



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Schlussbericht zum Thema

Erstellen eines Anforderungsprofils für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais in Zusammenarbeit mit der Wertschöpfungskette und Ermittlung der sortentypischen, gesundheitsrelevanten Ernährungs- und Verarbeitungsqualität

SpeiseMaisQual

01.04.2022 - 31.12.2025

Ausführende Stelle:



FKZ2819OE029

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Dr. Barbara Eder, Dr. Aitak Sadeghi
Am Gereuth 8
85354 Freising
Tel +49 8161 8640 4318
Barbara.Eder@LfL.bayern.de
www.lfl.bayern.de

Zuwendungsempfänger:



FKZ2810OE147

Forschung & Züchtung
Landbauschule Dottenfelderhof e.V.
Constanze Schmidt, Kathrin Neubeck, Lilla Szabo
Dottenfelderhof 1
61118 Bad Vilbel
Tel +49 6101 129 934
Kathrin.Neubeck@dottenfelderhof.de
www.forschung-dottenfelderhof.de

Kooperationspartner

Antersdorfer Mühle GmbH & Co Vertriebs KG, Heimatkost GmbH & Co. KG und Karl Heinz Hierl, Off Mühle KG, PrimaVera Naturkorn GmbH, La Tortilla Jesus Nevarez e.K., Bauck GmbH, Lerchenmühle Wieser GmbH, Cornexo GmbH, Universität Jena, Bundesverband der Lebensmittelchemiker e.V., Versuchszentrum Laimburg

Kurzfassung

Erstellen eines Anforderungsprofils für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais in Zusammenarbeit mit der Wertschöpfungskette und Ermittlung der sortentypischen, gesundheitsrelevanten Ernährungs- und Verarbeitungsqualität – SpeiseMaisQual

B. Eder ¹, K. Neubeck ², C. Schmidt ²

¹*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, 85354 Freising, Barbara.Eder@LfL.bayern.de*

²*Forschung & Züchtung, Landbauschule Dottenfelderhof e.V., Dottenfelderhof 1, 61118 Bad Vilbel, Kathrin.Neubeck@dottenfelderhof.de*

In Deutschland wird Mais zu über 90 % ausschließlich für die Futternutzung angebaut. Speisemais für die Verarbeitung in der Trockenmüllerei zu Produkten wie Polenta-Grieß, Cornflakes, Gebäck, Snacks und diätetischen Erzeugnissen wird vor allem im Biobereich überwiegend importiert. Das ist bemerkenswert, da viele Regionen Deutschlands grundsätzlich gute Bedingungen für den Körnermais-Anbau bieten, landwirtschaftliches Praxiswissen zum Maisanbau vorhanden ist und die Nachfrage nach glutenfreien Produkten kontinuierlich steigt.

Gründe liegen in der fehlenden Infrastruktur und im fehlenden spezifischen Sorten-Know-how. Die Vielfalt der Maissorten und deren für die Verwertung relevanten Eigenschaften — etwa Korntyp, Kornfarbe, Inhaltsstoffprofile und verarbeitungstechnische Parameter sowie Geschmack — sind in der Praxis weitgehend unbekannt und werden deshalb nur unzureichend genutzt. Dadurch bleiben Vermarktungs-, Anbau- und Produktentwicklungschancen ungenutzt: Besonderheiten und gesundheitliche Vorzüge von Maisprodukten werden kaum systematisch beworben oder als Qualitätsmerkmal in Wertschöpfungsketten implementiert.

Ziel des Projektes war es, diese Kenntnislücken zur Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais zu schließen, Importabhängigkeiten zu verringern und die Wettbewerbsfähigkeit heimischer Verarbeitungsbetriebe zu stärken.

Der Fokus dabei lag auf der Verarbeitung in der Trockenmüllerei — also auf Produkten, die aus dem ganzen Korn hergestellt werden: Grits, Grieß und Mehl. Dazu wurde gemeinsam mit Akteuren der gesamten Wertschöpfungskette ein Anforderungsprofil für Speisemais entwickelt und eine breite Auswahl an Landsorten, Hybridsorten und Populationen hinsichtlich ihrer Verarbeitungs-, Ernährungs- und Geschmackseigenschaften untersucht. Auf dieser Grundlage wurden praxisnahe Sortenempfehlungen für Landwirtschaft, Verarbeitung und Züchtung abgeleitet.

Zusätzlich wurde eine NIRS/NIT-Kalibration zur Bestimmung der Grießausbeute entwickelt. Die Besonderheit: Die Messung erfolgt direkt am ganzen Maiskorn, ohne vorherige Vermahlung. Damit steht erstmals eine schnelle, kostengünstige und praxisnahe Methode zur Bestimmung der Grießausbeute zur Verfügung.

Das Projekt wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) koordiniert und gemeinsam mit dem Projektpartner Forschung & Züchtung Dottenfelderhof (FZD) sowie zahlreichen Partnern aus Verarbeitung, Handel, Wissenschaft und Züchtung umgesetzt.

Abstract

Creation of a requirement profile for organically produced food maize in Germany in cooperation with the value chain and determination of the variety-typical, health-relevant nutritional and processing quality – *SpeiseMaisQual*

B. Eder¹, A. Sadeghi¹, K. Neubeck², C. Schmidt², L. Szabo²

¹Bavarian State Research Center for Agriculture, Institute for Crop Production and Plant Breeding, Am Gereuth 8, 85354 Freising, Barbara.Eder@LfL.bayern.de

²Research & Breeding, Landbauschule Dottenfelderhof e.V., Dottenfelderhof 1, 61118 Bad Vilbel, Kathrin.Neubeck@dottenfelderhof.de

In Germany, more than 90% of maize is grown exclusively for animal feed. Food-grade maize for dry milling into products such as polenta, cornflakes, baked goods, snacks, and dietary foods is largely imported, particularly in the organic sector. This is remarkable, as many regions in Germany offer suitable conditions for grain maize production, practical farming knowledge is widely available, and demand for gluten-free products continues to grow.

The main barriers are the lack of processing infrastructure and limited knowledge of variety-specific characteristics. The diversity of maize varieties and their relevant characteristics for food use—such as kernel type, kernel color, compositional traits, processing properties, and sensory attributes—remain largely unknown in practice and are therefore underutilized. As a result, opportunities for cultivation, marketing, and product development are not fully exploited. The unique characteristics and potential health benefits of maize products are rarely promoted systematically or integrated as quality attributes within value chains.

The aim of the project was to fill these knowledge gaps regarding the processing and nutritional quality of food-grade maize, reduce dependence on imports, and strengthen the competitiveness of domestic processing companies.

The project focused on whole-kernel dry-milled products, including grits, semolina, and flour. In collaboration with stakeholders across the entire value chain, a requirement profile for food-grade maize was developed, and a broad range of open-pollinated varieties, hybrids, and populations was evaluated for processing performance, nutritional quality, and sensory characteristics. Based on these results, practical variety recommendations were developed for farmers, processors, and breeders.

In addition, a NIRS/NIT calibration was developed to predict semolina yield. A key innovation is that measurements can be performed directly on whole maize kernels without prior grinding. This provides, for the first time, a rapid, cost-effective, and practical method for determining semolina yield.

The project was coordinated by the Bavarian State Research Center for Agriculture (LfL) and carried out in cooperation with the project partner Research & Breeding Dottenfelderhof (FZD), together with numerous stakeholders from processing, trade, science, and plant breeding.

Danksagung

Der erfolgreiche Abschluss dieses Projekts wäre ohne die Unterstützung zahlreicher Beteiligter nicht möglich gewesen. Unser Dank gilt allen Praxispartner*innen, Verarbeiter*innen und Expert*innen sowie weiteren Mitwirkenden, die ihr Fachwissen und ihre Zeit eingebracht haben. Durch ihre Bereitschaft zum Austausch konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen und praxisnahe Lösungsansätze entwickelt werden.

Für die finanzielle Förderung des Vorhabens danken wir der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL). Besonders hervorheben möchten wir die konstruktive und unterstützende Begleitung des Projekts durch Herrn Leon Kampeter.

Ein wesentlicher Ansporn für unsere Arbeit waren die zahlreichen Gespräche mit Akteur*innen aus der Praxis. Das anhaltende Interesse am Thema und die vielfältigen Rückmeldungen haben die Bedeutung der behandelten Fragestellungen immer wieder unterstrichen und wertvolle Impulse für die Projektarbeit geliefert.

Mit dem Abschluss dieses Projekts endet zwar ein Abschnitt, zugleich eröffnen sich jedoch neue Perspektiven und Fragestellungen für ökologischen Speisemais in Deutschland.

Barbara Eder

Kathrin Neubeck

Constanze Schmidt



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	12
1.1	Gegenstand des Vorhabens	12
1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖL oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen.....	13
1.3	Planung und Ablauf.....	14
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	15
3	Darstellung der einzelnen Arbeitspakete	16
3.1	AP1 – Erstellen eines Anforderungsprofils für Speisemais	16
3.1.1	AP1 – Material und Methoden	16
3.1.2	AP1 – Ergebnisse Anforderungsprofil.....	20
3.1.3	AP1 – Diskussion.....	35
3.2	AP2 – Sorten-Screening und Qualitätsanalysen	36
3.2.1	AP2 – Material und Methoden	36
3.2.2	Ergebnisse – Versuchsjahr 1: Landsorten Vermehrung, Sortenscreening und Qualitätsuntersuchungen	46
3.2.3	Ergebnisse – Versuchsjahr 2: Sortenprüfung mit umfangreichen Qualitätsanalysen	49
3.2.4	Ergebnisse – Gießausbeute	64
3.2.5	Ergebnisse – Sensorische Prüfung	65
3.2.6	AP2 – Diskussion.....	72
3.3	AP3 – Wissenstransfer in die Praxis	78
3.3.1	Abschluss-Workshop	80
3.3.2	Grüne Woche 2025.....	80
3.3.3	Ökofeldtage 2025	80
3.3.4	Polentaverkostungen.....	81
3.3.5	Rezeptkarten	81
3.3.6	Flyer Speisemais	82
3.3.7	Veröffentlichungen.....	83
3.3.8	Webseite Maispopulationen	84
3.4	AP4 – Erstellen einer NIRS/NIT-Kalibration.....	84
3.4.1	Material und Methoden für NIRS/NIT-Kalibration	85
3.4.2	Ergebnisse der Kalibrationen.....	88
3.4.3	AP4 – Diskussion.....	90

3.4.4	AP4 – Ausblick: Transfer in die Praxis.....	91
4	Allgemeine Diskussion	92
4.1	Versuchsaufbau.....	92
4.2	Sorten und Sortentypen.....	92
4.3	Inhaltsstoffe	93
4.4	Grießausbeute.....	93
4.5	Sensorik.....	95
4.6	Züchtung	95
4.7	Verarbeitung	96
4.8	Offene Forschungsfragen und zukünftiger Untersuchungsbedarf	96
5	Verwertungsplan	97
5.1	Wissenschaftliche Erfolgsaussichten und Wissenstransfer	98
5.2	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	98
6	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	100
6.1	Arbeitspaket 1 – Anforderungsprofil	100
6.2	Arbeitspaket 2 – Qualitätsanalysen und Screening	100
6.3	Arbeitspaket 3 – Wissenstransfer in die Praxis.....	101
6.4	Arbeitspaket 4 – NIRS/NIT-Kalibration.....	101
7	Zusammenfassung	102
7.1	Anforderungsprofil.....	102
7.2	Anbau	103
7.3	Sortentypen und Sorten.....	103
7.4	Inhaltsstoffe und Qualität	103
7.5	Grießausbeute ist ein zentrales Merkmal.....	104
7.6	Sensorik.....	104
7.7	Verarbeitung und Vermarktung.....	104
7.8	Züchtung	104
7.9	NIRS/NIT-Kalibration	105
7.10	Ausblick	105
8	Literaturverzeichnis	106
9	Anhang	113
9.1	Anhang 1: Fotodokumentation der Maissorten 2022	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick Projektablauf SpeiseMaisQual, Laufzeit 01.04.2022-31.12.2025.....	14
Abbildung 2: Vorgehen zur Erstellung des Anforderungsprofils für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais.....	17
Abbildung 3: Flyer mit Link zu den Umfragen für Verbraucher*innen und Verarbeiter*innen	19
Abbildung 4: Korrelationen der dichotomen (Ja-Nein-)Fragen der Umfrage. Ausgewertet mit t-test nach Pearson, $p < 0,005$	29
Abbildung 5: Eindrücke vom Workshop mit SWOT-Analyse in Ruhstorf. Intensiver Austausch zu Speisemais mit den Projektpartnern (links), Besichtigung der Versuche aus Jahr 1 (rechts)	29
Abbildung 6: Eindrücke der Exkursion. Besichtigung der Lerchenmühle (links), Agri'90 in Storo (rechts), traditionelle Trocknung der orange-roten Erhaltungssorte Nostrano di Storo.	32
Abbildung 7: Maiskörner in NaNO_3 Lösung.....	42
Abbildung 8: Handelsübliche Getreidemühle (Mockmill 200)	42
Abbildung 9: Grainman – Buehler Group, Lerchenmühle Wieser GmbH	42
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Jugendentwicklung (cm) und Pflanzenhöhe (cm)	53
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Jugendentwicklung (cm) und Kornertrag (dt/ha)	53
Abbildung 12: Ergebnisse Sorteneinstufung (2023) Fumonisin in Abhängigkeit von Zearalenon ($\mu\text{g/kg}$)	58
Abbildung 13: Ergebnisse Sorteneinstufung (2023) DON in Abhängigkeit vom Kornertrag	58
Abbildung 14: Luteingehalt (mg/100g) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau	62
Abbildung 15: Zeaxanthingehalt (mg/100g) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau.....	62
Abbildung 16: Proteingehalt (% NIRS) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau	63
Abbildung 17: Stärkegehalt (% NIRS) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau	63
Abbildung 18: Ermittelte Grießausbeute (%) der Sortentypen Hybridsorte, Landsorte und Population. Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (LSD-Test, $p < 0,05$)	64
Abbildung 19: Ermittelte Grießausbeute (%) der Korntypen Ha = Hartmais, (Ha) = hartmaisähnlich, Zw = Zwischentyp, (Za) = zahnmaisähnlich, Za = Zahnmais. Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (LSD-Test, $p < 0,05$)	64
Abbildung 20: Sensorische Landkarte & Clusteranalyse von 40 Maissorten mittels orthonasalen Geruchstest, die farblich gekennzeichneten Cluster (CL1-5) unterschieden sich signifikant.....	66
Abbildung 21: Darstellung der sensorischen Eigenschaften von Maismehlen in Wortwolken für die Landsorte SPIN Caldonazzo, die Hybridsorte SY Liberty und die Testpopulation 6809-21.....	66

Abbildung 22: Merkmalsbeschreibung und Intensitäten der retronasalen Polentaprüfung von Land-, Hybridsorten und Populationen.....	68
Abbildung 23: Merkmalsbeschreibung und Intensitäten der retronasalen Polentaprüfung die Sorten Volney und SPIN Caldonazzo. Beide wurden zusätzlich auch ohne Keimling (Zusatz Keim) geprüft....	69
Abbildung 24: Eindrücke vom Stand auf der Grünen Woche in Berlin 2025. Fotos ©BLE	80
Abbildung 25: Schauparzellen zu Speisemais am Gemeinschaftsstand der ökologischen Pflanzenzüchtung auf den Öko-Feldtagen 2025 auf dem Wassergut Canitz in Sachsen	81
Abbildung 26: Verkostungen von Polentaproben – mit und ohne Keimling – am Stakeholderforum im Oktober 2024 in Ruhstorf a. d. Rott (links) und am Hoffest Dottenfelderhof im September 2024 in Bad Vilbel (rechts)	81
Abbildung 27: Drei Rezeptkarten mit Speisemais-Rezepten und Fotos im Postkartenformat.....	82
Abbildung 28: Titelseite des Info-Flyers „Was Speisemais (alles) kann!“	82
Abbildung 29: Histogramm über die Verteilung der Korntypen (Ha = Hartmais, (Ha) = hartmaisähnlich, (Ha)Zw, Zw(Ha) = hartmaisähnlicher Zwischentyp, Zw = Zwischentyp, Zw(Za) = zahnmaisähnlicher Zwischentyp, Za = Zahnmais) über alle 451 Proben der Kalibrierungs- und Validierungssets.....	86
Abbildung 30: Histogramm der Verteilung der Gießausbeute-Referenzwerte [%] der 334 Proben des Kalibrationssets	87
Abbildung 31: Histogramm der Verteilung der Gießausbeute-Referenzwerte [%] der 117 Proben des Validierungssets	87
Abbildung 32: Gruppiertes Säulendiagramm der Standardabweichungen der wiederholten Referenzproben der Lerchenmühle Wieser GmbH von fünf verschiedenen Lieferanten. n = Anzahl der Wiederholungen.....	89
Abbildung 33: Boxplot der Standardabweichungen der Wiederholmessungen der beiden NIRS-Methoden (NIRS-FZD in blau und NIRS-LfL in orange) über 31 Proben. Dargestellt sind Median (Linie in der Box), Mittelwert (X in der Box), Interquartilsbereich (Box) sowie Whisker (1,5×IQR)	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Dimensionen der im Workshop durchgeführten SWOT-Analyse	19
Tabelle 2: Zusammenstellung der wichtigsten Parameter für die Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais als Ergebnis einer umfangreichen Literaturrecherche	20
Tabelle 3: Ergebnisse zu den Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen von ökologischem Speisemais der SWOT-Analyse.....	31
Tabelle 4: Anforderungsprofil für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais für Anbau, Verarbeitung und Ernährung, essentielle Eigenschaften fett hervorgehoben	34
Tabelle 5: Kriterien für die Sortenauswahl.....	36
Tabelle 6: Sortenliste Screening der Sorten 2022 (Leistungsprüfung und Vermehrung)	37
Tabelle 7: Beschreibung der Versuchsstandorte 2022, 2023.....	38

