwischen den Mustern sehr gering, weshalb dieser Parameter unberücksichtigt blieb.

Die ermittelten **Luteinwerte** zeigten ein breiteres Spektrum (0,61-1,16 mg/100g Trockenmasse) als Ziegler et al. (2015) feststellte (0,40-0,78 mg/100g Trockenmasse). Dies kann an dem größeren Spektrum der Untersuchungen, sowie an der Genetik der untersuchten Proben liegen. Die ausgeprägte Korrelation zwischen Lutein- und  **$\beta$ -Carotinuntersuchung** macht es möglich, auf die explizite Bestimmung von Lutein zu verzichten. Da  $\beta$ -Carotin wiederum stark mit den **L\*a\*b-Farbwerten** korreliert war, wenn man b- und a-Wert berücksichtigte, kann die einfache und schnelle Farbmessung sowohl bei der Selektion auf  $\beta$ -Carotin wie auch bei Getreideannahmen in der Praxis verwendet werden. Zu Beginn des Projektes verwies die Firma ErdmannHauser darauf, dass Chargen mit unterschiedlichen Farbqualitäten angeliefert würden, welche sich dann später im Endprodukt bemerkbar machten. Hierzu könnte das L\*a\*b-Farbmessgerät Verwendung finden, um gleichbleibende Qualitäten zu erhalten.

Die erhöhten Werte der Ernte 2020 sind vermutlich auf höhere Niederschläge in Kombination mit niedrigeren Temperaturen bei weniger Sonnenstunden als 2019 zurückzuführen. Auch Groth et al. 2020 stellten einen solchen Wettereinfluss auf die Carotin-Werte fest.

Ein wesentliches Anliegen des Vorhabens war es, Unterschiede bei Einkorn hinsichtlich des **ATI-Gehaltes** im Vergleich zu Weizen und Dinkel festzustellen. Da alpha-Amylase-Trypsin-Inhibitoren in Einkorn noch nicht artspezifisch charakterisiert worden waren, wurden die Untersuchungen an den bekannten Weizenproteinen ausgerichtet (Geißlitz et al., 2020). Inzwischen muss davon ausgegangen werden, dass noch weitere als bisher aus Weizen bekannte ATI in Einkorn vorhanden sind (Sielaff et al. 2021). Im Vergleich zu Weichweizen und Dinkel wurden bei Einkorn insgesamt deutlich weniger ATI gefunden, insbesondere was weizentypische ATI betrifft, und diese Ergebnisse stehen im Einklang mit Call et al. 2020. Der modifizierende Einfluss der Umwelt auf die ATI-Menge war größer als der Einfluss des Genotyps, weshalb auf ein Sortenranking bei den Einkornproben verzichtet werden musste.

## 6. Angaben zum Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Ein direkter Nutzen für die Praxis ergibt sich aus den Ergebnissen zu den auch im Handel erhältlichen Sorten. Die für eher magere und trockenstressgefährdete Standorte herausragende Sorte Enkidu konnte im Verlauf des Vorhabens beim Bundessortenamt registriert und in Nutzung gebracht werden. Darüber hinaus sind die Ergebnisse zu den untersuchten Proben von Nutzen für die züchterische Weiterentwicklung unter Berücksichtigung von insbesondere Backqualität und Gelbpigmentgehalten in Verbindung mit Ertragsfähigkeit. Wenn auch wenig spektakulär, ist das durchgängige Fehlen vieler weizentypischer ATI beim Einkorn an einem beachtlich heterogenen Sortiment dahingehend von Nutzen, dass auf entsprechende Analytik in einer Einkornzüchtung auf Verträglichkeit verzichtet werden kann.

Obwohl die Mikrobackversuche für eine rasche Eingruppierung bei der Warenannahme

ungeeignet sind, erwiesen sie sich als das aktuell sinnvollste Verfahren zur Selektion auf Backqualität und kann von Züchtenden, wie Forschenden und zur Qualitätseinstufung von Lieferpartien verwendet werden. Für die Praxis kann empfohlen werden, in der Sortenwahl auf sortenspezifisch erwartbar bessere Backqualitäten zu setzen und weniger auf Protein. Aufgrund des artspezifisch hohen Gliadinegehaltes wird sich an der ausgeprägten Klebrigkeit von Einkorn Teiglingen wenig ändern lassen. Dass muss in der Verarbeitung nach wie vor berücksichtigt werden, wobei Langzeitteigführungen von Vorteil sein können.

Die Ergebnisse zu den alpha-Amylase-Trypsin-Inhibitoren, zeigen dass alle Einkornzuchtstämme deutlich geringere Gehalte an ATI aufwiesen, wodurch dies nicht für Selektionen berücksichtigt werden muss, jedoch zeigten die deutlichen Unterschiede der Gehalte an den verschiedenen Standorten einen hohen Umwelteinfluss, was für künftige Forschungen Berücksichtigung finden sollte. Die Untersuchungen bezüglich  $\beta$ -Carotin und Lutein gaben Aufschluss über den engen Zusammenhang der beiden Analyseverfahren und mit den  $L^*a^*b^*$ -Farbwertmessungen kann diesbezüglich über den Gelbwert auf einfache Weise der einkorntypische Gelbpigmentgehalt auf hohem Niveau gehalten werden. Auch in der Warenannahme kann die Prüfung Gelbwertes am Feinschrot für die typische Gelbfärbung im späteren Endprodukt sinnvoll sein.

Hinsichtlich der Eigenschaften von Kochgetreide zeigten sich zu geringe Unterschiede bezüglich der Ausbeute und Färbung des Einkornbulgurs, weshalb eine Verbesserung des Merkmals derzeit nicht verfolgenswert erscheint. Da die Ausbeute mit 70% relativ hoch lag, jedoch keine mit der Praxis hinreichend vergleichbare Labormaschinen verfügbar waren und keine der untersuchten Merkmale wie Tausendkorngewicht oder Kornhärte mit der Ausbeute korreliert waren, können diesbezüglich keine sortenspezifischen Empfehlungen gegeben werden.