Tabelle 8: Übersicht erfasste Parameter in den Versuchsjahren 2022 und 2023.....	39
Tabelle 9: Überblick sensorische Messmethoden (Zielsetzung, Durchführung und Auswertung)	44
Tabelle 10: Sorten und Auswahlparameter für die retronasale Polenta Prüfung.....	45
Tabelle 11: Min-, Max- und Mittelwerte der agronomischen Parameter des Sortenscreenings von Hybrid-, Landsorten und Populationen 2022, Ruhstorf a. Rott	46
Tabelle 12: Erfasste Parameter in Versuchsjahr 1, für jeden Parameter wurde der Mittelwert je Sortentyp berechnet. Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)	47
Tabelle 13: Sortenauswahl aus dem Versuch 2022 für die mehrortige Leistungsprüfung in 2023	49
Tabelle 14: Ergebnisübersicht der Agronomischen Parameter an fünf Standorten, 2023	51
Tabelle 15: Einfluss des Sortentyps (Land-, Hybridsorte, Population) auf agronomische Parameter ..	52
Tabelle 16: Auszug aktuelle Mykotoxin- und andere Kontaminanten Höchstwerte gemäß EU VO 2023/915 und EU VO 2024/1022 für Mais	56
Tabelle 17: Erfasste Parameter in Versuchsjahr 2, für jeden Parameter wurde der Mittelwert je Sortentyp berechnet. Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)	59
Tabelle 18: Erfasste Parameter in Versuchsjahr 2, für jeden Parameter wurde der Mittelwert je Standort berechnet. Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)	60
Tabelle 19: Mittelwert der Gießausbeute in % (Gießausbeute gesamt, > 4 mm, $> 3,15$ mm, $> 2,5$ mm, > 1 mm) der einzelnen Sortentypen an den Standorten aus Versuchsjahr 2 (2023). Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)	65
Tabelle 20: Orthonasale Unterscheidung zweier Maismehlproben mit und ohne Keimling (Dreieckstest)	70
Tabelle 21: Zusammenstellung der ortho- und retronasalen Attribute.....	71
Tabelle 22: Übersicht über den im Vorhaben SpeiseMaisQual durchgeführten Wissenstransfer für die Bereiche Landwirtschaft, Verarbeitung, Forschung und Züchtung, Beratung und Ämter, Verbraucher*innen	79
Tabelle 23: Ausgangsmaterial und Herkunft von insgesamt 482 Proben für NIRS/NIT-Kalibration, aufgeteilt in ein Kalibrationsset von 334, Validierungsset von 117 und abschließendes Testset von 31 Proben	85
Tabelle 24: Zusammensetzung des Kalibrations- und Validierungssets nach Sortentyp: Hybridsorten, Landsorten und Populationen	86

Tabelle 25: Übersicht über die verwendeten Geräte, den jeweiligen Wellenlängenbereich, Standort des Gerätes und Kalibration durchführende Organisation (FOSS 2026; KPM Analytics 2026; ZEISS 2026) 88

Tabelle 26: Gegenüberstellung verschiedener Bewertungsparameter der entsprechenden Kalibrationen der drei Geräte NIRS-LfL, NIRS-FZD und NIT-LfL..... 88

Tabelle 27: Anforderungsprofil für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais für Anbau, Verarbeitung und Ernährung, essentielle Eigenschaften fett hervorgehoben 102

Weiteres Verzeichnis

Box 1: Auflistung der 12 Multiple-Choice- und Freitextfragen aus der Umfrage mit Verarbeitungsbetrieben 18

Box 2: Auflistung der 8 Multiple-Choice Fragen aus der Umfrage mit Verbraucher*innen 18

Box 3: Balkendiagramme der Ergebnisse der Multiple-Choice-Fragen aus der Umfrage mit Verarbeiter*innen nach Häufigkeit in %, n=Anzahl Teilnehmende/Antworten 22

Box 4: Balkendiagramme der bewertenden Fragen aus der Umfrage mit Verarbeiter*innen. Bewertung nach Rolle von großer bis keine Rolle/nicht zutreffend oder nach Wert von 1 (unbedeutend) bis 5 (sehr wichtig), n=Anzahl Teilnehmende/Antworten 24

Box 5: Antworten auf die Textfragen aus der Umfrage für Verarbeiter*innen, n=Anzahl Teilnehmende/Antworten..... 25

Box 6: Ergebnisse der Umfrage mit Verbraucher*innen aus acht Multiple-Choice-Fragen dargestellt in Balkendiagrammen 27

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BÖL	Bundesprogramm ökologischer Landbau
CL	Cluster
DON	Deoxynivalenol
Früh	Reifegruppe früh, bis K220
FZD	Forschung & Züchtung in der Landbauschule Dottenfelderhof e.V.
H	Hybridsorte
ha	Hektar
Ha	Hartmaistyp
K	Kornreifezahl
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft in Bayern
LS	Landsorte
LSV	Landessortenversuche

Mittelfrüh	Reifegruppe mittelfrüh, K230-250
Mittelspät	Reifegruppe mittelspät, ab K260
MW	Mittelwert
n	Anzahl
nm	Nanometer
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
NIR	Nahinfrarotreflektion
NIT	Nahinfrarottransmission
ÖHM	Ökologisches Heterogenes Material
Öko	Aus ökologischer Landwirtschaft, unter ökologischen Anbaubedingungen
P	Population
RP	Rohprotein
S	Siloreifezahl
SD	Standardabweichung
SWOT-Analyse	Analyse der Stärken (S – strengths), Schwächen (W – weaknesses), Möglichkeiten (O – opportunities) und Bedrohungen (T – threats)
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmassegehalt
TS	Trockensubstanzgehalt
Za	Zahnmaistyp
ZEA	Zearalenon
Zw	Zwischentyp

1 Einleitung

Körnermais ist weltweit ein wichtiges Nahrungsmittel und unverzichtbar zur Sicherung der ausreichenden Kalorienbereitstellung für die Menschheit. In Deutschland spielt Körnermais als Nahrungsmittel bislang eine sehr geringe Rolle. Abgesehen von Snacks wird er in Deutschland kaum gegessen. Das mag auch an der fehlenden Esstradition für Speisemais liegen, die sich interessanterweise in vielen an Deutschland angrenzenden Ländern wie Österreich, Schweiz, Frankreich, Polen, Tschechien, Slowakei – seit Einführung des Mais in Europa durch Columbus 1492 – bis heute gehalten hat, nur in Deutschland nicht. Die Anmutung des „Arme Leute Essens“ führte wohl in Deutschland dazu, dass Mais aus dem Speiseplan vollständig verschwand. Jährlich liegt der Pro-Kopf-Verbrauch in Deutschland bei nur 6,1 kg Mais, während es beim Weizen 72,9 kg sind (BMLEH 2025).

Gleichwohl wird in Deutschland auf 2,5 Mio. ha Mais, davon auf ca. 500.000 ha Körnermais, angebaut. Das sind ca. 20 % der deutschen Ackerfläche (DMK 2026). Dieser geht überwiegend in die Tierernährung. Sowohl das Know-how für den Anbau, Ernte und Lagerung als auch die Technik dafür sind in nahezu jedem landwirtschaftlichen Betrieb vorhanden. Das sind optimale Bedingungen, es braucht also nicht viel, um den Speisemaisanbau zu stärken.

1.1 Gegenstand des Vorhabens

In Deutschland werden nach Angaben von DBV (2019) jährlich nur rund 300.000 t Körnermais (konventionell und ökologisch) in der Trockenmüllerei zu Produkten wie Frühstücksflocken, Gebäck, Snacks und diätetischen Erzeugnissen verarbeitet. Die Anbauflächen für Speisemais sind in den letzten Jahren zwar gewachsen, u. a. wegen der steigenden Nachfrage nach glutenfreien Produkten, dennoch wird ein Großteil der Maisernte weiterhin als Futtermais genutzt.

Bei Nachfragen in Verarbeitungsbetrieben zeigt sich häufig, dass Rohware — insbesondere im Biobereich — importiert wird. Das ist bemerkenswert, da viele Regionen Deutschlands grundsätzlich gute Bedingungen für den Körnermais-Anbau bieten und landwirtschaftliches Basiswissen zum Maisanbau vorhanden ist. Schwierigkeiten liegen dagegen in der verarbeitungsorientierten Infrastruktur und im spezifischen Know-how: Es fehlen ausreichend Mühlen, die kleinere Chargen verarbeiten oder neue Sorten technologisch testen können, und regionale Verarbeitungsketten sind weitgehend ausgedünnt.

Auffallend ist zudem, dass an Speisemais und an die Sorten kaum qualitätsspezifische Anforderungen in Bezug auf Verarbeitung und ernährungsphysiologische Eigenschaften gestellt werden (Ackermann 2014). Die Vielfalt der Maissorten und deren für die Verwertung relevanten Eigenschaften — etwa Korntyp, Kornfarbe, Inhaltsstoffprofile und verarbeitungstechnische Parameter sowie Geschmack — sind in der Praxis weitgehend unbekannt und werden deshalb nur unzureichend genutzt. Dadurch bleiben Vermarktungs-, Anbau- und Produktentwicklungschancen ungenutzt: Besonderheiten und gesundheitliche Vorzüge von Maisprodukten werden kaum systematisch beworben oder als Qualitätsmerkmal in Wertschöpfungsketten implementiert.

Der Markt für in Deutschland erzeugten, ökologischen Speisemais besitzt somit deutliches, noch ungenutztes Wachstumspotenzial. Das Projekt *SpeiseMaisQual* zielt darauf ab, diese Wissenslücken zu schließen, um konkret:

- die Verfügbarkeit lokal erzeugten, qualitativ hochwertigen Speisemais zu verbessern (Sortenangebot stärken, heimische Landwirtschaft fördern) und dadurch den Importbedarf zu reduzieren;
- heimische Verarbeitungsbetriebe stärker mit regionalem Speisemais zu versorgen und deren Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen.

Im beschriebenen Vorhaben sollte ein Sorten-Anforderungsprofil in enger Abstimmung mit der gesamten Wertschöpfungskette (Züchtung, Anbau, Verarbeitung, Vermarktung) erarbeitet werden und eine breite Auswahl von Sorten und Sortentypen auf ihre Verarbeitungs- und Ernährungsqualität untersucht werden, um daraus praktische Sortenempfehlungen für Landwirtschaft, Verarbeitung und Züchtung abzuleiten. Der Fokus dabei lag auf der Verarbeitung in der Trockenmüllerei — also auf Produkten, die aus dem ganzen Korn hergestellt werden: Grits, Grieß und Mehl.

Die Gesamtkoordination des Projekts hatte die Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Projektpartner war die Forschung & Züchtung in der Landbauschule Dottenfelderhof e.V. (FZD). Außerdem wurde das Vorhaben durch Kooperationspartner entlang der Wertschöpfungskette unterstützt: Antersdorfer Mühle GmbH & Co Vertriebs KG, Heimatkost GmbH & Co. KG und Karl Heinz Hierl, Off Mühle KG, PrimaVera Naturkorn GmbH, La Tortilla Jesus Nevarez e.K., Bauck GmbH, Lerchenmühle Wieser GmbH, Cornexo GmbH, Prof. Dr. Volker Böhm von der Universität Jena, Dr. Detmar Lehmann vom Bundesverband der Lebensmittelchemiker e.V., Versuchszentrum Laimburg

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖL oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Ziel des Projektes war es, Kenntnislücken zur Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais zu schließen. Es soll damit die Voraussetzung für die Verbesserung der Verfügbarkeit und der Qualität von Speisemais und den zugehörigen Sorten geschaffen werden. Dazu wurden folgende Maßnahmen in drei Arbeitspaketen (AP) umgesetzt:

- (AP1) Ausarbeiten eines **Anforderungsprofils** für lokal in Deutschland unter ökologischen Anbaubedingungen erzeugten Speisemais in Zusammenarbeit mit der Wertschöpfungskette (Züchtung, Anbau, Verarbeitung und Vermarktung). Das Profil umfasst Kriterien zu gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffen, Verarbeitungsqualität sowie agronomischen Eigenschaften der Sorten (Verantwortlich FZD).
- (AP2) **Qualitätsanalysen und Screening** einer breiten Auswahl von Sorten und Sortentypen (Populationen, Land- und Hybridsorten) in Bezug auf die Kriterien des Anforderungsprofils. Unterschiede in der Verarbeitungs- und Ernährungsqualität sollen sowohl zwischen Sorten als auch zwischen den Sortentypen ermittelt werden. Basierend auf den Ergebnissen sollen Sortenempfehlungen für den heimischen Anbau für Landwirtschaft, Verarbeitung und Züchtung gegeben werden (Verantwortlich LfL).
Bei Lebensmitteln spielt Geschmack eine wichtige Rolle. Für Speisemais, für den es in Deutschland keine Esstradition gibt, ist Geschmack daher ein wichtiges Kriterium insbesondere für die Akzeptanz und Einführung neuer Produkte oder Gerichte. Eine sensorische Prüfung sollte zeigen, ob es Unterschiede in der Sensorik zwischen Landsorten und Hybridsorten bzw. Populationen gibt (Aufstockung).
- (AP3) Darstellung und Verwertung der in AP1 bis 3 erarbeiteten Ergebnisse und Empfehlungen, **Wissenstransfer** mittels Publikationen, Beiträgen zu Tagungen und Feldtagen sowie Workshops für die Zielgruppen Verarbeitung und Handel, ökologische und konventionelle Landwirtschaft sowie ökologische Züchtung, Wissenschaft und Forschung, mit dem Ziel den Anbau von Speisemais in Deutschland zu fördern (Verantwortlich LfL, FZD).
- (AP4) Entwicklung einer **Ganzkorn NIRS/NIT-Kalibration** für das Merkmal Grießausbeute (Aufstockung) (Verantwortlich FZD, LfL).

Das Projekt bezog sich auf die Bekanntmachung Nr. 12/18/31 der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung vom 25. September 2018 über die Durchführung von FuE-Vorhaben zum Thema *Beitrag*

ökologisch und nachhaltig erzeugter Lebensmittel zu zukunftsfähigen Ernährungssystemen im Rahmen des BÖL.

Das Vorhaben leistet relevante Beiträge zu den Themenfeldern *ökologische/nachhaltige Lebensmittelverarbeitung, Beitrag des Ökolandbaus zur nachhaltigen Ernährung* sowie *Qualität ökologischer/nachhaltiger Lebensmittel*, die gemäß den Buchstaben 1.a) – c) der Bekanntmachung den Gegenstand der Förderung darstellen.

1.3 Planung und Ablauf

Der Projektablauf ist in Abbildung 1 grafisch dargestellt. Im Jahr 2022 wurde am Standort Ruhstorf der LfL ein umfangreiches Sortenscreening von über 90 verschiedenen Maissorten, die für die Speisennutzung grundsätzlich geeignet waren, angebaut und bewertet. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Sortenauswahl gelegt.

Auf diese Ergebnisse aufbauend wurden im Jahr 2023 40 Sorten ausgewählt und an 5 verschiedenen Orten angebaut. Die nachfolgenden Analysen und aufbauenden Arbeiten wurden von diesem Erntematerial Ende 2023 bis Anfang 2025 durchgeführt:

- Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffanalysen (Makro-, Mikronährstoffe, Vitamine, Toxine, Anthocyane) und Einordnung der Ergebnisse mit Experten aus dem Lebensmittelbereich.
- Sensorische Prüfung (orthonasal und retronasal) zur Feststellung des Einflusses der Sorte auf den Geschmack.
- Umfangreiche Grießausbeute-Bestimmungen als wichtigster Parameter für Anbau und Verarbeitung.
 1. Dazu gehörten auch eine Analyse der Methoden und aufgrund der Ergebnisse
 2. die Entwicklung einer NIRS/NIT-Kalibration für das Merkmal Grießausbeute am ganzen Korn (Aufstockungsantrag).

Parallel dazu erfolgte eine intensive Auseinandersetzung mit Mais verarbeitenden Betrieben in Deutschland und dem angrenzenden Ausland (Österreich, Schweiz, Italien) und einer umfangreichen Literaturrecherche zum Thema.

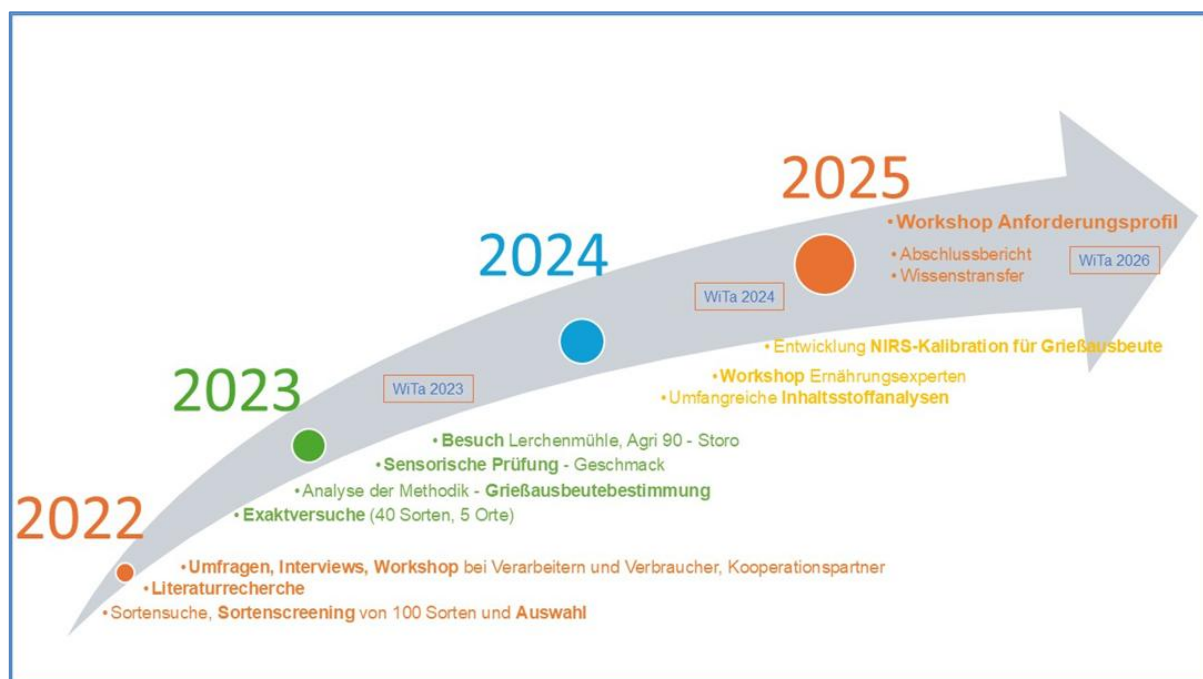


Abbildung 1: Überblick Projektablauf SpeiseMaisQual, Laufzeit 01.04.2022-31.12.2025

2022 wurden Interviews, Umfragen und Workshops mit Verarbeitenden und Kooperationspartnern durchgeführt und fortlaufend aktualisiert. Zwei wichtige Kooperationspartner waren hier die Speisemais verarbeitenden Mühlen Cornexo GmbH und Lerchenmühle Wieser GmbH in Deutschland und Österreich.

2023 vervollständigte die Betriebsbesichtigung der Lerchenmühle Wieser GmbH und der Besuch der Agri 90 Genossenschaft das Wissen über die Anforderungen und Möglichkeiten der Speisemaisverarbeitung in der Praxis.

2024 und 2025 wurden die Ergebnisse mit den beteiligten Kooperationspartnern aus der Lebensmittelbranche und der Verarbeitung besprochen und die Ergebnisse und das daraus abgeleitete Anforderungsprofil im Abschlussworkshop am 18. September 2025 der interessierten Fachwelt und den Kooperationspartnern präsentiert.

Die Entwicklung der NIRS/NIT-Kalibration dauerte noch bis zur Abgabe des Projektberichts im Juni 2026 an.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

In Deutschland und anderen Industrieländern spielt Mais in der menschlichen Ernährung seit dem 20. Jahrhundert nur noch eine untergeordnete Rolle; dementsprechend fehlt vielfach das erforderliche Know-how zu sortenspezifischen Eigenschaften und zur verarbeitungsorientierten Nutzung. 2018 wurden in Deutschland rund 2 Mio. ha Silomais und nur etwa 400.000 ha Körnermais (konventionell und ökologisch) angebaut (DMK 2017b). Die ökologische Körnermaisfläche wird auf ca. 20.000 ha geschätzt (Eckinger 2018), der Importanteil beim ökologisch erzeugten Körnermais lag 2016 bei rund 42 % (AMI 2018).

Der überwiegende Teil der Maisernte wird als Futtermais verwendet; lediglich etwa 300.000 t pro Jahr ($\approx 10\%$ der Erntemenge) werden in der Trockenmüllerei zu Lebensmitteln verarbeitet (DBV 2019; DMK 2017a). Verarbeitungsbetriebe beklagen eine unzureichende Rohstoffversorgung mit heimischem Speisemais: Verfügbarkeit und Verarbeitungsqualität werden als nicht immer ausreichend bewertet (Ackermann 2014). Ein technisch sichtbares Problem ist die geringe Zahl von Mühlen, die Mais lebensmitteltauglich verarbeiten können. Dies führt zu einer Konzentration der Verarbeitung in wenigen großen Mühlen und verhindert häufig das Testen und Verarbeiten kleiner Chargen neuer Sorten. Regionale Verarbeitungsketten sind kaum noch vorhanden; selbst Betriebe, die regionale Rohware nutzen (z. B. traditionelle Mühlen), lagern häufig die eigentliche Vermahlung aus.

Die Auswahl geeigneter Sorten durch Verarbeitung und Landwirtschaft wird dadurch zusätzlich erschwert, dass für die in Deutschland zugelassenen Maissorten grundlegende verarbeitungsrelevante Spezifikationen fehlen. Verfügbare Parameter für Endprodukte (z. B. Grits, Grieß/Semolina, Mehl, vorgegarte/instantierte Mehle, Extrudate, Cornflakes, Tortillamehle) sowie deren technische Kenngrößen — Partikelgrößenverteilung, Feuchtegehalt, Fettgehalt (Keimanteil), Korn-/Mehlfarbe, Schalenanteil (Asche), Stärkezustand (Glasigkeit), Bruch-/Rissneigung und Grießausbeute — liegen für die zugelassenen Sorten nicht oder nur unvollständig vor. Die bundesweiten Sortenversuche der Länder konzentrieren sich überwiegend auf die Verwertung als Futtermais; entsprechende Daten zu Verarbeitungseignung und technologischem Verhalten fehlen in den Prüfprogrammen.

Als einziger routinemäßiger Lebensmittel-Sicherheitsparameter werden derzeit meist Mykotoxine untersucht, wobei es Unterschiede in den angewandten Grenzwerten und Prüfstrategien gibt. Grundsätzlich mangelt es an systematischen Angaben zu ernährungsrelevanten Inhaltsstoffen und Kontaminanten der zugelassenen Sorten in Deutschland — etwa zu Mykotoxinen, Schwermetallen, Makro- und Mikronährstoffen sowie antinutritiven Komponenten. Ebenso fehlen belastbare Forschungsergebnisse, die den Einfluss des Sortentyps (Landsorten, Populationen, Hybriden) auf

Inhaltsstoffgehalte und verarbeitungstechnische Parameter unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen und in realen Verarbeitungsprozessen untersuchen.

Konkret sollten im Projekt folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie unterscheiden sich Landsorten, Hybridsorten und Populationen in ernährungsrelevanten Inhaltsstoffen?
- Stimmt es, dass alte Landsorten besser schmecken, weil sie wenig züchterisch bearbeitet wurden?
- Welche Kornmerkmale sind für Speisemais wichtig?
- Wie hoch ist die Grießausbeute bei aktuellen Sorten und gibt es Korrelationen mit einfach zu messenden Parametern?
- Was beeinflusst die Grießausbeute?
- Auf welche Merkmale achtet die Maisverarbeitung am stärksten, gibt es Unterschiede bei den Produkten?

3 Darstellung der einzelnen Arbeitspakete

3.1 AP1 – Erstellen eines Anforderungsprofils für Speisemais

Das erste Arbeitspaket des Vorhabens verfolgte das Ziel, ein Anforderungsprofil für lokal in Deutschland unter ökologischen Anbaubedingungen erzeugten Speisemais in Zusammenarbeit mit der Wertschöpfungskette (Züchtung, Anbau, Verarbeitung und Vermarktung) auszuarbeiten. Das Profil umfasst Kriterien zu gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffen, Verarbeitungsqualität sowie agronomischen Eigenschaften der Sorten.

3.1.1 AP1 – Material und Methoden

Für die Erstellung des Anforderungsprofils wurde eine Kombination aus drei Maßnahmen genutzt und eine Triangulation der Ergebnisse dieser Maßnahmen durchgeführt: (1) Durch umfangreiche Literaturrecherche wurde der aktuelle Stand des Wissens zu Speisemais zusammengetragen und ausgewertet, (2) durch eine Umfrage mit verarbeitenden Betrieben sowie einer Umfrage mit Verbraucher*innen wurde der aktuelle Ist-Zustand und das Potenzial von Speisemais aus Sicht der verarbeitenden Praxis und der Konsument*innen erfasst und (3) durch intensiven Austausch mit Projektpartnern entlang der Wertschöpfungskette und zwei Lebensmittelexperten mittels eines Workshops mit SWOT-Analyse, einer Exkursion zu verschiedenen Betrieben und Online-Meetings wurden weitere wichtige Aspekte geklärt. Das gesamte Vorgehen zur Erstellung des Anforderungsprofils ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Methodik der einzelnen Maßnahmen ist im Folgenden genauer beschrieben.

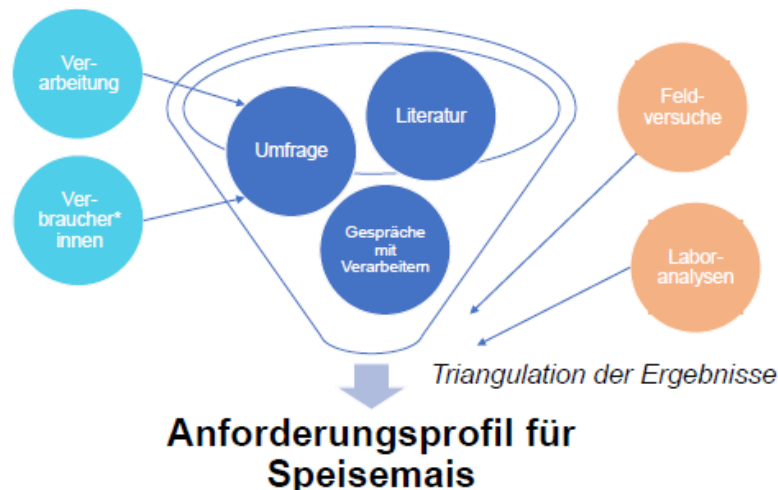


Abbildung 2: Vorgehen zur Erstellung des Anforderungsprofils für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais

3.1.1.1 Literaturrecherche und -auswertung

Als erste Maßnahme im Rahmen von AP1 wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Ziel war die Erfassung des aktuellen Stands des Wissens zu Speisemais für die Erstellung eines Anforderungsprofils. Hierzu wurden wissenschaftliche Publikationen, Fachberichte sowie weitere einschlägige Informationsquellen anhand themenspezifischer Suchbegriffe recherchiert und ausgewertet. Suchbegriffe der Recherche waren bspw. ökologische Landwirtschaft, Mais, Speisemais, Inhaltsstoffe, Ernährungs-, Verarbeitungs- und Kornqualität, Korntypen, Sortentypen, Verarbeitungsmöglichkeiten von Körnermais. Die Quellen der Recherche umfassten sowohl nationale Veröffentlichungen in deutscher Sprache als auch internationale, englischsprachige.

Die Ergebnisse wurden aufbereitet und dienten als wichtiger Baustein des Vorgehens in AP1 sowie als Grundlage für Sortenscreening und Qualitätsanalysen in AP2.

3.1.1.2 Umfrage mit Verarbeitungsbetrieben

Mit dem Ziel weitere Informationen über die aktuelle Situation der Verarbeitung von ökologischem Speisemais und deren Anforderungen an die Qualitätseigenschaften von Mais zu gewinnen, wurden im Herbst 2022 qualitative Interviews mit den Kooperationspartnern und weiteren Verarbeitungsbetrieben entlang der Wertschöpfungskette durchgeführt.

Um weitere Betriebe zu akquirieren, wurde zuvor die BIOFACH im Juli 2022 in Nürnberg genutzt. Verschiedene Betriebe mit Mais/Maisprodukten in ihrem Portfolio wurden angesprochen und Kontakte für die Teilnahme an der Umfrage ausgetauscht. Hier wurde außerdem erstmals der Kontakt zur Lerchenmühle in Österreich hergestellt, die später eine entscheidende Rolle im Projekt einnahm (siehe auch AP2 zur Grießausbeute/-bestimmung).

Basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde ein Interviewfragebogen von insgesamt 12 Fragen zu Speisemais erstellt (siehe Box 1) und über das online Umfrage-Tool LamaPoll (<https://www.lamapoll.de/>) an die Verarbeitungsbetriebe verschickt. Der Fragebogen enthielt sowohl Multiple-Choice- als auch Freitextfragen.

Box 1: Auflistung der 12 Multiple-Choice- und Freitextfragen aus der Umfrage mit Verarbeitungsbetrieben

1. In welchem Bereich sind Sie/Ihr Betrieb mit Speisemais tätig?
2. Welche Produkte stellen Sie aus Mais her?
3. Welche Rolle spielt Mais in Ihrem Bereich?
4. Woher beziehen Sie den Mais?
5. In welcher Form beziehen Sie den Mais?
6. Welche Kriterien sind aus Sicht der Verarbeitung für Speisemais wichtig?
7. Welche Inhaltsstoffe und Zusammensetzungen sind Ihrer Meinung nach wichtig für Speisemais?
8. Welche Voraussetzungen muss Speisemais in Ihrem Betrieb erfüllen?
9. Welche Qualitätseigenschaften lassen Sie regelmäßig prüfen?
10. Welche Eigenschaften/Kriterien werden Ihrer Ansicht nach nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt?
11. Gibt es noch Aspekte/Kriterien/Anforderungen an Speisemais, die Ihnen in dieser Umfrage gefehlt haben/zu kurz gekommen sind?
12. Welche Anregungen/Wünsche möchten Sie uns noch für unser Projekt und die Erstellung eines Anforderungsprofils für Speisemais mitgeben?

Von insgesamt 14 Teilnehmenden haben 8 die Umfrage beendet, was einem Rücklauf von 57,14 % entspricht. Auf Grund der geringen Stichprobenzahl und dem hohen Anteil an Textantworten erfolgte die Auswertung rein qualitativ.

*3.1.1.3 Umfrage mit Verbraucher*innen*

In einer weiteren Umfrage sollte geklärt werden, warum so ein geringes Interesse an Mais bei Verbraucher*innen in Deutschland besteht und Mais trotz seines großen Potenzials so selten auf deutschen Tellern landet.

Eine Umfrage mit insgesamt 8 Multiple-Choice-Fragen (siehe Box 2) wurde mit Microsoft Forms erstellt und per Flyer über verschiedene Wege (Feldtage, Berichtshefte, Webseite und E-Mail-Verteiler, siehe Abb. 3) gestreut.

*Box 2: Auflistung der 8 Multiple-Choice Fragen aus der Umfrage mit Verbraucher*innen*

1. Konsumieren Sie Mais oder Maisprodukte regelmäßig (z. B. beim Kochen bzw. Snacken)?
2. Wenn ja, in welcher Form verwenden Sie Mais?
3. Wenn nein, aus welchem Grund nicht?
4. Was würde Ihnen helfen öfter mit Mais zu kochen?
5. Welche Maisprodukte nutzen Sie?
6. Ist Ihnen wichtig, dass Ihre Zutaten regional und ökologisch produziert werden?
7. Haben Sie Interesse, neue Mais-Rezepte auszuprobieren?
8. Möchten Sie Neuigkeiten aus dem Projekt erhalten?

Insgesamt nahmen 341 Teilnehmer*innen an der zweiten Umfrage teil. Die erhobenen Antworten der dichotomen (Ja-Nein-)Fragen wurden zusätzlich statistisch über eine Korrelationsanalyse mit t-test ausgewertet.



Abbildung 3: Flyer mit Link zu den Umfragen für Verbraucher*innen und Verarbeiter*innen

3.1.1.4 Workshop und SWOT-Analyse

Mit dem Ziel die bisher gewonnenen Erkenntnisse mit den Erfahrungen aus der Praxis zusammenzubringen und sowohl Anforderungen als auch Strategien für in Deutschland erzeugten Speisemais zu gewinnen, wurde am 22.09.2022 ein interaktiver Workshop in Kleeberg/Ruhstorf a. d. Rott als Hybridveranstaltung durchgeführt.

Eine sogenannte SWOT-Analyse (Kotler et al. 2010) diene als strukturelles Analysewerkzeug. In drei Arbeitsgruppen wurden zunächst die internen Dimensionen (Gruppe A) mit auszubauenden Stärken (strengths) und zu minimierenden Schwächen (weaknesses) sowie die externen Dimensionen mit zu nutzenden Chancen (opportunities – Gruppe B) und zu minimierende Risiken (threats – Gruppe C) in Bezug auf Speisemais erarbeitet.

Anschließend wurden im Plenum die in den Kleingruppen erarbeiteten Ergebnisse zusammengeführt und Strategien ausgearbeitet, um Chancen durch Stärken zu nutzen, um durch Chancen Schwächen zu minimieren, um Bedrohungen durch Stärken vorzubeugen und um Gefahren zu mindern, wo Bedrohungen auf Schwächen treffen (vgl. schematische Darstellung in Tabelle 1). Die konsolidierte SWOT-Matrix bildet die Basis für die im Ergebnisteil dargestellten Schlussfolgerungen.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Dimensionen der im Workshop durchgeführten SWOT-Analyse

		Interne Analyse	
		Chancen (opportunities)	Bedrohungen (threats)
Externe Analyse	Stärken (strengths)	Strategien um die Chancen durch Stärken zu nutzen	Strategien um Bedrohungen durch Stärken vorzubeugen
	Schwächen (weaknesses)	Strategien um durch Chancen Schwächen zu minimieren	Strategien um Gefahren zu mindern, wo Bedrohungen auf Schwächen treffen

Neben den Projektdurchführenden waren verschiedene Mais verarbeitende Betriebe entlang der Wertschöpfungskette vertreten: Manuel Pramsohler und Alessia Catellan – Versuchszentrum Laimburg, Massimiliano Trenti – Provinz Trient, Andreas Hasreiter – PrimaVera Naturkorn GmbH, Karlheinz Hierl

– Heimatkost GmbH, Elisabeth Steger – Lerchenmühle Wieser GmbH, Manuel und Jesus Nevarez – La Tortilla Jesus Nevarez e.K.

Die Beteiligung internationaler Teilnehmender erwies sich als besonders wertvoll, da sie Wissen und Erfahrungen aus Ländern einbrachten, in denen Mais als Grundnahrungsmittel bzw. wichtiger Bestandteil der Ernährung etabliert ist.

3.1.1.5 Exkursion

Im zweiten Projektjahr konnte der Austausch mit Mais verarbeitenden Unternehmen durch eine Exkursion nach Österreich und Südtirol erweitert werden, um vor Ort verschiedene Betriebe zu besichtigen, die ökologisch produzierten Mais verarbeiten. Insgesamt wurden drei Standorte besucht:

1. Lerchenmühle Wieser GmbH
2. Versuchszentrum Laimburg/Auer
3. Agri 90 (Genossenschaft der Trentiner Bauern) in Storo

3.1.1.6 Austausch mit Lebensmittelexperten

Der Austausch mit Experten aus den Lebensmittelwissenschaften bildete eine wichtige Grundlage zur Auswahl, Einordnung und Bewertung der Inhaltsstoffanalysen über den gesamten Zeitraum des Vorhabens hindurch. Hierfür konnten die beiden Experten Prof. Dr. Volker Böhm von der Universität Jena und Dr. Detmar Lehmann vom Bundesverband der Lebensmittelchemiker e. V. als Projektpartner für das Vorhaben gewonnen und ein regelmäßiger Austausch durch Online-Meetings und Teilnahme an Projekttreffen realisiert werden.