## 7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

- Mikrobackversuche: Ein schon verfügbarer Mikrobacktest konnte mit Langzeitführung von Hefeteigen bei Temperaturen von 3-4°C über 23 Stunden und einer optimierten Wasserbeigabe durch vorherige Messungen der Proben am Farinographen an Einkorn angepasst werden. Hierbei zeigte sich, dass durch die Klebrigkeit des Teiges eine maschinelle Verarbeitung nur schwer möglich ist, weshalb Einkorn vor allem von Handwerksbäckern oder als Mischbrot industriell verarbeitet werden kann. Auch im Mikrobackversuch musste von Hand geknetet werden. Die Backergebnisse zeigten deutliche Unterschiede in den spelzenfreidreschenden Zuchtstämmen gegenüber den bespelzten Zuchtstämmen. Erfolgreich konnten jedoch Zuchtstämme mittels Backtest selektiert werden, welche sich über die Projektlaufzeit hinweg von anderen absetzten. Der

Backtest zeigte keinen Zusammenhang zu indirekten Parametern, wie zuvor erhofft. Dies hätte für die Selektion Vorteile gehabt, da mit einfachen Tests preiswert Vorhersage getroffen werden können. Jedoch zeigten weder der Klebergehalt ermittelt durch den Soft-Wheat-Gluten-Index noch die SDS-Sedimentation-Werte einen Einfluss auf das Backvolumen zu haben. Um das Verarbeitungspotential von Einkorn zu erkennen, können die Backtests nicht umgangen werden. Eine Kalibrierung der Backvolumen auf ein Nah-Infrarot-Spektroskop war nicht möglich, da das Backvolumen nicht an einzelnen Inhaltsstoffen aus Stickstoff, Sauerstoff oder wasserstoffhaltigen Verbindungen festgemacht werden kann, sondern die Komplexität der Faktoren, welche für die Backqualität eine Rolle spielen, bisher noch zu wenig bekannt ist. Daraus ergeben sich weiterführende Fragestellungen, welche Parameter tatsächlich einen Einfluss auf die Backqualität haben.

- Lutein,  $\beta$ -Carotin, L\*a\*b\*-Farbmessung: Hinsichtlich Lutein- und  $\beta$ -Carotin-Analyse zeigte sich eine enge Korrelation der Werte von  $r=0,90^{***}$ . Bei der Korrelation der L\*a\*b\* Farbwerte mit dem  $\beta$ -Carotinoiden zeigten sich deutlich bessere Korrelationen, wenn nicht nur der b-Wert (möglichst hoch), sondern auch der a-Wert (möglichst niedrig) hinzugenommen wurde. Die L\*a\*b\*-Messung ist eine sehr schnelle und günstige Methode zur Abschätzung der Gelbpigmentgehalte. Mit NIR-Messungen, die auch den Bereich der Wellenlängen im sichtbaren Licht umfassen, wäre dies erwartungsgemäß ebenfalls möglich.
- Kochgetreide: Die Untersuchungen waren von der Erwartung begleitet, sortenspezifische Unterschiede hinsichtlich Kornhärten und Bulgur-Eignung zu finden, jedoch zeigte keiner der Zuchtstämme besondere Auffälligkeiten über Orte und Jahre hinweg, weshalb auf eine Selektion auf spezifische Bulgureignung verzichtet werden kann. Auch zeigten weder Tausendkorngewicht noch Kornhärte in dem insgesamt verfügbaren Wertespektrum einen Einfluss auf die Bulgur-Ausbeute zu haben, so dass die Unterschiede als vernachlässigbar angesehen werden können.
- Der ursprünglich geplante Praxis-Workshop wurde durch ein Videoprojekt zur Präsentation der Ergebnisse für die Praxis ersetzt, da dadurch eine bessere Erreichbarkeit der Akteure erwartet wird. Da ein Workshop nur an einem Tag auch nur wenige Verarbeiter und Landwirte erreichen kann, sollte die Einbeziehung neuer Medien für eine länger andauernde Präsenz der Ergebnisse dienlich sein. Dazu kam eine Verunsicherung in der Planung eines Workshops durch die Corona-Pandemie, welche nur schwer abschätzen ließ, ob, wo und unter welchen Umständen eine solche Veranstaltung ausreichend Teilnehmer anziehen würde.
- Alpha-Amylase-Trypsin-Inhibitoren (ATI): Ziel war es, den ATI-Gehalt und Zusammensetzung der ATIs von Einkorn im Vergleich zu Weizen und Dinkel im ökologischen

Landbau zu untersuchen. Hierbei zeigte Einkorn nur sehr geringe Gehalte der aus Weizen bekannten ATI und es konnten über alle Einkornproben hinweg nur zwei der weizentypischen 12 untersuchten ATI gefunden werden. Erwartete sortenspezifische Unterschiede konnten aufgrund der sehr niedrigen Gehalte an ATI und deren Schwankungen über die Standorte hinweg nicht gefunden werden. Allerdings ist die Komplexität der artspezifischen ATI im Hinblick auf die Verträglichkeit als Nahrungsmittel erst wenig erforscht, um über die Abwesenheit weizen- und dinkeltypischer ATI hinaus belastbare Aussagen machen zu können. Da die Standorte einen hohen Einfluss auf die ATI-Mengen hatten, die sich auch nicht proteingehaltsabhängig interpretieren liessen, ergibt sich die Frage, welche Faktoren für höhere oder niedrigere Gehalte relevant sind.

- Feldparameter: Es sollten neue Zuchtstämme gefunden werden, welche bessere Erträge und auch bessere Backqualität im Vergleich zur seit zwanzig Jahren genutzten Sorte Terzino aufweisen, was mit der Sorte Enkidu und der ebenfalls zur offiziellen Registrierung angemeldeten Sorte Aquino erfolgreich erreicht werden konnte. Außerdem konnte auf Stinkbrandresistenzen evaluiert werden. Da die Nackteinkornzuchtstämme noch sehr geringe Erträge aufwiesen, sind diese allerdings für den Praxiseinsatz durch Einkreuzung ertragreicherer Spelzeinkornsorten züchterisch noch weiter zu verbessern, wann dabei auch mit Rückschlägen in der Freidruscheigenschaft zu rechnen ist.
- Ein weiteres Ziel war die Differenzierung hinsichtlich Standfestigkeit und Beikrautunterdrückung. Standfestigkeit konnte am Standort Köhlingen nicht erfasst werden, lediglich die Pflanzenlänge diente hier als Anhaltspunkt. Nur in Hohenlohe konnte die Standfestigkeit erfasst werden. Die Bedeckung korrelierte mit den Erträgen erst beim Vergleich der Mittelwerte über alle Jahre, nicht jedoch im Einzelversuch. Dass die Bedeckung trotzdem ein wichtiger Faktor ist, zeigte der Versuch bei Ravensmühle (Uckermark), wo sich die Konkurrenzfähigkeit von Einkorn unter sehr schwierigen Bedingungen als zu schwach erwies.