3.1.1.7 Triangulation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Literaturrecherche, der beiden Umfragen sowie des fachlichen Austauschs (Workshop, Exkursion und Online-Meetings) wurden im Rahmen einer Triangulation zusammengeführt und vergleichend ausgewertet (vgl. Abbildung 2). Dabei wurden übereinstimmende Erkenntnisse sowie ergänzende und divergierende Aspekte identifiziert und zu einem konsolidierten Anforderungsprofil verdichtet. Das Anforderungsprofil wurde tabellarisch aufbereitet und bildete die Grundlage für die weiteren Arbeiten in AP2.

3.1.2 AP1 – Ergebnisse Anforderungsprofil

3.1.2.1 Literaturrecherche

Als Ergebnis der umfassenden Literaturrecherche zu Anforderungen an Speisemais konnte eine kompakte Zusammenstellung wichtiger Eigenschaften der Bereiche Verarbeitungsqualität, Makro- und Mikronährstoffe und weitere Inhaltsstoffe für die Eignung als Speisemais erstellt werden (siehe Tabelle 2). Diese Aufstellung stellte auch die Grundlage für die umfangreichen im Vorhaben durchgeführten Qualitätsanalysen (siehe Abschnitt 3.2.3 zu den Ergebnissen der Qualitäts- und Inhaltsstoffanalysen) dar. Außerdem bestätigte die Literaturrecherche, dass zur Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais nur wenig bekannt ist.

Tabelle 2: Zusammenstellung der wichtigsten Parameter für die Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais als Ergebnis einer umfangreichen Literaturrecherche

Verarbeitungs- qualität	<i>Tausendkorngewicht (TKG), Keimfähigkeit</i> (Lütke Entrup et al. 2013) <i>Kornbonitur, Glasigkeit, Fusarienbesatz</i> (Lütke Entrup et al. 2013; Ackermann 2014; Eder 2015) <i>Mahlversuch, Grießausbeute</i> (Lütke Entrup et al. 2013; Ackermann 2014; Eder 2015; Sendin et al. 2019; Rathna Priya und Manickavasagan 2021; Xu et al. 2019; Fox und Manley 2009; Baye et al. 2006; Weber et al. 2014; Reiner 2009) <i>Härte</i> (Lütke Entrup et al. 2013; Fox und Manley 2009; Weber et al. 2014)
------------------------------------	--

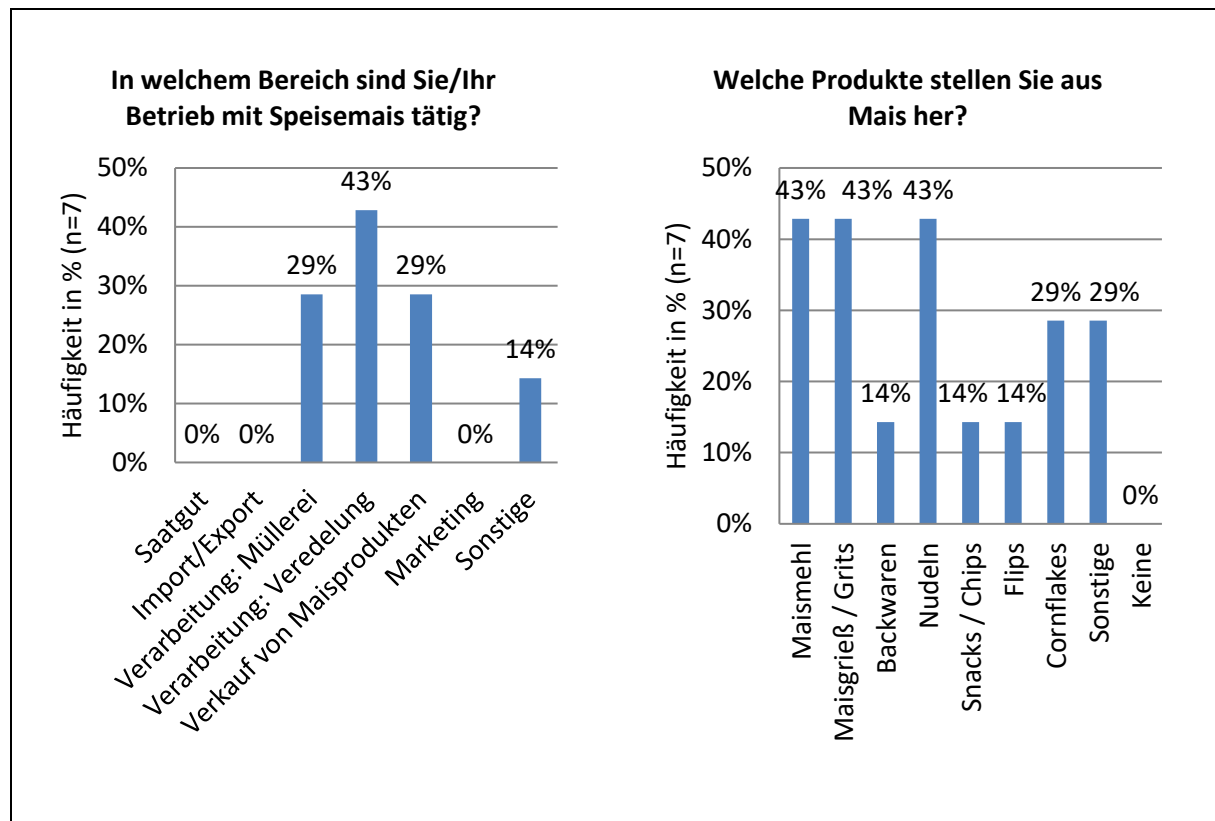
	<i>Rissbildung, Bruch, Schwarzbesatz</i> (Lütke Entrup et al. 2013; Ackermann 2014) <i>Kornfarbe</i> (Reiner 2009; Ackermann 2014; Nuss und Tanumihardjo 2010; Almeida Rios et al. 2014)
Makro-nährstoffe	<i>Proteingehalt, Aminosäuren-Zusammensetzung</i> (Fachmann et al. 2009; Goldstein et al. 2012; Abiose und Ikujenlola 2014; Vaswani et al. 2016; East und Jones 1920; Krivanek et al. 2007; Bressani et al. 1990; Brown et al. 1988; Brown et al. 1985; Carballido et al. 1971; Inglett 1970; Flora und Wiley 1972; Arnold et al. 1974; Roundy; Eckinger 2018; Scott et al. 2006; Saini und Keum 2018) <i>Stärkegehalt</i> (Carballido et al. 1971; Rouf Shah et al. 2016) <i>Fett-/Ölgehalt</i> (Lütke Entrup et al. 2013; Ackermann 2014; Inglett 1970; Flora und Wiley 1972; Arnold et al. 1974; Roundy; Wright 1987) <i>Fettsäuren-Zusammensetzung</i> (Jellum 1970)
Mikro-nährstoffe	<i>Carotinoid-Profil: Lutein, Zeaxanthin, α- und β-Carotin, β-Cryptoxanthin</i> (Kurilich und Juvik 1999; Almeida Rios et al. 2014; Uarrota et al. 2011; Demeke 2018; Maziya-Dixon et al. 2000; Menkir et al. 2008) <i>Vitamin E: α- und β-Tocopherole</i> (Fachmann et al. 2009; Kurilich und Juvik 1999) <i>Anthocyane</i> (Fachmann et al. 2009; Lieberman 2007; Lopez-Martinez et al. 2009; Jakobek et al. 2007; Lago et al. 2014) <i>Eisen, Zink, Phosphor, Magnesium</i> (Fachmann et al. 2009; Bänziger und Long 2000; DGE 2019; Queiroz et al. 2011)
Weitere Inhaltsstoffe	<i>DON (Vomitoxin)</i> (VO (EG) 1881/2006 19.12.2006; Lütke Entrup et al. 2013; Dach und Ebner 2018) <i>Weitere Mykotoxine: ZEA, Fumonisine B1 und B2</i> (VO (EG) 1881/2006 19.12.2006; Lütke Entrup et al. 2013; Dach und Ebner 2018) <i>Schwermetalle: Blei, Cadmium, Quecksilber und weitere</i> (VO (EG) 1881/2006 19.12.2006; Fecher et al. 2006; Blume 2010) <i>Phytinsäure</i> (Nuss und Tanumihardjo 2010; Hurrell 2004; Raboy 2003) <i>Ballaststoffe</i> (Earll et al. 1988) <i>Glutenfrei, Allergene</i> (Karch 2015; Ackermann 2014; Maissen und Kiss 2013; Smollich und Vogelreuter 2018)
Sorten/Sortentypen	<i>Hybridsorten, Landsorten und Populationen</i> (Shull 1908; Bundessortenamt 2018; IFOAM 2014; Reif et al. 2005a, 2005b; Pixley 2006; Kutka 2011; Eder 2015; 2014/150/EU 2015; 2018/848 30.05.2018; UPOV 2002; Eder et al. 2014; Lammerts van Bueren, E. T. und Myers 2012; Špaleková und Gálová 2018; ZuchtMetPop 2017; Brown et al. 1985; Eder et al. 2018) <i>Sortentypen</i> (Lütke Entrup et al. 2013; Eder 2015; Duvick et al. 2004; KWS 2018; Hoffmann und Jung 2000; Ndukwe et al. 2015; Okai et al. 2015; Paige 2018; Kutka 2011) <i>Unterschiede zwischen einzelnen Sorten</i> (Hallauer 1994; KWS 2018; Ndukwe et al. 2015; Okai et al. 2015; Paige 2018; Reif et al. 2005a, 2005b; Eder et al. 2019; Eder et al.)
Sonstiges	<i>Weitere Anforderungen für die Eignung als Speisemais</i> (Brown et al. 1985; Boyer und Hannah 1994; Nuss und Tanumihardjo 2010; Ackermann 2014; DMK 2017a; AMI 2018; DBV 2019) <i>Nahinfrarotspektroskopie</i> (Baye et al. 2006; Rathna Priya und Manickavasagan 2021; Sendin et al. 2019; Fox und Manley 2009; Xu et al. 2019)

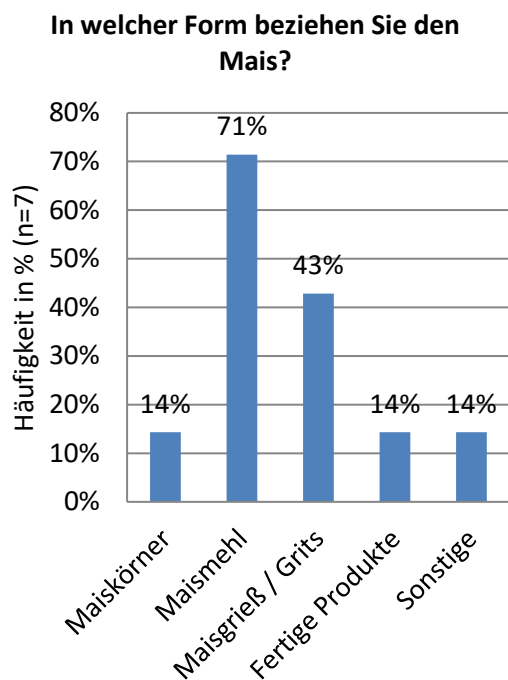
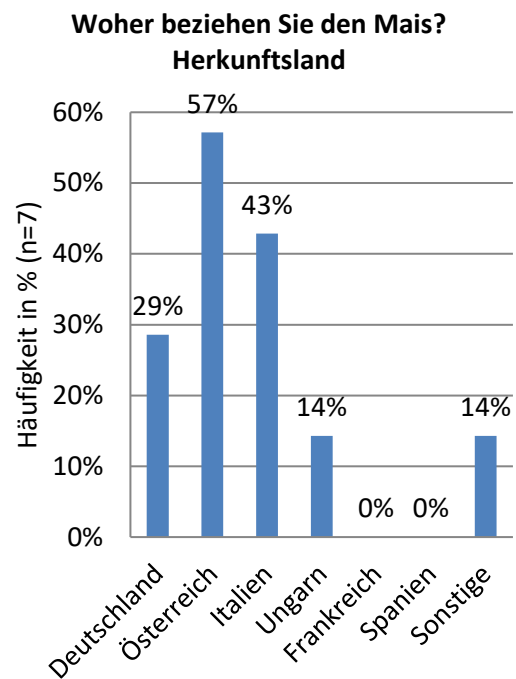
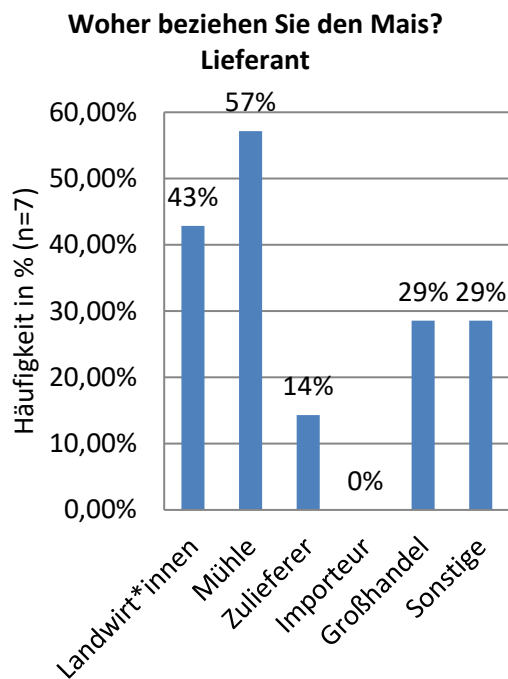
3.1.2.2 Umfrage mit Verarbeiter*innen

Die Umfrage mit Verarbeiter*innen umfasste insgesamt 12 Fragen, darunter vier Multiple-Choice-Fragen (siehe Balkendiagramme in Box 3), drei bewertende Fragen (siehe Darstellung in Box 4) und fünf Textfragen (aufgelistet in Box 5).

Die Ergebnisse der Multiple-Choice-Fragen zeigten, dass unter den teilnehmenden Betrieben v. a. Mühlen, Veredelungsbetriebe und Händler waren, die neben anderen Produkten v. a. Maismehl, -grieß und Nudeln herstellen. Bezogen wird der Speisemais v. a. in Form von Maismehl oder Grieß von Mühlen oder direkt von Landwirt*innen, hauptsächlich aus Österreich und Italien aber auch aus Deutschland und Ungarn.

*Box 3: Balkendiagramme der Ergebnisse der Multiple-Choice-Fragen aus der Umfrage mit Verarbeiter*innen nach Häufigkeit in %, n=Anzahl Teilnehmende/Antworten*