## 8. Zusammenfassung

Die primäre Aufgabenstellung des Vorhabens OptimalEinkorn lag darin, verschiedene Eigenschaften von Einkorn dahingehen zu untersuchen, um es für kurz- und über die Züchtung auch langfristig für Anbauer und Verarbeiter interessanter zu machen. Anbauphysiologisch spielten hierfür Beikrautkonkurrenz, Stinkbrandresistenz und Ertrag die Hauptfaktoren. Hinsichtlich der Verarbeitung sollten Einkornzuchtstämme auf Verwendung als Backware und Kochgetreide nach hydrothermischem Aufschluss unter Berücksichtigung indirekter Parameter wie dem Soft-Wheat-Gluten-Index, SDS-Sedimentation, Kornhärte, Fallzahl, Korngröße untersucht

werden. Hierzu lagen bisher noch keine wissenschaftlichen Ergebnisse vor. Außerdem sollte die Verträglichkeit von Einkorn gegenüber Weizen und Dinkel mithilfe von alpha-Amylase-Trypsin-Inhibitor (ATI) Untersuchungen untersucht werden. Es sollte auf Lutein und  $\beta$ -Carotin untersucht und dies den Farbwertmessungen gegenübergestellt werden.

Bei den Erträgen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Standorten. Auf den leichten Böden in Köhlingen im Jahr 2020 waren im Durchschnitt 12,2 dt/ha geerntet worden, die höchsten Erträge lagen bei 44,1 dt/ha in Hohenlohe im Jahr 2021. Die Ergebnisse waren gemeinsam mit dem Backvolumen aus den Mikro-Backversuchen zu betrachten, da ein Hauptziel ein hoher Ertrag bei hohem Backvolumen war. Hierbei fielen drei Zuchtstämme und eine Sorte besonders auf, darunter die Spelzeinkornsorte Enkidu, welche einen weit überdurchschnittlichen Ertrag (32,3 dt/ha) und Backvolumen (63ml/20g Mehl) zeigte. Auch der Zuchtstamm DZM1005d4110 mit seinen auffällig hohem Backvolumen (64 ml/20g Mehl) und seinen Erträgen im mittleren Bereich (26,6 dt/ha) stach deutlich hervor. Außerdem zeigen der Zuchtstamm Kirado und der in der Sortenanmeldung befindende Zuchtstamm Aquino gute Backvolumen bei mittleren Erträgen. Die untersuchten Nackteinkornsorten zeigten sehr hohe Backvolumen bei geringen Erträgen. Weder der SDS-Sedimentationswert noch der Soft-Wehat-Gluten-Index korrelierten mit den Backergebnissen, weshalb diese nicht zur Vorhersage der Backqualität bei Einkorn dienlich waren. Der Mikrobackversuch zeigte hingegen deutlich Unterschiede hinsichtlich Volumina und Krustenfärbung.

Hinsichtlich der Ausbeute von Kochgetreide, das durch hydrothermischen Aufschluss behandelt und anschließend zu Bulgur gebrochen wurde, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zuchtstämmen, ebenso wenig wie in der Färbung nach der Behandlung. Die Luteinuntersuchungen zeigten eine ausgeprägte Korrelation von  $r=0,90^{***}$  zwischen Lutein und  $\beta$ -Carotin-Analyse, außerdem zeigten die Farbmessungen einen guten Zusammenhang  $r=0,88^{***}$  zu  $\beta$ -Carotin, wenn neben dem b-Wert (blau-gelb-Wert) auch der a-Wert (grünrot-Wert) berücksichtigt wurde. Die Luteinwerte lagen im Bereich zwischen 6,1 und 11,6  $\mu\text{g/g}$  Trockenmasse. Die  $\beta$ -Carotinwerte lagen zwischen 10,5 und 18,2  $\mu\text{g/g}$  Trockenmasse. Die höchsten Werte erreichen T. monococcum No. 5, DZM1102t, DZM0603d sowie Enkidu.

Hinsichtlich Stinkbrand zeigten die meisten Zuchtstämme und Sorten (102 von 130 getesteten) eine Resistenz. Unter den Anfälligen waren die Sorten Agru, Huscher, Ungari, Tifi, Rumänien, Aurifex und Serbien, sowie die Zuchtstämme DZM1306p2, DZM1301b1, DZM1201a1, DZM1201d1 und DZM1201d2. Der Befall der Zuchtstämme ist bedingt durch die Abstammung, so stammt der Zuchtstamm DZM1301b1 aus einer Kreuzung mit Rumänien. Die anderen vier Zuchtstämme stammen von einer Kreuzung mit Ungari.

Während des Projektes konnten Einkornzuchtstämme gefunden werden, welche sich gegenüber anderen Zuchtstämmen hinsichtlich der zu optimierenden Merkmale hervortaten und für die weitere Züchtungsarbeit berücksichtigungswert sind.

## 9. Literaturverzeichnis

- Antognoni.F, Mandrioli.R, Bordoni.A, Di Nunzio.M, Viadel.B, Gallego.E, Villalba.M.P, Tomás-Cobos.L, Taneyo Saa.D.L, Gianotti.A. 2017. Integrated Evaluation of the Potential Health Benefits of Einkorn-Based Breads. *Nutrients* 9(11).
- Call.L, Kapeller, Grausgruber. H, Reiter.E, Schoenlechner.R, D'Amico.S. 2020. Effects of species and breeding on wheat protein composition. *J. Cereal Sci.* 93 (12). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102974>.
- Fратиanni. A, Irano. M, Panfili. G, Acquistucci. R. 2005. Estimation of Color of Durum Wheat. Comparison of WSB, HPLC, and Reflectance Colorimeter Measurements. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* (53), 2373-2378.
- Geisslitz S, Longin CFH, Scherf KA, Koehler P. 2019. Comparative Study on Gluten Protein Composition of Ancient (Einkorn, Emmer and Spelt) and Modern Wheat Species (Durum and Common Wheat). *Foods*. 8(9):409. <https://doi.org/10.3390/foods8090409>
- Geisslitz, S, Longin. C.F.H, Koehler.P, Scherf.K.2020. Comparative quantitative LC–MS/MS analysis of 13 amylase/trypsin inhibitors in ancient and modern Triticum species. *J. Sci Rep* 10, 14570. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71413-z>.
- Growth.S, Wittmann.R, Longin. C.F.H. 2020. Influence of variety and growing location on carotenoid and vitamin E contents of 184 different durum wheat varieties (*Triticum turgidum* ssp. durum) in Germany. *Eur Food Res Technol* 246, 2079–2092. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03557-1>.
- Humphries.J.M, Graham.R.D, Mares.D.J.2004. Application of reflectance colour measurement to the estimation of carotene and lutein content in wheat and triticale. *Journal of Cereal Science*, 40(2), 151-159.
- ICC 2015: [https://www.icc.or.at/standard\\_methods/152](https://www.icc.or.at/standard_methods/152) (Zugriff am 01.10.2015).
- Lehmann.K, Oehen.B.2014. Marktchancen für unternutzte Getreidearten in Bio-Bäckereien: Das Beispiel von Emmer, Einkorn und Dinkel.
- Mellado-Ortega.E, Hornero-Méndez.D.2015. Carotenoids in cereals. An ancient resource with present and future applications. *Phytochem Rev* 14(6), 873-890. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9423-3>.
- Miedaner.T, Longin.F.2012. Unterschätzte Getreidearten. Einkorn, Emmer, Dinkel & Co., Agrimedia.
- Münzing.K. 2004. Einkorn, Emmer und Dinkel–Technologische Ansätze zur Qualitätsförderung–. *Ressortforschung für den ökologischen Landbau*, 1.
- Sagu.S, Zimmermann.L, Landgräber.E, Homann.T, Huschek. G, Özpınar. H, Schweigert. F, Rawel, H. 2020. Comprehensive characterization and relative quantification of  $\alpha$ -amylase/trypsin inhibitors from wheat cultivars by targeted HPLC-MS/MS. *J. Foods* 9 (10), 2020 1448. <https://doi.org/10.3390/foods9101448>.
- Schuppan.D, Zevallos.V. 2015. Wheat Amylase Trypsin Inhibitors as Nutritional Activators of Innate Immunity. *Digestive Diseases* 33(2), 260-263. <https://doi: 10.1159/000371476>.
- Schuppan.D, Pickert.G, Ashfaq-Khan.M, Zevallos.V. 2015. Non-Celiac Wheat Sensitivity: Differential Diagnosis, Triggers and Implications. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology* 29(3), 469-476. <https://doi: 10.1016/j.bpg.2015.04.002>.
- Sielaff.M, Curella.V, Neerukonda.M, Afzal.M, El Hassouni.KH, Distler.U, Schuppan.D, Longin. C, Tenzer.S. 2021. Hybrid QconCAT-Based Targeted Absolute and Data-Independent Acquisition-Based Label-Free Quantification Enables In-Depth Proteomic Characterization of Wheat Amylase/Trypsin Inhibitor Extracts. *J. Proteome Res.* 20 (3), 1544-1557. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.0c00752>.
- Vaccino.P, Becker.HA, Brandolini.A, Salamini.F, Kilian.B. 2009. A catalogue of Triticum

monococcum genes encoding toxic and immunogenic peptides for celiac disease patients. *Molecular Genetics and Genomics*, 281(3), 289-300.

Wieser H, Mueller K, Koehler P. 2009. Studies on the protein composition and baking quality of einkorn lines. *European Food Research and Technology*, 229, 523-532. [10.1007/s00217-009-1081-5](https://doi.org/10.1007/s00217-009-1081-5).

Zevallos.V, Raker.V, Tenzer.S, Jimenez-Calvente.C, Ashfaq-Khan.M, Rüssel.N, Pickert.G, Schild.H, Steinbrink.K, Schuppan.D. 2017. Nutritional Wheat Amylase-Trypsin Inhibitors Promote Intestinal Inflammation via Activation of Myeloid Cells. *Gastroenterology* 152, 1100-1113. [https://doi: 10.1053/j.gastro.2016.12.006](https://doi.org/10.1053/j.gastro.2016.12.006).

Ziegler JU, Wahl S, Würschum T, Longin CFH, Carle R, Schweiggert, RM. 2015. Lutein and lutein esters in whole grain flours made from 75 genotypes of five *Triticum* species grown on multiple sites. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 63(20), 5061-5071. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01477>.

Zoccatelli.G, Segal.M, Bolla.M, Ceconi.D, Vaccino.P, Rizzi Chignola.R, Brandolini.A. 2012. Expression of  $\alpha$ -amylase inhibitors in diploid *Triticum* species. *Food Chemistry*, 135(4), 2643-2649.

## 10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Die Ergebnisse und Methodik der Backversuche wurden auf der 73. Saatgut-Austria Tagung präsentiert unter dem Titel „Suitability of micro baking test to select for quality of organic einkorn in comparison to different parameters over three years“ und werden auf der Cultivari Webseite, sowie bei YouTube zur Verfügung gestellt, wodurch eine Nutzung für andere Züchter und Forschungsinstitute möglich ist. Die Ergebnisse der ATI-Untersuchungen werden bei der Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (WITA) 2023 präsentiert werden. Die Ergebnisse können von der Forschung und Züchtung genutzt werden, um weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Nutzbarmachung von Einkorn im ökologischen Landbau zu erforschen und praktisch umzusetzen.