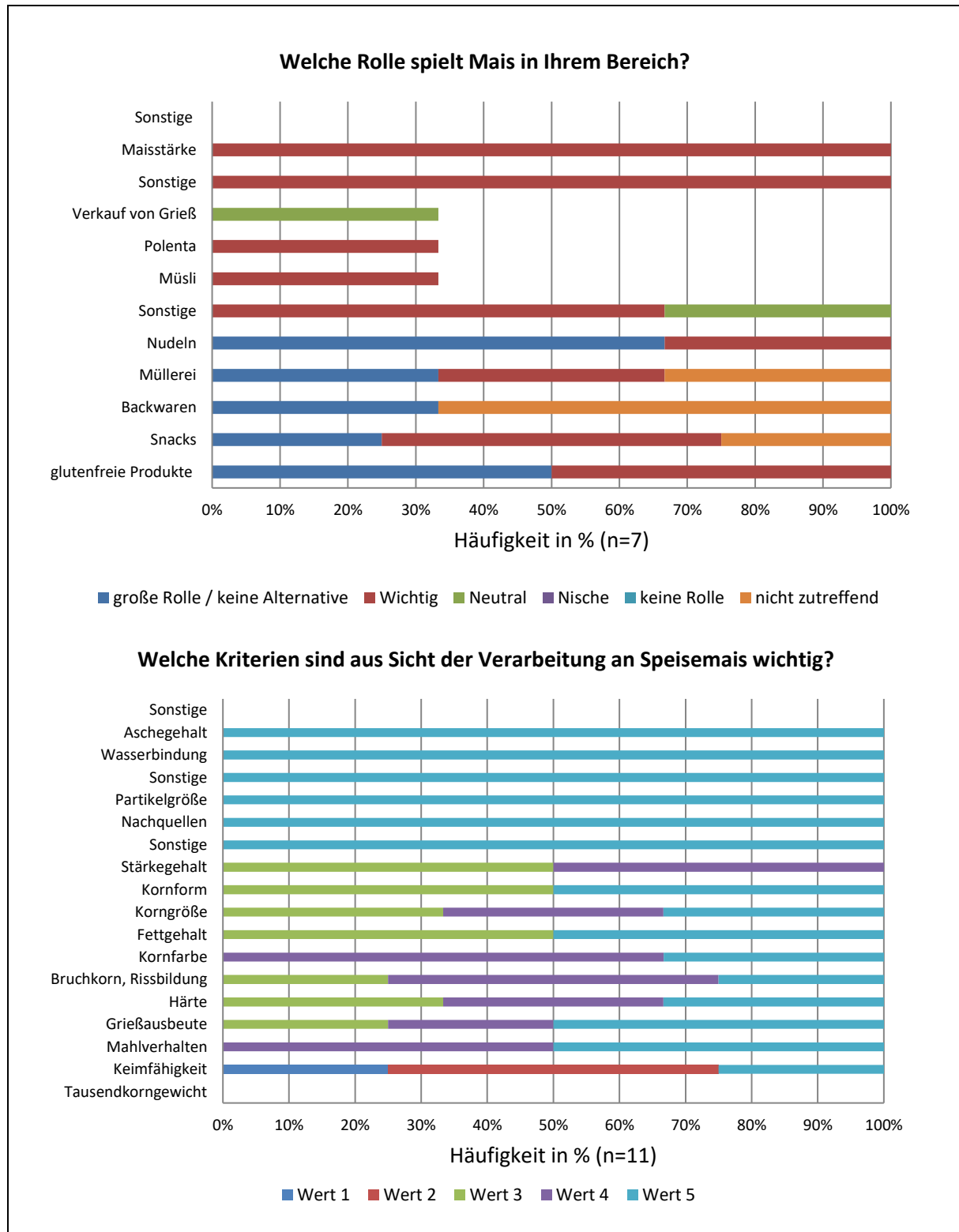


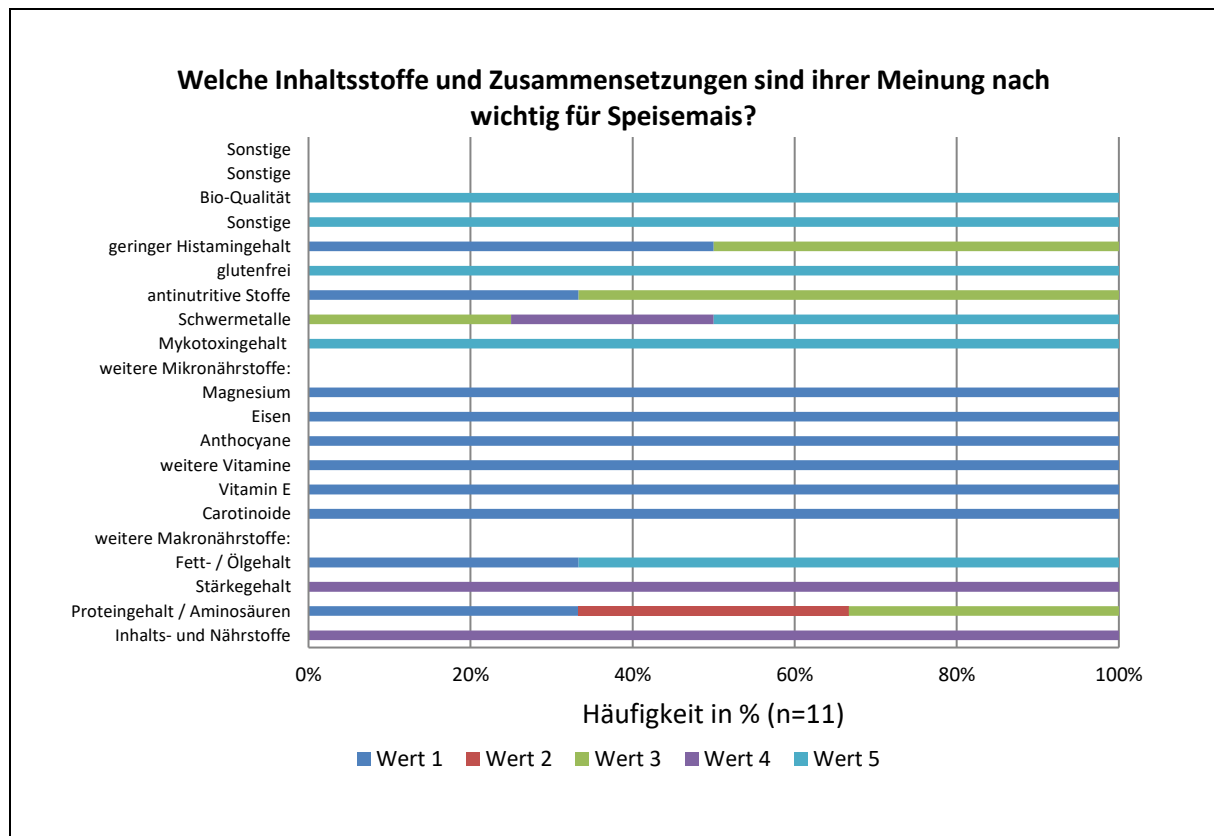
Die Rolle der einzelnen Maisprodukte in ihrem Bereich bewerteten die Teilnehmenden durchaus unterschiedlich (vgl. oberes Balkendiagramm in Box 4). Eine große Rolle wurde Nudeln, Müllerei, Backwaren, Snacks und glutenfreien Produkten zugeschrieben, auch Maisstärke, Polenta, Frühstückscerealien/Müsli und Sonstige Produkte wurden als wichtig eingestuft. Allein der Verkauf von Grieß wurde rein neutral bewertet.

Bei den Kriterien für die Verarbeitung sowie den Inhaltsstoffen und der Zusammensetzung von Speisemais deckten sich die Bewertungen mit den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche (vgl.

Tabelle 2 und die beiden unteren Balkendiagramme in Box 4). Auch hier unterschieden sich die Antworten der Verarbeiter*innen je nach Verarbeitungsschwerpunkt und Produkt.

*Box 4: Balkendiagramme der bewertenden Fragen aus der Umfrage mit Verarbeiter*innen. Bewertung nach Rolle von großer bis keine Rolle/nicht zutreffend oder nach Wert von 1 (unbedeutend) bis 5 (sehr wichtig), n=Anzahl Teilnehmende/Antworten*





Die Antworten auf die Textfragen bekräftigten nochmals die Erkenntnisse aus den vorherigen Antworten und der Literaturrecherche (siehe Box 5). Zudem wurde in den freien Antworten nochmals die Bedeutung für Verarbeitung und Vermarktung von Allergenen und Glutenfreiheit deutlich, sowie von Mykotoxinen und der generellen Eignung als Nahrungsmittel des Ernteguts.

*Box 5: Antworten auf die Textfragen aus der Umfrage für Verarbeiter*innen, n=Anzahl Teilnehmende/Antworten*

Welche Voraussetzungen muss Speisemais in Ihrem Betrieb erfüllen? (n=5)

Antworten zu Verarbeitungsqualität

- Entkeimbarkeit, geringer Fettgehalt (<1,5 %)
- Große, harte Körner, Glasigkeit, hohe Grießausbeute bei geringem Futteranteil, kein bitterer Geschmack oder Geschmacksabweichungen
- Partikelgröße, Farbe, Aschegehalt, Wassergehalt
- Quellfähigkeit, Stärkegehalt, Korngröße
- Noch keine Erfahrung

Antworten zu Ernährungsqualität

- TKG spielt untergeordnete Rolle, gelbe Farbe und Grieß-/Mehlausbeute
- Inhaltsstoffe wie Protein-, Stärke- und Fettgehalt
- Glutenfrei, Stärkegehalt
- Noch keine Erfahrung

Antworten zu weiteren Aspekten

- Größte Rolle: Fettgehalt, Mykotoxine und Fusarium
- Inhaltsstoffe sollten nicht stark abweichen, müssen zu Verpackungsangaben der Kund*innen passen

Welche Qualitätseigenschaften lassen Sie regelmäßig prüfen? (n=5)

Interne (In-House) Prüfungen/Analysen

- Entkeimbarkeit

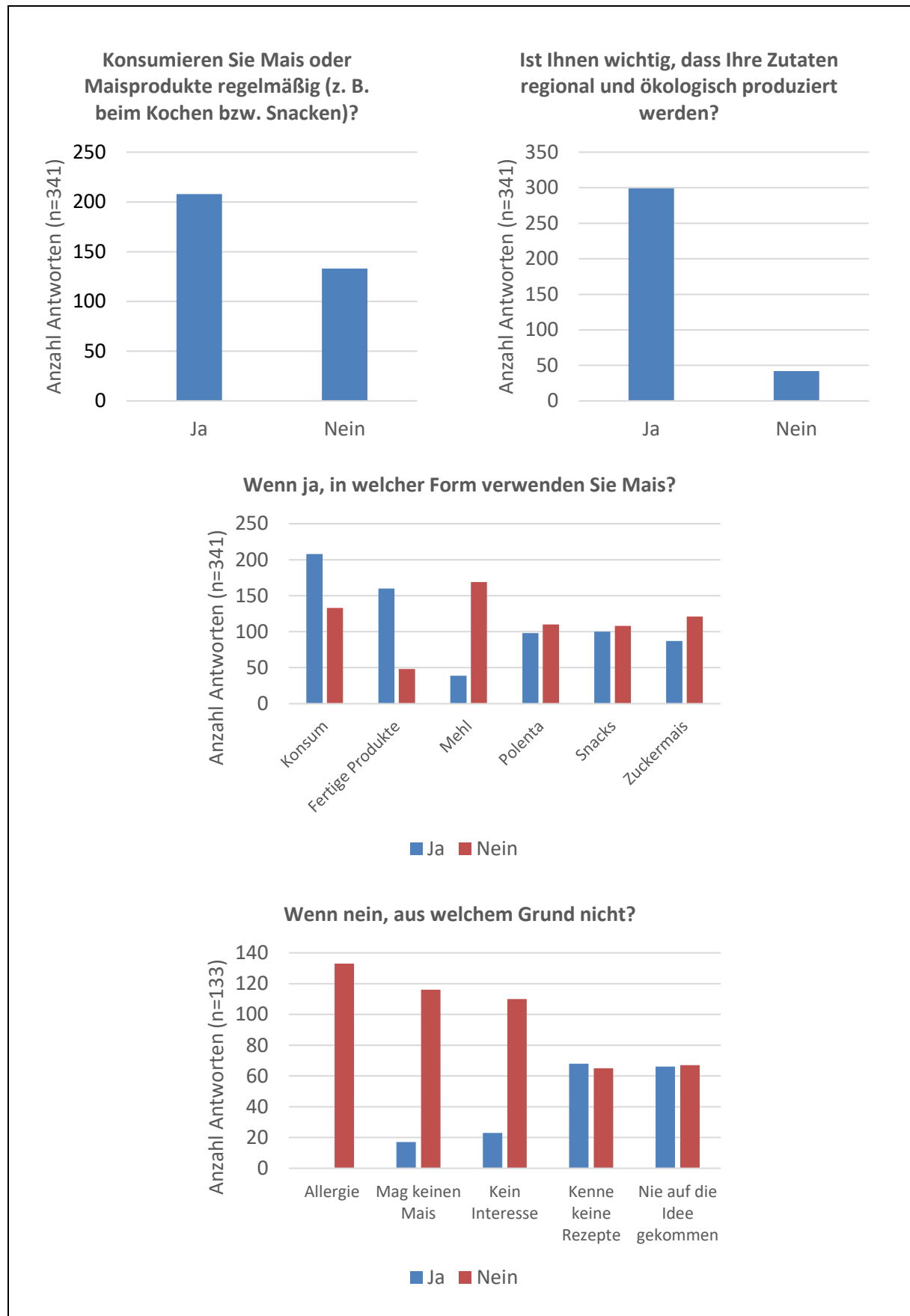
- Mykotoxine, DON-Schnelltests - Gluten, Allergene - Fremdbesatz - Feuchtigkeit, Wassergehalt - Protein, Asche, Fett - Grießausbeute - Farbe - In Abhängigkeit vom Produkt Externe (durch externe Anbieter/Labore/etc.) Prüfungen/Analysen - Rückstände, Schwermetalle, Pestizide - GMO - Mykotoxine, Tropanalkaloide - Gluten, Allergene
Welche Eigenschaften/Kriterien werden ihrer Ansicht nach nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt? (n=2) - Entkeimbarkeit - Keine Erfahrung
Gibt es noch Aspekte/Kriterien/Anforderungen an Speisemais, die Ihnen in dieser Umfrage gefehlt haben/zu kurz gekommen sind? (n=3) - Nachhärten von feuchten Teigwaren während der Lagerung im Beutel - Agronomische Aspekte
Welche Anregungen/Wünsche möchten Sie uns noch für unser Projekt und die Erstellung eines Anforderungsprofils für Speisemais mitgeben? (n=2) - Eingehendes Befassen mit agronomischen Fragen und deren Zusammenhang mit Qualität - Subvention/Bau eines Extruderkochers

3.1.2.3 Umfrage mit Verbraucher*innen

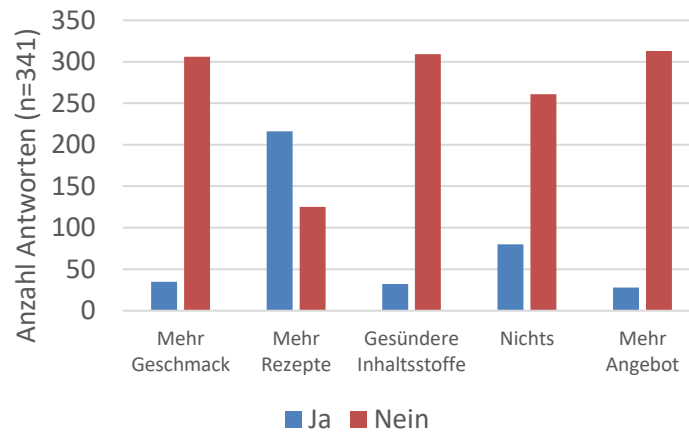
Die Ergebnisse der einzelnen Multiple-Choice-Fragen der Online-Umfrage mit insgesamt 341 Verbraucher*innen sind in Box 6 in Balkendiagrammen dargestellt.

Die Umfrage zeigt, dass über 60 % der Befragten bereits regelmäßig Mais-Produkte konsumieren und es einem Großteil der Befragten wichtig ist, dass Zutaten regional und ökologisch produziert werden. Bei genauer Nachfrage handelt es sich bei 160 der Konsument*innen um fertige Produkte (z. B. Cornflakes, Tortillas), der Großteil der Befragten beantwortete „Konsum“ mit Ja, je maximal 100 der Befragten verwenden Mais in Form von Mehl, Polenta, Snacks oder Zuckermais. Als Hauptgründe warum ggf. kein Mais konsumiert wird, wurden die Unkenntnis von Rezepten oder fehlende Ideen angegeben. Tatsächlich können sich über 200 aller Befragten vorstellen öfter mit Mais zu kochen, wenn sie mehr Rezepte kennen würden, während mehr Geschmack, gesündere Inhaltsstoffe oder ein größeres Angebot weniger als Begründung ausgewählt wurden. Abschließend gaben über 80 % der Befragten ein Interesse an neuen Mais-Rezepten an, während sich knapp 40 % weitere Informationen zu Rezepten oder Kochkursen wünschen.

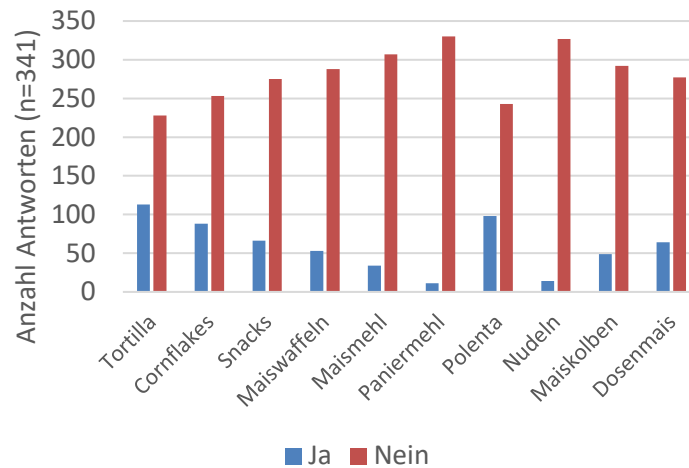
Box 6: Ergebnisse der Umfrage mit Verbraucher*innen aus acht Multiple-Choice-Fragen dargestellt in Balkendiagrammen



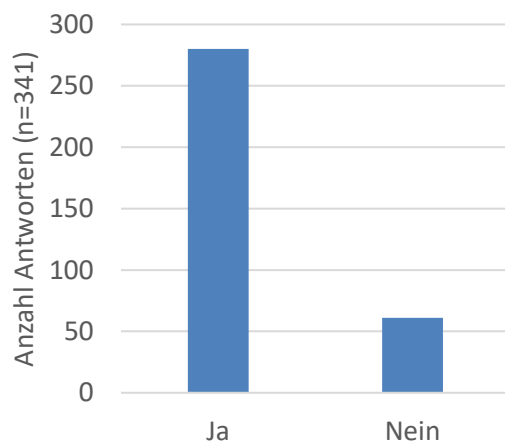
Was würde Ihnen helfen öfter mit Mais zu kochen?



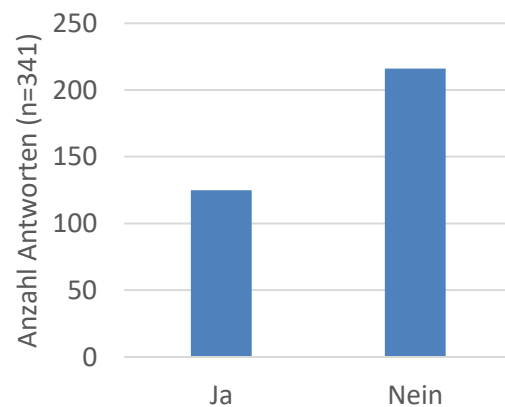
Welche Maisprodukte nutzen Sie?



Haben Sie Interesse, neue Mais-Rezepte auszuprobieren?



Möchten Sie Neuigkeiten zu Rezepten oder Kochkursen erhalten?



Die Ergebnisse der dichotomen (Ja-Nein-)Fragen zeigten eine Pearson-Korrelation von 0,32 zwischen dem Wunsch nach weiteren Informationen und dem Interesse an Rezepten für Gerichte mit Speisemais (vgl. Abbildung 4).

Alle anderen Korrelationen zwischen dem Wunsch nach weiteren Informationen, dem Interesse an Rezepten und einem regionalen und ökologischen Anbau sowie Konsumverhalten waren nicht signifikant ($p=0,005$).