Tabelle 11: Mittelwertdaten Köhlingen 2020

Name	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	Stinkbrandbefall	Bedeckung (%)	SDS	FZ	SWGf	β-Carotin	b*wert	Bulgur-Ausbeute (%)	PSI	Protein (%T.S)	Backvolumen (ml)
DZM1481b31	6,5	28,9	0	45	20	279	53	1,50	16,0	71,0	25,4	16,0	65
DZM1481e1	5,4	29,4	0	37	22	291	61	1,34	16,0	70,0	27,5	17,2	73
DZM1481s2	5,8	30,1	0	40	19	304	54	1,27	17,0	72,0	27,1	15,9	70
DZM1481u	6,1	30,2	0	40	20	278	64	1,31	17,0	73,0	24,8	16,7	68
DZM1303d1	6,7	39,6	0	42	20	295	58	1,54	18,0	70,0	21,3	17,3	65
DZM1124f15	8,0	26,6	0	42	22	285	40	1,36	17,0	70,0	23,4	14,0	70
DZM1124k1	5,8	25,2	0	45	25	292	49	1,36	17,3	73,0	20,3	16,1	60
DZM1031b	4,0	30,5	0	40	25	328	71	1,10	15,0	70,0	25,3	17,2	63
DZM1034i23	6,3	28,7	0	35	22	286	50	1,77	17,0	70,0	27,0	14,6	63
DZM1034i31	6,2	27,0	0	50	21	286	50	1,77	18,0	65,0	27,1	14,9	79
DZM1034i	6,9	27,0	0	35	21	286	50	1,46	18,0	70,0	26,7	14,9	71
DZM1304g1	14,1	27,7	0	32	22	308	47	1,47	16,7	70,0	19,0	12,7	54
DZM1304h11	14,1	28,2	0	40	20	312	47	1,56	17,1	76,0	21,5	12,2	58
DZM1304m11	13,1	25,9	0	32	22	317	51	1,56	16,2	94,3	36,3	12,1	56
DZM1306a1	13,9	25,1	0	32	22	320	47	1,53	17,6	73,0	21,5	13,4	60
DZM1306c212	16,4	24,9	0	35	21	314	33	1,37	17,8	74,0	22,6	13,1	60
DZM1306f11	13,8	24,1	0	37	22	309	44	1,31	16,6	76,0	20,6	13,2	57
DZM1306i1	15,5	24,4	0	35	20	311	50	1,29	16,5	74,0	19,4	14,1	60
DZM1306k1	16,0	25,4	0	22	19	311	49	1,46	16,9	72,0	13,5	13,7	50
DZM1203f2	14,8	23,2	0	40	22	312	41	1,46	16,9	73,0	17,9	11,6	60
DZM1101d13	12,3	24,5	0	40	20	306	43	1,83	17,4	72,0	19,4	12,6	55
DZM1102r14	11,8	22,6	0	45	24	314	46	1,77	17,2	71,0	12,1	11,5	63
DZM0603c	14,7	24,3	0	45	22	319	46	1,05	20,1	69,0	17,6	14,1	56
DZM0602e1	15,1	25,6	0	47	22	318	59	1,31	19,4	72,0	15,7	15,0	55
Baggeri	13,5	25,5	0	45	30	344	47	1,51	14,7	78,0	19,4	13,8	57
Monlis	12,2	29,7	0	40	19	305	32	1,35	16,3	73,0	14,5	13,2	50
Monomax	15,2	28,7	0	37	27	314	39	1,92	17,2	72,0	15,7	13,2	60
Kipfli	13,3	21,5	0	35	20	301	37	1,58	16,4	71,0	15,9	13,6	60
DZM0903b	13,6	25,0	0	32	25	325	46	1,72	18,5	70,0	17,4	13,2	58
Kirado	15,6	25,4	0	37	28	310	40	1,60	16,6	68,0	13,0	12,1	64
Enkidu	17,6	24,5	0	37	27	299	40	1,72	17,7	74,0	15,0	12,1	66
DZM1005d41	16,9	22,5	0	40	26	325	48	1,58	18,2	74,0	16,0	13,0	63
Aquino	14,5	26,5	0	40	37	317	49	1,49	16,0	75,0	13,0	15,6	66
Aurifex	12,3	26,0	9	37	26	303	35	1,14	17,2	73,0	12,0	12,5	60
Pontifex	12,6	24,7	0	42	26	298	33	1,39	17,4	73,0	14,0	12,6	53
Eichenberger	13,0	30,7	0	50	22	304	48	1,16	16,2	75,0	12,8	13,6	54
Monoverde	14,3	24,3	0	42	26	299	33	1,26	16,7	75,4	13,0	12,7	60
DZM0905d	12,8	27,1	0	45	18	301	45	1,85	14,6	74,0	14,0	12,9	60
Mojka	13,9	29,1	0	47	22	310	45	1,75	16,8	74,0	12,9	12,6	55
DZM0905m	12,6	26,4	0	35	20	305	45	1,53	17,1	74,0	12,8	13,9	55
Brunners	15,2	23,8	0	45	20	296	49	1,51	18,1	77,0	11,0	13,1	60
DZM0603d	14,5	25,9	0	47	24	300	34	1,62	18,2	78,0	11,5	12,6	57
DZM0501	13,2	25,4	0	40	28	303	49	1,50	18,4	75,0	14,0	13,8	51
Conditori	14,0	25,3	0	35	25	308	43	1,34	16,4	80,0	14,0	12,6	63
Serbien	14,7	24,8	9	35	18	296	41	1,27	17,8	70,5	15,0	11,3	58