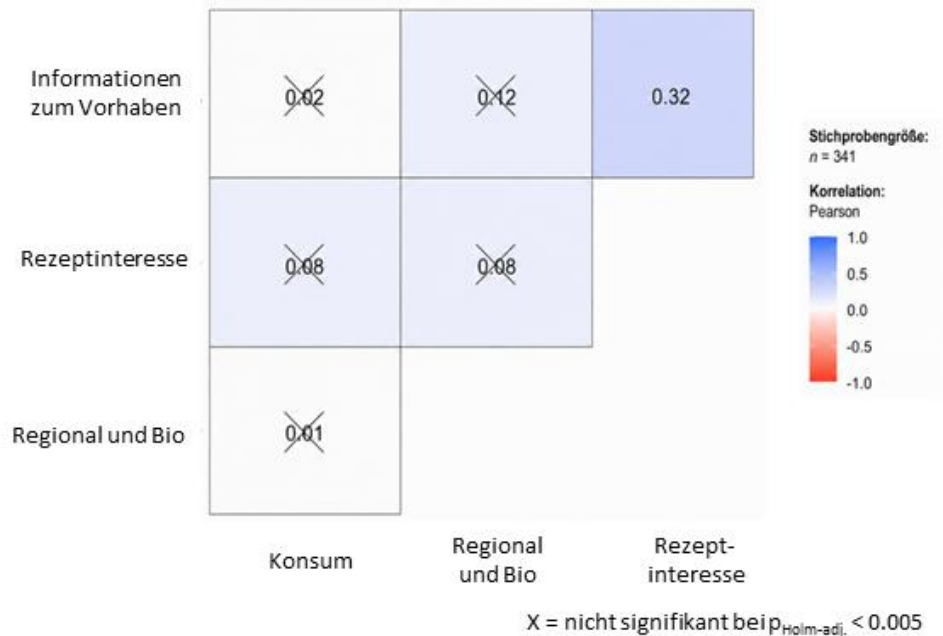


Abbildung 4: Korrelationen der dichotomen (Ja-Nein-)Fragen der Umfrage. Ausgewertet mit t-test nach Pearson, $p < 0,005$

3.1.2.4 Workshop und SWOT-Analyse

Die im Rahmen eines Workshops mit den Projektpartnern erarbeiteten Ergebnisse zu den Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen des ökologischen Speisemaisanbaus sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Ergebnisse sind nach internen und externen Faktoren gegliedert. Abbildung 5 zeigt Eindrücke vom Workshop in Ruhstorf.



Abbildung 5: Eindrücke vom Workshop mit SWOT-Analyse in Ruhstorf. Intensiver Austausch zu Speisemais mit den Projektpartnern (links), Besichtigung der Versuche aus Jahr 1 (rechts)

Die SWOT-Analyse verdeutlichte, dass ökologisch erzeugter Speisemais in Deutschland ein erhebliches Potenzial für Landwirtschaft, Verarbeitung und Ernährung besitzt. Als wesentliche Stärken wurden insbesondere die glutenfreie Verwendung, die vielfältigen Verarbeitungsmöglichkeiten sowie die positiven ernährungsphysiologischen Eigenschaften hervorgehoben. Gleichzeitig wurden Schwächen wie fehlende Verarbeitungskapazitäten, geringe Marktverfügbarkeit und ein begrenztes Wissen über Speisemais bei Verbraucherinnen und Verbrauchern identifiziert.

Als Chancen wurden die steigende Nachfrage nach regionalen und ökologischen Lebensmitteln, die Diversifizierung von Fruchtfolgen sowie die Entwicklung neuer Produkte und Wertschöpfungsketten gesehen. Demgegenüber stehen Bedrohungen wie das häufig negative Image des Maisanbaus, die Konkurrenz etablierter Kulturen und Produkte sowie Unsicherheiten hinsichtlich Marktakzeptanz und Wirtschaftlichkeit.

Insgesamt zeigt die SWOT-Analyse, dass die Etablierung von Speisemais in Deutschland weniger an seinem grundsätzlichen Potenzial scheitert, sondern vielmehr an strukturellen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die durch Forschung, Züchtung, Verarbeitung und Verbraucherkommunikation adressiert werden können.

Tabelle 3: Ergebnisse zu den Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen von ökologischem Speisemais der SWOT-Analyse

		Extern	CHANCEN • Züchtung einer Sorte die umweltfreundlich ist • Neue Chancen für den Anbau von Mais durch extreme Wetterlagen • Eine Alternative für Landwirte Speisemais anzubauen • Alternative Lebensmittel für Menschen die keinen Weizen vertragen • Abwechslung/Diversität • Abfallprodukt der Speisemaisindustrie für andere Bereiche, z. B. Textil/Energie/... • Eine Verbesserung der Vermarktung • DE offen für neue Produkte	BEDROHUNGEN • Qualitätssicherung • Fehlende Technik, wenig Know-How • Prototypen teuer • Entwicklungsprozess in Kinderschuhen • Teigwarenhersteller geben auf • Konkurrenz • Wenig Sensibilität für Maisprodukte • Kein Bewusstsein/Liebe trotz Rezepten, Polenta = langweilig • Fehlende Kenntnis mit Mais zu kochen • Negative Verknüpfung: Futter, Silo, Massentierhaltung, Erosion • Mykotoxine, Stechapfel, Bilsenkraut → Warenannahme, Rückstände, extremer Aufwand • DON-Gehalte inhomogen verteilt • Neue Krankheiten, Belastungen, Klimawandel • Ausreichende Vermarktungschancen • Fehlendes Bewusstsein: Gluten • Kulturelle Unterschiede, Gewohnheit, anderer Geschmack
Intern	STÄRKEN • Verträglichkeit/frei von Gluten • Vielseitigkeit • Abbaubare Produkte aus Maistärke • Hohe Ernährungsqualität/nahrhaft • In mehr Produkten als man denkt (v. a. Stärke) • Farbe • Vielfalt • Ernährungsqualität • Guter Gemengepartner (z. B. Mais + Bohne) • Maisblätter: Hoher Cellulosegehalt • Spindeln → Grillanzünder • Andere Möglichkeiten? Z. B. Dünger?		Strategien um die Chancen durch Stärken zu nutzen • Marketing: Glutenfreie Produkte, nahrhafte Lebensmittel aus Mais • Neue Produkte aus Mais mit vermarkten, Spindeln und Blätter • Vielfältige Vermarktungsmöglichkeiten nutzen • Vorteile des Mais im Anbau kommunizieren: Klimawandel, neues Fruchtfolgeglied	Strategien um Bedrohungen durch Stärken vorzubeugen • Neue Maisprodukte in den Markt bringen • Maisprodukte zugänglicher machen • Mais zu etwas besonderem machen • Saatgut als Gemengepartner verkaufen bewerben, z. B. Körnermais und Bohne • Vielfalt des Mais für Ernährung und Landwirtschaft (Erweiterung der Fruchtfolge) • Wie kann man neue Traditionen einführen/ändern, z.B. Kartoffeln und Tomaten kamen auch aus Amerika und wurden angenommen
	SCHWÄCHEN • Fusariumbefall/Pilzbefall • Glutenfrei halten (Silo, Mühle,...) • Kein „vollständiges“ Protein • Schlechter Ruf: Anbau, Arme-Leute-Essen • Stechapfel (nimmt auch in DE zu) • Unbekannt, fehlende Rezepte, Ideen • Trocknung • ab 30% Feuchte → Ernte • Max. 14% Feuchte für Verarbeitung • Sortenvielfalt • Verbesserung von Landsorten + Populationen • Konkurrenzfähigkeit	Strategien um durch Chancen Schwächen zu minimieren • Neue derzeit gefragte Produkte entwickeln, z.B. Maismilch • Mais als Nahrungsmittel bekannter machen • Rezepte, Kochbuch „Mais“ • Mit Köchen zusammenarbeiten • Züchterische Bearbeitung von Populationen und Landsorten, auch verschiedener Farben/Eigenschaften für größere Vielfalt	Strategien um Gefahren zu mindern wo Bedrohungen auf Schwächen treffen • Image-Kampagne für Speisemais • Potentiellen Verarbeitern Informationen und Know-How zur Verfügung stellen • Hilfe durch Zuckermais/Popcornmais → Bekanntes als „Zugpferde“ nutzen • Maissorten entwickeln, die weniger Anfällig sind für Krankheiten • Strategien entwickeln und verbreiten wie Krankheiten und Unkräuter weniger Chancen im Anbau haben: Fruchtfolge, Mulch, Mischkultur, etc.	

3.1.2.5 Exkursion

Die Exkursion der Projektpartner LfL und FZD zur Besichtigung der Maisversuchsflächen sowie von Maisverarbeitungsbetrieben in Österreich und Italien fand vom 05.09.2023 – 08.09.2023 statt und lieferte wichtige neue Erkenntnisse zur Verarbeitung und den Anforderungen von Speisemais.



Abbildung 6: Eindrücke der Exkursion. Besichtigung der Lerchenmühle (links), Agri'90 in Storo (rechts), traditionelle Trocknung der orange-roten Erhaltungssorte Nostrano di Storo.

Besichtigung der Maisversuchsflächen

Erste Station der Reise war die Besichtigung des Feldversuchs im Rahmen von AP2 in Allershausen.

Lerchenmühle Wieser GmbH

Am nächsten Tag wurde die Lerchenmühle Wieser GmbH in Golling an der Salzach besucht. Bei einem ausgiebigen Rundgang durch die Mühle konnten die Teilnehmerinnen einen umfangreichen Eindruck über die Verarbeitungsprozesse der Maismühle bekommen. Die Erkenntnisse vom Standort Lerchenmühle sind im Folgenden zusammengefasst.

Die Lerchenmühle verarbeitet 600-700 t Getreide pro Monat (davon 65 % Mais) aus Österreich in 4 (bzw. 16 bei Weizen) Mahlgängen zu Mehl, Grieß und Grits. Zu den verarbeiteten Maissorten zählen aber hauptsächlich Hybridsorten. Die fertigen Produkte sowie das bei der Verarbeitung anfallende Futtermittel werden in Österreich und europaweit vermarktet. Beim Vermahlen von Mais fallen ca. 45-50 % Grieß und 5-8 % Mehl an, der Rest ist Futtermittel (Ausputz).

Analyse eingehender Maispartien

An der Lerchenmühle werden von allen eingehenden Maispartien Proben für Mykotoxin-(DON)-Analysen und zur Bestimmung der Grießausbeute genommen. Proben mit kritischen DON-Werten (ca. 500 ppb) werden nochmal in einem externen Labor geprüft, Proben, die den Grenzwert (750 ppb) für Lebensmittel überschreiten, werden verworfen. Die Bestimmung der Grießausbeute (und Entkeimen) erfolgt mittels Labormühle Grainman (vgl. Abschnitt 3.2.4 zur Grießausbeute), die auf die Stärke der großen Maismühle eingestellt ist, sodass die Werte vergleichbar sind. Das gemahlene Produkt wird durch verschiedene Siebstärken (<1,25 Mehl, 2,5 mm feiner Grieß, 3,15 mm grober Grieß, >4 mm Grits) gesiebt und gewogen.

Anforderungen an Speisemais

Als Anforderungen für den idealen Speisemais beschrieb die Lerchenmühle Wieser GmbH eine hohe Grießausbeute (ab 68 %) sowie eine hohe Reifezahl (ab K/S 400). Außerdem werden große harte Körner mit hohem TKG benötigt. Am besten eignen sich Hartmais-Typen, welche aber meist frühe Sorten sind. Die Kunden der Lerchenmühle wünschen außerdem eine einheitliche Farbe des Endprodukts, dafür wird nicht nur eine gelbe Kornfarbe bevorzugt, auch der sogenannte „Black Layer“ des Maiskeimlings sollte möglichst vollständig entfernbar sein.

Nährstoffe

Ein wichtiger Aspekt bei der Verarbeitung von Speisemais ist, dass die Maiskörner während des Mahlvorgangs entkeimt und durch Reibung geschält werden. Da die meisten Nährstoffe des Maiskorns im Keim und der Schale sitzen, verliert der Mais so einen großen Teil seiner Ernährungsqualität.

Versuchszentrum Laimburg in Südtirol

Das Versuchszentrum Laimburg besteht aus den vier Instituten Obst- und Weinbau, Berglandwirtschaft und Lebensmitteltechnologie, Pflanzengesundheit sowie Agrikulturchemie und Lebensmittelqualität.

Zur Aufgabe der Arbeitsgruppe Kräuter- und Ackerbau im Institut für Berglandwirtschaft und Lebensmitteltechnologie gehören Genbankbetreuung und Sortenversuche zu Roggen, Dinkel, Hafer und Gerste sowie Bearbeitung wissenschaftlicher Projekte mit z. B. Leguminosen, Soja und Arznei- und Gewürzpflanzen.

Anbau in Südtirol und Sortenanforderungen

In Südtirol werden ca. 4.000 ha bewirtschaftet, davon sind ca. 3.000 ha für Futtermais und nur 400-450 ha Speisegetreide. Da die nationalen Empfehlungen von Sorten meistens nicht für das Berggebiet in Frage kommen, wird v. a. auf Sorten aus Schweiz, Österreich oder Bayern zurückgegriffen.

Genbank

Die Genbank des Versuchszentrums Laimburg besteht aus einer Landsortensammlung verschiedener Kulturpflanzen aus der Region. Es gibt kurzfristige Lagermöglichkeiten bei 8°C, sowie langfristig bei minus 20°C. Die Keimfähigkeit der Proben wird regelmäßig geprüft. Bei niedriger Keimfähigkeit werden die Sorten im Freiland nachgebaut. Zur Risikominimierung wird das Saatgut außerdem an zwei Standorten aufbewahrt. Der zweite Standort ist die Tiroler Genbank in Innsbruck. Bisher wurden insgesamt 147 Landsorten eingelagert.

Agri'90 in Storo

Agri'90 ist eine Genossenschaft Trentiner Landwirtinnen und Landwirte, die Anfang der 90er mit dem Anbau und der Verarbeitung von Speisemais begonnen haben.

Maisanbau in Storo

In Storo werden ca. 300 ha Speisemais angebaut, davon auf ca. 250 ha die Sorte Nostrano di Storo, eine national registrierte Erhaltungssorte (SIAN). Die Sorte zeichnet sich durch unterschiedliche Kolben von roter bis orange Färbung aus und erreicht einen Ertrag von 30-40 dt/ha. Anfang der 90er wurden Geschmackstests von Nostrano di Storo im Vergleich zu Hybridsorten durchgeführt. Doch keine der Hybride konnte im Geschmack mit der Erhaltungssorte mithalten.

Die Erhaltungszüchtung wird durch die Trentiner Landwirtinnen und Landwirte durchgeführt, wobei das Saatgut am oberen und unteren Teil der Kolben entfernt wird und nur der mittlere Teil für Saatgut genommen wird.

Vollkorn-Verarbeitung

Nach einem Mykotoxin-Schnelltest werden die Körner gereinigt und schonend getrocknet. Sobald ein Feuchtegehalt von 12 % erreicht wurde, wird der Mais erneut gereinigt und vermahlen. Der fertige Polentagrieß wird in 1 kg Tüten verpackt, davon werden ca. 1 Millionen Stück pro Jahr verkauft. Zu weiteren Produkten zählen Mais-Cracker und vorgekochte Polenta.

Eine Besonderheit der Maisverarbeitung in Storo ist, dass das gesamte Korn vermahlen wird und der Keimling nicht entfernt wird. So bleibt ein Großteil der Nährstoffe im Endprodukt erhalten. Das dadurch kürzere Mindesthaltbarkeitsdatum stellt bspw. durch gekühlte Lagerung für die Vermarktung der Agri'90 kein Problem dar. Anders als an der Lerchenmühle ist auch der „Black Layer“ unproblematisch bzw. sogar gewünscht.

3.1.2.6 Zusammenführen der Ergebnisse aus AP1 (Triangulation)

Durch die Zusammenführung (Triangulation) der Ergebnisse aus AP1 konnte ein umfassendes Anforderungsprofil für ökologisch erzeugten Speisemais in Deutschland entwickelt werden (siehe Tabelle 4 – besonders relevante Eigenschaften sind fett hervorgehoben). Das Profil zeigt, dass die Eignung einer Sorte nicht allein durch hohe Erträge, sondern durch das Zusammenspiel agronomischer, technologischer und ernährungsphysiologischer Eigenschaften bestimmt wird.

Im Bereich Anbau standen neben einem hohen Kornertrag insbesondere die Gesundheit von Pflanzen und Kolben, eine zügige Jugendentwicklung sowie eine gute Unkrautunterdrückung im Vordergrund. Für den

ökologischen Anbau waren zudem Standfestigkeit, eine passende Reifegruppe und eine hohe Resilienz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren entscheidend. Von besonderer Bedeutung waren außerdem eine geringe Belastung mit Toxinen, eine Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Maiszünsler sowie offene Lieschen, die ein gutes Abtrocknen der Kolben ermöglichen.

Für die Verarbeitung waren vor allem eine hohe Grießausbeute von über 68 % sowie ein hoher Anteil an Körnern bzw. Bruchstücken mit einer Größe von mehr als 4 mm relevant. Bevorzugt wurden hartmaisbetonte Sortentypen mit hoher Kornhärte, da diese größere und qualitativ hochwertige Grießfraktionen ermöglichten. Weitere wichtige Kriterien waren eine geringe Neigung zu Riss- und Bruchbildung, eine einheitliche und möglichst große Korngröße, ein hohes Tausendkorngewicht sowie eine hohe Schüttdichte. Auch die Kornform, die Kornfarbe sowie ein sauberes, nicht verunreinigtes Erntegut und ein guter Geschmack spielten eine wichtige Rolle.

Im Bereich Ernährung zeigte sich, dass neben der technologischen Qualität auch die ernährungsphysiologische Wertigkeit berücksichtigt werden sollte. Ziel ist die Auswahl beziehungsweise Züchtung von Sorten, die Lebensmittel mit möglichst hoher Nährstoffdichte ermöglichen. Besonders relevant waren dabei hohe Gehalte an Magnesium und gesundheitsfördernden Carotinoiden wie Zeaxanthin und Lutein sowie eine günstige Aminosäurezusammensetzung mit hoher biologischer Verwertbarkeit. Darüber hinaus waren eine geringe Belastung mit Toxinen und Schwermetallen sowie gute Verarbeitungsmöglichkeiten für Vollkornprodukte von Bedeutung.