Tabelle 12: Mittelwertdaten Köhlingen 2021

Name	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	Stinkbrandbefall	Bedeckung (%)	SDS	FZ	SWGI	b*wert	Bulgur-Ausbeute (%)	PSI	Protein (%T. S)	Backvolumen (ml)
DZM1481b31	14,5	27,3	0	80	24	314	59	16,9	81,6	39,6	15,5	45
DZM1481e1	14,6	30,4	0	80	26	334	81	14,2	82,3	39,0	15,6	38
DZM1481s2	15,2	30,6	0	55	24	316	58	15,6	87,6	38,8	14,9	50
DZM1481u	17,1	28,3	0	55	25	324	82	16,7	80,2	37,8	14,5	49
DZM1303d1	13,7	29,2	0	60	30	309	62	16,9	91,9	45,6	14,4	49
DZM1124f15	10,3	25,7	0	65	26	323	61	15,7	62,0	44,5	15,5	52
DZM1124k1	14,5	27,1	0	70	26	293	62	15,5	72,8	33,6	15,9	50
DZM1031b	11,1	33,3	0	75	30	330	101	13,4	71,2	37,1	17,3	56
DZM1034i23	11,1	27,1	0	55	28	310	85	15,1	76,6	35,8	16,1	53
DZM1034i31	7,3	28,3	0	55	26	342	88	16,7	59,2	33,7	16,1	53
DZM1034i	7,3	25,6	0	55	27	306	95	13,4	67,4	33,7	16,1	48
DZM1304g1	27,9	25,6	0	75	31	320	49	14,6	80,2	33,2	13,4	41
DZM1304h11	28,5	25,6	0	70	30	325	60	14,8	81,3	31,4	13,8	43
DZM1304m11	32,0	25,4	0	55	31	309	66	14,3	94,3	36,3	13,2	38
DZM1306a1	31,7	24,8	0	75	30	334	56	14,5	92,4	30,7	13,9	38
DZM1306c212	24,7	25,3	0	65	25	320	42	16,2	68,3	30,8	13,8	38
DZM1306f11	28,8	29,4	0	77	27	326	54	15,5	92,6	33,8	14,2	37
DZM1306i1	28,3	25,4	0	75	26	335	66	14,4	86,7	43,3	14,2	40
DZM1306k1	27,7	23,5	0	70	26	331	53	14,9	85,7	34,6	13,7	39
DZM1203f2	27,5	22,4	0	75	27	322	47	14,5	91,8	32,3	14,0	42
DZM1101d13	25,1	22,3	0	72	30	339	56	14,5	95,7	44,2	14,1	45
DZM1102r14	24,8	23,7	0	62	26	331	97	14,4	93,5	40,3	15,2	47
DZM0603c	28,7	23,1	0	75	29	322	63	16,2	79,7	36,3	15,0	46
DZM0602e1	30,3	23,7	0	70	29	322	63	19,4	79,7	37,0	16,2	45
Baggeri	18,8	27,4	0	72	45	361	60	14,3	78,6	45,8	16,5	49
Monlis	26,6	28,9	0	75	34	329	33	14,8	76,1	42,1	14,4	50
Monomax	29,8	28,5	0	75	47	320	47	16,3	80,2	45,2	14,5	49
Kipfli	20,8	24,4	0	77	27	319	49	14,5	74,3	40,9	16,8	50
DZM0903b	18,3	28,8	0	47	30	351	63	16,1	86,2	39,6	14,9	48
Kirado	26,7	23,4	0	75	35	359	68	13,9	76,1	40,0	14,3	58
Enkidu	36,9	37,4	0	67	35	316	49	16,3	70,5	32,2	14,0	59
DZM1005d41	26,5	23,1	0	72	34	315	65	16,1	70,3	37,3	13,8	60
Aquino	22,3	24,5	0	75	26	315	59	14,7	77,5	37,0	14,8	48
Aurifex	27,1	24,4	9	57	36	316	33	16,7	70,2	41,1	14,5	47
Pontifex	28,4	24,4	0	65	36	309	33	16,6	71,3	36,0	15,0	47
Eichenberger	29,7	28,1	0	60	24	324	58	14,7	64,3	32,2	14,8	48
Monoverde	27,6	23,5	0	67	44	321	36	16,7	74,6	37,2	14,3	47
DZM0905d	26,9	26,8	0	67	41	316	59	15,5	70,6	34,4	15,0	48
Mojka	29,4	25,1	0	62	47	332	50	15,7	65,2	44,8	14,2	49
DZM0905m	23,3	25,5	0	52	37	333	50	17,1	68,8	33,4	15,2	50
Brunners	29,4	23	0	72	36	333	76	16,2	68,4	38,2	14,9	49
DZM0603d	28,7	26,1	0	75	34	293	46	16,7	72,2	37,2	15,1	48
DZM0501	26,3	27	0	52	38	294	55	16,2	71,7	35,5	14,6	47
Conditori	24,1	25,4	0	62	32	323	65	15,1	76,8	36,6	14,7	48
Serbien	31,5	24,3	9	70	38	321	46	16,9	69,9	35,4	13,8	47

Tabelle 13: Mittelwertdaten Köhlingen2022

Name	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	Stinkbrandbefall	Bedeckung (%)	SDS	FZ	SWGf	β-Carotin	b*wert	Bulgur-Ausbeute (%)	PSI	Protein (%T. S)	Backvolumen (ml)
DZM1481b31	15,1	35,9	0	60	18	329	63	1,13	17,5	75,0	45,8	15,5	56
DZM1481e1	16,2	36,1	0	65	18	334	68	1,13	16,1	72,3	39,1	15,7	53
DZM1481s2	16,7	31,3	0	65	18	345	47	0,99	15,5	68,7	38,5	14,2	46
DZM1481u	17,9	32,7	0	65	17	351	52	1,21	17,0	74,4	38,1	14,1	48
DZM1303d1	12,1	32,6	0	35	17	343	57	1,30	17,1	72,8	41,0	14,9	53
DZM1124f15	16,2	29,8	0	45	18	334	32	1,20	17,0	71,8	36,1	13,8	62
DZM1124k1	11,2	30,6	0	45	22	340	52	1,19	15,3	73,5	43,7	15,9	60
DZM1031b	11,9	36,3	0	55	20	291	113	0,81	13,5	73,2	36,8	17,2	59
DZM1034i23	19,9	32,5	0	50	18	332	43	1,11	15,2	67,7	33,4	12,9	55
DZM1034i31	17,3	30,7	0	50	18	343	41	1,40	16,5	65,4	40,3	13,8	65
DZM1034i	17,3	30,3	0	50	18	344	42	1,40	15,2	68,3	31,9	13,8	65
DZM1304g1	30,0	27,3	0	55	17	337	43	1,28	16,4	72,3	33,3	12,5	50
DZM1304h11	27,1	28,0	0	52	18	342	48	1,29	16,4	78,8	31,3	12,5	50
DZM1304m11	25,8	24,4	0	52	18	349	54	1,27	15,9	73,6	35,2	12,9	56
DZM1306a1	23,0	25,6	0	45	18	353	51	1,15	16,7	72,5	33,0	13,4	50
DZM1306c212	26,3	23,5	0	47	18	353	30	1,30	17,5	69,3	34,4	12,8	55
DZM1306f11	23,2	26,4	0	47	18	324	42	1,12	16,0	73,4	35,6	13,4	52
DZM1306i1	27,0	25,3	0	45	18	360	43	1,20	15,7	71,2	31,3	13,2	54
DZM1306k1	25,6	25,8	0	55	17	326	42	1,30	15,8	71,3	38,8	13,1	56
DZM1203f2	26,4	24,6	0	60	18	335	35	1,12	16,2	72,5	36,4	12,2	50
DZM1101d13	24,5	26,4	0	55	18	353	42	1,50	15,1	72,5	29,4	11,5	50
DZM1102r14	25,6	25,8	0	55	18	315	49	1,30	16,8	70,7	36,8	12,7	55
DZM0603c	25,0	24,5	0	50	16	337	41	1,60	18,0	74,5	33,1	12,7	56
DZM0602e1	25,0	23,0	0	70	17	334	64	1,54	18,1	76,8	35,2	14,2	55
Baggeri	22,8	25,0	0	57	24	365	58	1,19	15,1	73,1	36,9	13,5	65
Monlis	22,7	28,1	0	60	20	360	31	1,30	17,7	75,6	42,6	11,9	67
Monomax	23,5	29,6	0	57	24	338	38	1,10	16,0	73,0	38,4	12,6	55
Kipfli	20,9	24,0	0	77	22	330	37	1,20	15,8	74,0	33,2	13,7	57
DZM0903b	25,1	26,9	0	60	21	350	43	1,57	17,1	74,1	35,4	12,5	52
Kirado	26,0	27,1	0	65	22	349	42	1,07	14,8	72,6	37,9	12,9	63
Enkidu	29,1	24,6	0	55	24	341	41	1,45	17,8	73,1	35,7	13,1	65
DZM1005d41	18,9	24,0	0	62	24	349	54	1,24	16,6	73,4	43,4	13,9	67
Aquino	26,2	26,4	0	45	22	322	52	1,21	17,3	74,2	40,0	13,0	55
Aurifex	17,6	26,0	9	47	24	346	28	1,18	16,9	73,7	37,0	13,8	59
Pontifex	20,4	26,3	0	52	22	340	28	1,16	16,9	73,9	49,0	12,5	55
Eichenberger	28,9	27,2	0	55	22	344	45	0,96	15,9	73,9	37,4	13,2	56
Monoverde	24,9	25,6	0	45	22	329	29	1,25	17,8	70,6	44,8	12,8	50
DZM0905d	22,3	27,3	0	62	20	340	48	1,01	16,0	76,3	38,9	13,0	52
Mojka	20,9	27,1	0	47	22	354	38	0,95	16,4	75,0	34,6	13,1	50
DZM0905m	25,0	25,3	0	50	20	339	37	1,12	17,7	76,8	35,6	13,5	55
Brunners	21,3	24,7	0	55	21	340	42	1,69	18,3	75,6	42,5	14,0	52
DZM0603d	27,1	27,4	0	50	18	337	30	1,46	18,8	73,0	37,3	12,6	53
DZM0501	23,8	24,5	0	50	20	326	40	1,35	18,7	73,3	34,7	13,5	54
Conditori	21,5	25,0	0	42	22	348	42	1,17	16,9	64,6	40,2	13,2	55
Serbien	22,0	24,5	9	35	20	317	39	1,13	15,8	74,0	32,8	12,9	55

Tabelle 14: Mittelwertdaten Hohenlohe 2021

Name	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	SDS	FZ	SWGI	Bulgur-Ausbeute (%)	PSI	Backvolumen (ml)
DZM1481b31	29,1	31,0	26	279	85	70,1	50,8	65
DZM1481e1	30,7	32,0	26	210	93	72,7	55,0	73
DZM1481s2	34,1	31,0	24	334	88	72,4	52,0	70
DZM1481u	31,4	31,4	25	214	92	73,6	51,2	68
DZM1303d1	31,3	33,0	25	336	78	68,9	54,2	65
DZM1124f15	22,4	29,0	25	206	86	71,7	55,2	72
DZM1124k1	23,8	31,0	25	198	84	75,8	49,0	75
DZM1031b	25,1	29,0	28	275	86	72,3	44,6	63
DZM1034i23	23,7	31,0	26	200	86	64,2	48,1	75
DZM1034i31	24,8	31,0	24	222	86	68,4	45,1	79
DZM1034i	23,7	31,0	24	222	86	68,4	45,1	75
DZM1304g1	57,6	27,2	30	307	137	73,3	34,2	55
DZM1304h11	54,2	27,0	33	281	145	75,9	51,2	64
DZM1304m11	47,4	28,0	32	324	141	75,9	50,7	61
DZM1306a1	49,1	28,0	30	327	121	72,5	55,4	55
DZM1306c212	48,8	21,7	32	265	82	76,1	52,8	71
DZM1306f11	50,1	26,2	28	290	78	70,6	53,3	59
DZM1306i1	57,8	27,0	27	301	75	67,1	55,8	59
DZM1306k1	53,5	25,0	30	314	75	75,1	55,3	59
DZM1203f2	54,3	27,0	30	337	86	70,1	52,1	59
DZM1101d13	55,0	29,0	32	310	97	72,7	57,0	65
DZM1102r14	51,4	31,0	32	277	126	76,8	61,6	63
DZM0603c	46,3	29,0	31	290	95	78,8	58,7	61
DZM0602e1	41,8	26,0	30	319	233	78,4	51,7	74
Baggeri	45,1	29,2	47	290	62	71,0	38,8	56
Monlis	42,8	28,6	48	271	122	73,2	44,1	60
Monomax	56,0	27,1	42	288	78	71,5	45,1	55
Kipfli	48,3	25,1	19	301	107	76,2	44,3	56
DZM0903b	55,9	27,3	24	315	101	72,0	36,9	58
Kirado	46,5	28,1	35	284	146	75,5	51,5	57
Enkidu	48,4	25,7	42	287	114	70,5	35,4	67
DZM1005d41	49,2	26,0	40	312	71	80,9	58,4	64
Aquino	58,2	26,0	29	312	64	79,3	57,4	70
Aurifex	44,7	27,5	36	318	65	71,3	52,9	55
Pontifex	39,5	26,0	34	297	70	77,8	44,1	53
Eichenberger	45,2	28,0	39	314	142	64,7	38,6	65
Monoverde	49,9	26,0	35	325	60	70,7	50,9	60
DZM0905d	46,5	30,0	30	320	78	69,5	37,3	57
Mojka	46,4	28,0	34	343	137	71,3	42,4	58
DZM0905m	54,9	26,0	30	329	94	74,1	41,4	58
Brunners	40,4	32,0	30	395	186	74,3	41,0	62
DZM0603d	43,7	29,0	36	313	95	70,8	37,8	63
DZM0501	47,5	28,0	32	295	91	72,2	39,3	60
Conditori	50,5	25,0	35	311	127	75,6	40,1	65
Serbien	56,1	28,0	38	308	77	71,6	42,4	57