Insgesamt verdeutlicht das Anforderungsprofil, dass für ökologisch erzeugten Speisemais in Deutschland eine Vielzahl von Eigenschaften berücksichtigt werden müssen. Die besonders hervorgehobenen Merkmale bildeten dabei die zentralen Kriterien für die Bewertung bestehender Sorten sowie für zukünftige Züchtungs- und Sortenentwicklungsprogramme.

Tabelle 4: Anforderungsprofil für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais für Anbau, Verarbeitung und Ernährung, essentielle Eigenschaften fett hervorgehoben

Anbau	Verarbeitung	Ernährung
– Kornertrag – Pflanzen- und Kolbengesundheit – Zügige Jugendentwicklung – Unkrautunterdrückung – Standfestigkeit – Reifegruppe – Sortentyp – Resilienz – Eignung für ökologischen Anbau/Gemenge – Keine/niedrige Toxinbelastung – Maiszünsler (Widerstandsfähigkeit) – Offene Lieschen, gutes Abtrocknen	– Hohe Grießausbeute (> 68 %), hoher Anteil > 4 mm – Korntyp: hartmaisbetonte Typen (Ha-Zw) – Kornhärte: hartes Korn für größere Bruchstücke – Keine Riss-/Bruchbildung – Korngröße: einheitlich, groß – Tausendkorngewicht, Schüttdichte – Kornform: flach und rund – Kornfarbe: gelb, orange und kräftig, weiß – Sauberes Saatgut, keine Verunreinigungen – Geschmack	– Potenzial: Inhaltsstoffe bei Selektion/ Sortenwahl berücksichtigen – Ziel: Lebensmittel so wertig wie möglich – Magnesium – Aminosäuren-zusammensetzung, biol. Verwertbarkeit – Carotinoidgehalte: Zeaxanthin, Lutein – Keine/niedrige Belastung mit Toxinen/Schwermetallen – Verarbeitungsmöglichkeiten für Vollkorn

3.1.3 AP1 – Diskussion

Im Rahmen von AP1 konnte erstmals ein umfassendes Anforderungsprofil für lokal in Deutschland unter ökologischen Anbaubedingungen erzeugten Speisemais entwickelt werden, das Anforderungen aus Anbau, Verarbeitung und Ernährung miteinander verbindet. Die Kombination aus Literaturrecherche, Befragungen entlang der Wertschöpfungskette sowie dem intensiven Austausch mit Praxispartnern und Expert*innen erwies sich dabei als besonders wertvoll, da sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse als auch praktische Erfahrungen und Erwartungen der Akteur*innen berücksichtigt werden konnten.

Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass die Eignung einer Sorte für den Speisemaisanbau nicht anhand einzelner Eigenschaften beurteilt werden kann. Vielmehr müssen agronomische Merkmale wie Kornertrag, Pflanzen- und Kolbengesundheit oder Resilienz mit technologischen Eigenschaften wie Grießausbeute, Kornhärte und Kornqualität sowie ernährungsphysiologischen Aspekten zusammen betrachtet werden. Das entwickelte Anforderungsprofil stellt daher kein starres Schema dar, sondern einen praxisnahen Orientierungsrahmen für Forschung, Züchtung und Beratung. Je nach regionalem Anbaukontext, Verarbeitungspfad und Endprodukt kann die Gewichtung einzelner Eigenschaften stark variieren.

Grießausbeute

Besonders deutlich wurde dies am Beispiel der Grießausbeute, die sich im Projekt als zentrales Kriterium für die Verarbeitung herauskristallisierte. Sowohl die Literaturrecherche als auch die Befragung der Verarbeitungsbetriebe sowie die Erkenntnisse aus der Exkursion zeigten, dass eine hohe Grießausbeute und ein hoher Anteil grober Fraktionen ($> 4\text{ mm}$) wesentliche Qualitätsmerkmale darstellten. Gleichzeitig deutete sich ein Spannungsfeld zwischen agronomischer Leistungsfähigkeit und verarbeitungstechnischer Eignung an. Hartmaisbetonte Typen wiesen häufig günstige Eigenschaften für die Verarbeitung auf, erreichten unter mitteleuropäischen Bedingungen jedoch nicht immer die notwendige Fröhreife oder die höchsten Erträge. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Grießausbeute nicht allein aus Sortenbeschreibungen oder anhand des Korntyps abgeleitet werden kann, sondern direkt bestimmt werden muss. Um den damit verbundenen Aufwand zu reduzieren, wurde im weiteren Projektverlauf eine NIRS-Kalibration zur schnellen und kostengünstigen Bestimmung der Grießausbeute entwickelt.

Stärken und Schwächen von Speisemais

Die Ergebnisse der SWOT-Analyse verdeutlichten dabei, dass die Herausforderungen für Speisemais nicht primär im Anbau selbst liegen, sondern entlang der gesamten Wertschöpfungskette auftraten. Während die positiven Eigenschaften von Speisemais – insbesondere Glutenfreiheit, ernährungsphysiologische Vorteile und vielfältige Verarbeitungsmöglichkeiten – von den Beteiligten übereinstimmend hervorgehoben wurden, bestehen Hemmnisse vor allem in einer fehlenden Esstradition, einer geringen Marktpräsenz und begrenzten Verarbeitungskapazitäten. Dies wird durch die Verbraucher*innenumfrage bestätigt, in der fehlende Rezeptideen und mangelnde Kenntnisse als wesentliche Gründe für den geringen Konsum genannt wurden. Die Ergebnisse legten daher nahe, dass die Etablierung von Speisemais in Deutschland nicht allein durch die Entwicklung geeigneter Sorten erreicht werden kann, sondern ein integrierter Ansatz notwendig ist, der Züchtung, Verarbeitung, Vermarktung und Verbraucherkommunikation gleichermaßen berücksichtigt.

Vielfältige Verarbeitungspraxis

Die Exkursion nach Österreich und Südtirol verdeutlichte darüber hinaus, dass Anforderungen an Speisemais stark von regionalen Verarbeitungstraditionen und Konsumgewohnheiten geprägt werden. Während bei der Lerchenmühle eine hohe Grießausbeute, harte Körner und eine einheitliche gelbe Farbe des Endprodukts im Vordergrund stehen, liegt der Schwerpunkt bei Agri'90 in Storo stärker auf Geschmack und Vollkornverarbeitung. Dort werden bewusst traditionelle Landsorten genutzt und das gesamte Korn inklusive Keim und Schale verarbeitet, wodurch ernährungsphysiologische Vorteile erhalten bleiben. Diese unterschiedlichen Ansätze verdeutlichten, dass die Entwicklung geeigneter Speisemaissorten nicht auf einen einzigen Idealtyp abzielen sollte. Vielmehr erscheint ein diversifiziertes Sortenspektrum sinnvoll, das unterschiedliche Verwendungsrichtungen und Marktsegmente bedienen kann.

Die Befragung der Verarbeitungsbetriebe bestätigte die Ergebnisse der Literaturrecherche weitgehend. Insbesondere Grießausbeute, Kornhärte, Inhaltsstoffe sowie die Belastung mit Mykotoxinen wurden als entscheidende Qualitätskriterien genannt. Aufgrund der geringen Zahl vollständig ausgefüllter Fragebögen sind die Ergebnisse jedoch als qualitative Einschätzung einzelner Akteur*innen zu verstehen und nicht als repräsentatives Bild der gesamten Branche. Dennoch lieferte die Umfrage wertvolle Hinweise auf bislang wenig berücksichtigte Aspekte, etwa die Bedeutung der Entkeimbarkeit oder den Zusammenhang zwischen agronomischen Eigenschaften und der späteren Verarbeitungsqualität. Gleichzeitig wurde auch hier nochmal die Vielfalt der Anforderungen an Speisemais durch die verschiedenen Verarbeitungsmöglichkeiten deutlich, bspw. werden für die Herstellung von Maisnudeln nochmal neue Eigenschaften relevant, wie das Nachhärten des Teiges.

Die Verbraucher*innenumfrage zeigte dagegen, dass das Potenzial von Speisemais in Deutschland derzeit weniger durch mangelndes Interesse als vielmehr durch fehlende Kenntnisse und eine geringe Esstradition begrenzt wurde. Obwohl ein Großteil der Befragten bereits Maisprodukte konsumierte und regional sowie ökologisch erzeugte Lebensmittel bevorzugte, fehlten häufig Ideen zur Verwendung von Speisemais oder Kenntnisse geeigneter Rezepte. Gleichzeitig äußerten viele Teilnehmer*innen den Wunsch nach Rezepten, Kochkursen oder weiteren Informationen. Dies deutete darauf hin, dass die Etablierung von Speisemais als Lebensmittel nicht allein über die Entwicklung geeigneter Sorten erfolgen kann, sondern auch eine stärkere Verbraucherkommunikation und die Entwicklung attraktiver Produkte erforderlich sind.

Insgesamt wurde deutlich, dass Speisemais als Lebensmittel in Deutschland bislang nur in begrenztem Umfang genutzt wurde, obwohl er sowohl aus ernährungsphysiologischer als auch aus agronomischer Sicht ein großes Potenzial besitzt. Als glutenfreie Kultur mit wertvollen Inhaltsstoffen und vielfältigen Verarbeitungsmöglichkeiten kann Speisemais einen Beitrag zu einer diversifizierten, regionalen und ökologischen Ernährung leisten. Gleichzeitig eröffnet die Kultur neue Perspektiven für die Wertschöpfungskette und kann die Fruchtfolge im ökologischen Landbau erweitern. Das im Projekt entwickelte Anforderungsprofil bildete hierfür eine wichtige Grundlage und schafft die Voraussetzung für die Bewertung bestehender Sorten sowie für die zukünftige Züchtung und Entwicklung spezialisierter Speisemaissorten für Deutschland.

3.2 AP2 – Sorten-Screening und Qualitätsanalysen

Ziel dieses Arbeitspakets war die umfassende Untersuchung einer Auswahl von für den ökologischen Mais-Anbau in Deutschland geeigneten Hybridsorten, Landsorten und offen abblühenden Populationen hinsichtlich der in AP1 definierten Anforderungen an Speisemais. Dafür wurden ein Sorten-Screening (2022) und darauf aufbauend mehrortige Feldversuche (2023) unter ökologischen Bedingungen durchgeführt und durch umfangreiche Laboranalysen (2024) ergänzt. Auf dieser Basis wurden fundierte Aussagen zur Speisemais- und Anbaueignung der Sorten getroffen sowie mögliche Besonderheiten einzelner Sorten, etwa hinsichtlich spezieller Verarbeitungseignung oder ernährungsphysiologischer Vorteile, beschrieben. Zudem wurde gezielt untersucht, ob sich die drei Sortentypen systematisch in ihren Inhaltsstoffen und agronomischen Eigenschaften unterscheiden.

3.2.1 AP2 – Material und Methoden

3.2.1.1 Sortenauswahl

Großes Augenmerk wurde auf die Sortenauswahl für das Sorten-Screening (ca. 90 Sorten) und den Feldversuch (40 Sorten) gelegt, da sie die Ergebnisse maßgeblich beeinflussen. Die wichtigsten Kriterien für die Auswahl sind in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Kriterien für die Sortenauswahl

Kriterien	Bemerkungen
Praxiserfahrungen, Züchter	Bundessortenamt, Landsorten (LfL-Projekt), Populationen (ZuchtMetPopMais Projekt), Abstimmung mit Cornexo GmbH, Lerchenmühle Wieser GmbH, Trocknungsgenossenschaft Reding eG, DSV Flintprogramm
Sortentyp	Hybridsorten, Populationen, Landsorten
Reife	Angepasst, K 210 bis 250

Kriterien	Bemerkungen
Kornfarbe	Möglichst breites Spektrum, (weiß, gelb, orange, rot, blau, bunt), Hybridsorten gelb, farbliche Unterschiede nur bei den Landsorten, teilweise bei den Populationen
Korntyp	Für Feldversuche nur Hart- bis Zwischentypen, für Kalibration gesamtes Spektrum von Hart-, Zwischen- bis Zahnmaistypen
Kornform	Möglichst breites Spektrum (breit, schmal, spitz, rund, flach)
Zulassungsjahr	Aktuelle Sorten, außer Landsorten
Züchter	Breites Spektrum (KWS, Syngenta, Pioneer, uvm.)

Es sollten möglichst aktuelle Sorten und Sorten, die grundsätzlich für die Speisemaisverwertung geeignet sind, also Hartmais ähnliche Sorten, verwendet werden, um eine praxisnahe Empfehlung abgeben zu können. Auch das Kriterium Reifeeinstufung wurde so gewählt, dass eine sichere Ausreife ermöglicht wird. Um die Frage zu beantworten, ob die Kornfarbe ernährungsrelevante Inhaltsstoffe beisteuert, wurden dementsprechend Sorten mit möglichst unterschiedlichen Kornfarben ausgewählt. Auch wurden Sorten aus Österreich und Südtirol mit aufgenommen, die dort als Polenta-Sorten bekannt sind.

Für das Screening standen insgesamt ca. 90 Sorten (siehe Tabelle 6), nämlich 42 Landsorten, die gleichzeitig vermehrt wurden, und 55 Sorten (darunter 34 Hybride, 15 Populationen, 6 Landsorten), die bereits in einem zweifach wiederholten Exaktversuch geprüft wurden, zur Verfügung. Alle Sorten wurden hinsichtlich der relevanten Kornparameter bonitiert und fotodokumentarisch erfasst (siehe Anhang 1).

Tabelle 6: Sortenliste Screening der Sorten 2022 (Leistungsprüfung und Vermehrung)

	Landsorten	Hybridsorten	Populationen
Anzahl	43	34	16
Zulassung	vor 1945	2015 -2022	2021, 2025
Reife	200-250	210-250	220-250
Korntyp			
Hartmais/Hartmais ähnlich	37	12	3
Zwischentypen	3	12	9
Zahnmais/Zahnmais ähnlich	3	10	3
Kornfarbe			
weiß	6	0	0
gelb/orange	22	34	13
rot/blau	5	0	2

Anhand dieser Ergebnisse wurden insgesamt 40 Sorten aufgeteilt in den Sortentyp Hybridsorte, Landsorte und Population für den mehrortigen Feldversuch ausgewählt.

3.2.1.2 Anlage und Durchführung Vermehrungsparzellen

Von den Landsorten, von denen nicht genug Saatgut für die Leistungsprüfungen vorhanden war, wurde in 2022 ein Vermehrungsanbau an der LfL, Zweigstelle Ruhstorf an der Rott durchgeführt.

Die Vermehrungsparzellen hatten eine Größe von 4,50 m x 6 m (Breite x Länge). Die Abstände zwischen den Reihen waren 75 cm, in den Reihen wurde, für Vermehrungen üblich, ein weiterer Pflanzabstand von ca. 18 cm gewählt. Für die Isolierung und Vermehrung der Landsorten wurde ca. ab Juni regelmäßig überprüft, ob Narbenfäden sichtbar wurden, welche dann mit einer Plastiktüte vor Fremdbestäubung geschützt wurden. Bei Auftreten des Pollenflugs wurde der Pollen von mehreren Pflanzen der jeweiligen Sorte eingesammelt und auf die Narbenfäden verteilt. Um weitere Bestäubung auszuschließen, wurden die bestäubten Kolbenanlagen mit einer Papiertüte abgedeckt. Zur Ernte wurden die Kolben geerntet, schonend bei ca. 38 °C getrocknet, gerebelt und zur weiteren Bearbeitung registriert und kühl gelagert. Aussaat und Ernte erfolgten ortsüblich.

3.2.1.3 Anlage und Durchführung Leistungsprüfungen

Die Parzellenanlage erfolgte als Standardparzelle mit 3 m Breite und 6 m Länge, zweifach wiederholt als randomisierte Blockanlage, die Aussaat erfolgte mit 140 % Saatstärke und Rückvereinzlung auf 9 Pflanzen/m². Beerntet wurden mit einem Standard-Versuchsdrescher die Kernparzellen (inneren 2 Reihen), um Randeffekte auszuschließen. Pflanzenschutz (Hacke, Zünslerbekämpfung) und Düngung erfolgten ortsüblich und nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus. Saat und Ernte erfolgten ortsüblich.

3.2.1.4 Versuchsstandorte

Die Vermehrung der Landsorten und das Sortenscreening wurden 2022 in Ruhstorf durchgeführt. Die darauf aufbauenden Versuche im Jahr 2023 wurden an fünf verschiedenen Standorten im Bundesgebiet durchgeführt, in Tabelle 7 sind die Standorte charakterisiert.

Tabelle 7: Beschreibung der Versuchsstandorte 2022, 2023

Versuchsjahr		2022	2023	2023	2023	2023	2023
Versuchsort		Ruhstorf	Strassmoos	Allershausen	Düllstand	Strüth	Bütthardt
Niederschlag	mm	750	755	830	560	617	610
min.Tagestemp.	°C	8,1	8,5	9,0	10,1	9,5	9,7
Höhe über NN	m	316	390	459	190	348	290
Boden	Art	sL	IS	sL	LS	TL	L
	Zahl	63	70	62	45	66	73
Boden- untersuchung	N _{min} ; kg/ha; 0-90 cm	51	75	45	30	25	15
	P ₂ O ₅ mg/100 g Boden	16	18	k.A.	10	15	20
	K ₂ O mg/100 g Boden	8	21	k.A.	15	20	31
	pH-Wert	6,6	7,3	k.A.	6,9	6,5	7
Vorfrucht		Sojabohne	Klee gras	k.A.	Gerste	Klee gras	Soja
Best. Dichte	Pfl/qm	11	10	10	10	10	10
Aussaat		06.05.2022	23.05./ 07.06.2023	23.05.2023	22.04.2023	26.05.2023	26.04.2023
Ernte		06.10.2022	30.10.2023	24.10.2023	06.10.2023	16.10.2023	ausgefallen

k.A. keine Angaben

3.2.1.5 Erfasste Parameter

In Tabelle 8 sind die erfassten Parameter für die Versuchsjahre 2022 und 2023 dargestellt. Die Parameter zur Ernährungsqualität wurden während des Projekts gemeinsam mit den Ernährungsexperten angepasst. Die Erhebung der agronomischen Parameter am Feld wurden z. T. von den dienstleistenden Versuchsanstellern (Saatenunion, Moosburg, Hetterich Fieldworks) durchgeführt. Nur die Ertrags- und agronomischen Parameter wurden bis zur Wiederholung erfasst, alle anderen Parameter wurden von Mischproben je Ort und Sorte weiterverarbeitet.