Tabelle 15: Mittelwertdaten Hohenlohe 2022.

Name	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	SDS	FZ	SWGI	b*wert	Bulgur-Ausbeute (%)	PSI	Protein (%T. S)	Backvolumen (ml)
DZM1481b31	16,0	33,0	18	318	89	15,03	66,7	41,3	16,2	68
DZM1481e1	17,5	36,9	20	329	85	14,21	68,6	45,0	15,6	67
DZM1481s2	16,3	32,3	20	330	80	14,86	66,1	48,8	16,4	69
DZM1481u	17,9	30,7	20	319	87	15,16	68,8	48,8	15,9	68
DZM1303d1	15,7	32,3	21	336	97	15,44	72,1	41,2	15,9	62
DZM1124f15	14,9	30,2	21	325	88	14,20	70,4	53,0	16,1	61
DZM1124k1	15,3	31,2	21	337	61	14,62	73,1	38,2	15,2	63
DZM1031b	17,6	32,3	20	338	107	12,96	70,1	41,9	16,2	65
DZM1034i23	12,1	27,8	20	317	110	14,64	70,1	43,6	15,4	65
DZM1034i31	10,5	26,7	20	325	103	15,70	63,9	43,6	15,4	65
DZM1034i	11,3	27,8	20	325	103	15,70	63,9	44,0	15,4	65
DZM1304g1	17,0	29,4	19	325	79	13,30	74,6	41,1	14,5	67
DZM1304h11	21,5	31,9	21	328	98	14,40	76,2	38,7	14,6	64
DZM1304m11	20,6	30,9	20	330	83	13,61	72,6	39,9	14,6	62
DZM1306a1	25,6	28,1	21	341	79	14,89	71,4	39,2	14,7	63
DZM1306c212	30,8	24,8	20	349	49	14,75	74,2	37,0	14,3	63
DZM1306f11	27,0	25,4	20	344	59	15,06	73,6	45,3	13,4	60
DZM1306i1	24,1	26,7	21	349	88	14,30	73,4	40,8	14,6	63
DZM1306k1	22,9	29,2	20	338	78	14,50	71,3	34,7	14,3	65
DZM1203f2	14,7	29,1	20	342	66	13,63	74,6	34,4	14,3	63
DZM1101d13	24,7	28,1	22	339	70	14,47	70,3	34,4	14,3	60
DZM1102r14	18,0	32,1	19	349	94	14,00	68,5	39,2	15,5	64
DZM0603c	18,7	29,9	21	353	107	14,62	77,7	43,9	14,4	58
DZM0602e1	17,5	28,0	25	340	201	16,00	74,4	39,2	15,7	60
Baggeri	19,1	32,8	28	363	79	13,73	73,8	37,7	15,8	60
Monlis	15,4	29,1	26	363	57	15,21	74,5	38,9	13,3	58
Monomax	15,0	30,1	34	359	67	14,83	76,5	43,2	12,9	62
Kjpfli	14,0	30,0	22	336	73	14,40	74,4	39,3	15,4	62
DZM0903b	16,4	29,6	22	341	102	15,36	73,9	38,9	15,0	61
Kirado	16,5	30,6	24	336	117	13,24	73,4	34,2	15,1	60
Enkidu	29,4	27,9	24	338	76	15,47	73,7	30,9	14,5	60
DZM1005d41	21,5	26,7	26	346	102	15,25	78,5	41,1	14,2	68
Aquino	18,6	28,4	22	346	85	14,17	79,7	40,8	14,3	59
Aurifex	24,5	27,1	22	335	54	14,35	75,6	34,9	14,5	59
Pontifex	20,7	28,9	23	344	49	14,47	73,01	44,0	13,5	62
Eichenberger	28,7	29,9	20	343	97	14,00	75,6	37,0	14,6	58
Monoverde	21,3	27,5	24	341	56	14,89	73,6	42,0	15,0	57
DZM0905d	21,7	30,8	24	328	86	13,69	79	38,0	15,2	61
Mojka	23,0	29,9	20	332	77	13,76	77,2	40,0	13,9	60
DZM0905m	20,8	26,7	20	333	104	14,44	75,9	43,0	15,1	57
Brunners	19,7	26,9	24	336	109	16,48	71,8	41,0	15,8	58
DZM0603d	21,1	32,7	25	327	68	15,48	74,6	43,0	14,9	59
DZM0501	23,2	30,2	23	336	77	15,40	76,4	46,0	14,4	65
Conditori	21,7	27,9	23	335	96	14,77	75,2	42,0	14,4	60
Serbien	19,7	29,3	28	342	70	15,20	69,4	46,0	13,8	60