Tabelle 8: Übersicht erfasste Parameter in den Versuchsjahren 2022 und 2023

Analysen Speisemais-Mischproben	Verantwortlich	2022	2023				
		Ruhstorf	Allershausen	Straßmoos	Bütthardt	Düllstadt	Strüth
Verarbeitungsqualität (Ort/Sorte/WH)							
Tausendkorngewicht (TKG)	FZD	1	1	1	1	1	1
Keimfähigkeit	FZD	1	1	1	1	1	1
Kornbonitur, Glasigkeit, Farbe (qualitativ), Fusarienbesatz	FZD	1	1	1	1	1	1
Rissbildung, Bruchkornanteil, Schwarzbesatz	FZD	1	1	1	1	1	1
Kornlänge, Kornbreite	FZD		1				1
Toxine, Schwermetalle und antinutritive Stoffe (Ort/Sorte)							
DON (Vomitoxin) (HPLC)	LfL	1	1	1	1	1	1
Weitere Mykotoxine: Zearalenon, Fumonisin B1 + B2 (HPLC, ELISA)	LfL		1	1	1	1	1
Schwermetallpaket: Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn (ICP)	SGS-Jena		1*	1*	1*	1*	1*
Phytinsäure (2 Standorte)	SGS-Jena		1	X	X	1	X
Ballaststoffe (Asche)	LfL		1	1	1	1	1
Makronährstoffe (Ort/Sorte)							
Proteingehalt (1. Jahr: Kjeldahl, 2. Jahr: NIRS)	LfL/FZD	1	1	1	1	1	1
Aminosäuren-Zusammensetzung (NIRS)	LfL		1	1	1	1	1
Stärkegehalt (1. Jahr: Polarimeter, 2. Jahr: NIRS)	LfL/FZD	1	1	1	1	1	1
Fett-/ Ölgehalt (NMR)	LfL/FZD	1	1	1	1	1	1
Fettsäuren (C2-C6 + Isosäuren) (GC, 2 Standorte)	LfL		1	1	X	X	X
Paket: Ca, Na, P, K, S, Mg (ICP)	LfL		1	1	1	1	1

Mikronährstoffe (Ort/Sorte)							
Carotinoid-Profil: Lutein, Zeaxanthin, (HPLC)	SGS-Jena		1	1	1	1	1
α- und β-Carotin, β-Cryptoxanthin (HPLC)	SGS-Jena		1	1	1	1	1
Vitamin E: α- und γ-Tocopherole (HPLC)	SGS-Jena		1	1	1	1	1
Anthocyane	SGS-Jena		1	1	1	1	1
Eisen (ICP)	LfL		1	1	1	1	1
Grießausbeute Bestimmung (Ort/Sorte)							
Labormühle Grainman	Lerchenmühle Wieser GmbH		1	X	X	1	1
Flotationsindex	LfL	1					
Mockmill/Haushaltsmühle	LfL	1					
Sensorische Prüfung Ort/Sorte	Fraunhofer IVV		1	1	1	1	1
Kornertrag/TS-Gehalt Ort/Sorte/WH	LfL/Saatenunion; FZD, Hetterich Fieldworks	1	1	1	XX	1	1
Agronomische Parameter Ort/Sorte/WH Aufgang, Jugendentwicklung, Blüte, Pflanzenlänge, Lager, Beulenbrand, Zünsler, Fusarium	LfL/Saatenunion; FZD, Hetterich Fieldworks	1	1	1	1**	1	1

*, ** ausgefallen, X nicht bestimmt, XX nicht beerntbar

Die Inhaltsstoffanalysen wurden durch die Labore der LfL sowie SGS Institut Fresenius Jena GmbH nach deren standardisierten Laborverfahren durchgeführt.

Protein-, Stärke- und Fettgehalt wurden in Versuchsjahr 1 sowohl im Labor der LfL nasschemisch bestimmt, als auch per NIRS (ZEISS Corona extreme) an der FZD gemessen. Die Laborwerte der LfL wurden genutzt, um die NIRS Kalibration an der FZD zu verbessern. In Versuchsjahr 2 wurden die Gehalte nur am NIRS der FZD bestimmt.

Die Parameter zur Verarbeitungsqualität wurden an der FZD nach der folgenden Methodik erhoben:

Tausendkorngewicht (TKG)

Je Probe wurden drei Wiederholungen mit jeweils 50 Körnern eingewogen. Das TKG wurde anschließend auf 1000 Körner hochgerechnet.

Keimfähigkeit

Je Probe wurden drei Wiederholungen mit jeweils 50 Körnern zwischen feuchtem Filterpapier ausgelegt, eingerollt und in Boxen gefüllt mit Wasser gestellt. Die Filterpapiere wurden in einem Zeitraum von 7 – 10 Tagen regelmäßig befeuchtet. Anschließend wurden die gekeimten Körner ausgezählt und die Keimfähigkeit als prozentualer Anteil aller gekeimter Körner berechnet.

Die folgenden Bonituren wurden anhand einer Mischprobe je Sorte und Standort durchgeführt.

Kornbonitur

Die Kornbonitur erfolgte als visuelle, objektive Bewertung der Körner auf einer Skala von 1 – 9. Niedrige Werte kennzeichnen beschädigte, rissige oder ungleichmäßige Körner, hohe Werte gut ausgebildete und intakte Körner.

Glasigkeit

Die Glasigkeit wurde ebenfalls visuell und objektiv auf einer Skala von 1 – 9 bewertet. Niedrige Werte beschreiben eher milchige Körner, hohe Werte stark glasige Körner.

Fusariumbesatz

Auch der Fusariumbesatz wurde mittels visueller Bonitur auf einer Skala von 1 – 9 erfasst. Dabei entspricht die Note 1 keinem sichtbaren Befall und die Note 9 einem sehr starken bzw. vollständigen Befall.

Korngröße

Die Körner wurden entsprechend ihrer Ausprägung in kleine, mittlere und große Körner eingeteilt.

Rissbildung

Die Rissbildung wurde auch visuell auf einer Skala von 1 – 9 bonitiert. Niedrige Werte entsprechen intakten Körnern ohne sichtbare Risse, hohe Werte stark rissigen oder gebrochenen Körnern.

Bruchkornanteil

Zur Bestimmung des Bruchkornanteils wurde je Probe 100 g abgewogen. Anschließend wurden gebrochene Kornteile herausgenommen und gewogen. Der Bruchkornanteil wurde dann wie folgt berechnet:

$$\text{Bruchkornanteil (\%)} = \frac{\text{Bruchkorn}}{\text{Einwaage}} * 100$$

Schwarzbesatz

Zur Bestimmung des Schwarzbesatzanteils wurde je Probe 100 g abgewogen. Geschwärzte bzw. verfärbte Kornteile wurden herausgenommen und gewogen. Der Anteil wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Schwarzbesatzanteil (\%)} = \frac{\text{Körner mit Besatz}}{\text{Einwaage}} * 100$$

Farbe

Die Kornfarbe wurde qualitativ nach Vorgaben des CPVO (Community plant variety office) bestimmt. Die Einteilung erfolgte in folgende Kategorien:

1 = weiß; 2 = gelb-weiß; 3 = gelb; 4 = gelb-orange; 5 = orange; 6 = rot-orange; 7 = rot; 8 = lila; 9 = braun; 10 = blau-schwarz

Kornlänge-/breite

Zusätzlich wurden im zweiten Versuchsjahr die Parameter Kornlänge, Kornbreite und errechnete Korngröße erhoben. Dazu wurden von den Standorten Strüth und Allershausen je Sorte 15 ganze Körner abgezählt. Die Messung von Länge und Breite der Körner erfolgte mit einem digitalen Messschieber (OBI Group Sourcing GmbH). Aus den Mittelwerten von Kornlänge (mm) und Kornbreite (mm) jeder Sorte pro Standort wurde jeweils die Korngröße (mm²) berechnet.

Grießausbeute



Abbildung 7: Maiskörner in NaNO₃ Lösung



Abbildung 8: Handelsübliche Getreidemühle (Mockmill 200)



Abbildung 9: Grainman – Buehler Group, Lerchenmühle Wieser GmbH

Außerdem wurde im zweiten Versuchsjahr der Parameter Grießausbeute aufgenommen. Dabei wurden drei verschiedene Methoden erprobt. In den ersten zwei Methoden wurden 90 Prüfglieder aus dem Versuchsjahr 1 geprüft. Für Methode 3 wurden insgesamt 450 Prüfglieder, darunter 28 Prüfglieder aus Versuchsjahr 1, 120 Prüfglieder aus Versuchsjahr 2, 211 Prüfglieder aus den bayrischen Landessortenversuchen 2024-2025, 46 Prüfglieder aus dem Kalibrations-Anbau 2024 und 45 Prüfglieder aus dem Kalibrations-Anbau 2025, analysiert.

Die erste Methode umfasst einen Flotationstest nach Weber et al. (2014). Hier wurden aus dem Versuchsjahr 1 je Sorte 100 Körner in eine NaNO₃ Lösung gegeben und der Anteil schwimmender Körner ausgezählt (Abbildung 7). Der Flotationsindex (FI) wurde wie folgt berechnet:

$$FI = \frac{\text{Anzahl schwimmender Körner}}{\text{Anzahl gesamte Körner}} * 100$$

Körner mit mehligem Endosperm und damit niedriger Dichte bleiben oben schwimmen, während Körner mit höherer Dichte und mehr Grießanteil nach unten sinken. Bei der zweiten Methode wurden 100 g je Proben aus Versuchsjahr 1 in einer Haushaltsmühle (Typ Mockmill 200, Abbildung 8) mit der Mahleinstellung 2 gemahlen, in drei Fraktionen gesiebt (< 0,3 mm; 0,3 – 1,6 mm; > 1,6 mm) und gewogen.

Als dritte Methode wurden Proben an der Lerchenmühle Wieser GmbH (AT) untersucht. Bei der Analyse zur Grießausbeute wurden die Proben á 450 g in einer Labormühle (Grainman, Abbildung 9) gemahlen und dabei geschält und entkeimt. Die Grießausbeute wird wie folgt berechnet:

$$\text{Grießausbeute} = \text{Gemahlenes Produkt} * \frac{100}{\text{Einwaage}}$$

Das gemahlene Produkt wird außerdem durch verschiedene Siebstärken gesiebt und gewogen. Dabei ergibt sich folgende Aufstellung:

< 1,25 mm	Mehl
2,5 mm	Grieß fein
3,15 mm	Grieß grob
> 4 mm	Grits

3.2.1.6 Statistische Auswertung

Die statistische Datenanalyse erfolgte mit der Statistiksoftware R (Version 4.4.3). Die Datensätze wurden vorab bereinigt und alle Parameter auf Vollständigkeit geprüft. Zunächst erfolgte eine explorative Datenanalyse (Boxplots, Min-Max Darstellungen, Mittelwerte) und die Prüfung auf Ausreißer (visuell, Tests), gefolgt von Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk, QQ-Plots) und Varianzhomogenität. Zur Verrechnung der Feldversuche wurde ein Mixed Model angewendet und die signifikanten Sorten- bzw. Sortentypunterschiede wurden mithilfe einer Varianzanalyse (ANOVA) und einem Tukey Test bestimmt.

Versuchsjahr 1

Für Versuchsjahr 1 wurden zur deskriptiven Auswertung für jeden Parameter die Sorten nach ihren Ausprägungen sortiert, um die jeweils drei höchsten und niedrigsten Werte zu identifizieren. Außerdem wurde zur Prüfung von Unterschieden zwischen den Sortentypen eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Anschließend erfolgte ein Post-hoc Vergleich mittels LSD-Test (Least Significant Difference, $\alpha = 0,05$). Signifikante Unterschiede wurden durch Buchstabengruppen dargestellt, wobei gleiche Buchstaben keine signifikanten Unterschiede anzeigen.

Versuchsjahr 2

Die Ergebnisse aus dem zweiten Versuchsjahr wurden auf Unterschiede zwischen Sortentypen und Standorten jeweils mittels einer einfaktoriellen ANOVA untersucht. Auch hier wurde ein Post-hoc-Vergleich mittels LSD-Test ($\alpha = 0,05$) durchgeführt und als Buchstabengruppen dargestellt.

Um alle Sorten über die Standorte zu vergleichen, wurde zusätzlich ein lineares gemischtes Modell verwendet:

$$Y_{ij} = \mu + So_i + u_j + \varepsilon_{ij}$$

dabei steht Y_{ij} für den beobachteten Wert des jeweiligen Parameters, μ für den Gesamtmittelwert, So_i für den fixen Effekt der Sorte, u_j für den zufälligen Effekt des Standorts und ε_{ij} für den zufälligen Fehlerterm. Die Auswertung der Sortenmittelwerte erfolgte auf Basis von adjustierten Mittelwerten (estimated marginal means, EMMs). Signifikante Unterschiede zwischen Sorten wurden mittels multipler Vergleiche nach Tukey ($\alpha = 0,05$) bestimmt und ebenfalls durch Buchstabengruppen dargestellt.

Grießausbeute

Der Einfluss von Sortentyp, Korntyp, Versuchsjahr und Umwelt auf Grießausbeute (gesamte Grießausbeute, > 4mm, > 3,15 mm, > 2,5 mm, > 1 mm) wurde jeweils mittels einfaktorieller ANOVA und einem anschließendem post-hoc LSD-Test ($\alpha = 0,05$) untersucht und die Unterschiede als Buchstabengruppen dargestellt.

Um die Effektstärken der einzelnen Faktoren zu bestimmen, wurde folgendes multiples lineares Modell verwendet:

$$Y_{ijk} = \mu + U_i + K_j + St_k + \varepsilon_{ijk}$$

dabei steht Y_{ijk} für den beobachteten Wert des jeweiligen Parameters, μ für den Gesamtmittelwert, U_i für den Effekt der Umwelt (Standort x Versuchsjahr), K_j für den Effekt des Korntyps, St_k für den Effekt des Sortentyps und ε_{ijk} für den zufälligen Fehlerterm.

Um neben der reinen Grießausbeute auch den tatsächlichen potentiellen Grießertrag je Fläche zu berücksichtigen, wurde der Hektarertrag der Grießausbeute als Produkt aus Kornertrag und prozentualer Grießausbeute berechnet.

$$\text{Hektarertrag Grießausbeute} = \frac{\text{Kornertrag} * \text{Grießausbeute}}{100}$$

3.2.1.7 Sensorische Prüfung

Für eine Steigerung der Akzeptanz von Speisemais in der Humanernährung spielt auch das Merkmal Geschmack eine wichtige Rolle. Mit dem Ziel einer umfassenden Bewertung der sensorischen Eigenschaften von Maismehl und Polenta wurde das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) in Freising mit der sensorischen Prüfung des vorliegenden Probenmaterials der im Vorhaben durchgeführten Feldversuche beauftragt. Die sensorische Prüfung wurde in drei Schritten durchgeführt:

1. Orthonasale Prüfung: Sensorisches Screening der Rohstoffe mittels Gruppieren & Flash Profiling
2. Retronasale Prüfung: Profilprüfung ausgewählter Endprodukte (Polenta) in Anlehnung an DIN 10967 Teil 2 (Konsensprüfung, retronasale Prüfung)
3. Dreieckstest zur Überprüfung des Keimlings auf die sensorischen Eigenschaften der Maismehle; Profilprüfung der Endprodukte

Tabelle 9 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die verwendeten Prüfmethode sowie deren Zielsetzung, Durchführung und Auswertung. Die einzelnen Methoden werden im Anschluss kurz erläutert; eine ausführliche Beschreibung der Versuchsplanung, Durchführung und Auswertung der sensorischen Untersuchungen ist im Prüfbericht vom 03.04.2024 des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) dokumentiert.

Tabelle 9: Überblick sensorische Messmethoden (Zielsetzung, Durchführung und Auswertung)

Prüfmethode/ Durchführung	Orthonasale Prüfung	Retronasale Prüfung	Dreieckstest
Ziel	Differenzierung und Gruppierung der Sorten nach Geruch	Geschmacksbeschreibung durch Attribute im Konsens	Geschmacksbeschreibung (Attribute) mit und ohne Keimling
Durchführung	Sensorische Bewertung, Gruppieren, Flash Profiling	Erstellen eines Konsensprofils, Attribute erkennen, Intensitäten durch Konsens	Forced Choice, Bestimmung der abweichenden Probe
Sortenanzahl	40	10	2
Sortentyp	19 LS, 11 H, 10 P	5 LS, 4 H, 3 P	1 H, 1 LS
Kornfarbe	6x weiß 4x rot-blau, 4x zimt, 27x gelb	2x weiß, 2x rot, 1x zimt, 7 Gelbtöne	1x gelb, 1x zimt
Probenvorbereitung je Sorte	Vermahlung mit Mockmill 200, Vorlage 5 g in geruchsneutralem Glas	Polenta: 50 g gemahlener Mais, 250 ml Wasser, 7 min kochen, gekühlt ruhen, Verkostung bei Zimmertemperatur	Probenvorbereitung (Entkeimen, Mahlen) durch Lerchenmühle Wieser GmbH (AT), Vorlage 5 g; 3 Proben (2 identisch, 1 abweichend)
Anzahl Prüfer/Dauer	9 Personen/ 60 Min	6 Personen/ 120 Min	10 Personen
Auswertung/ Darstellung	XLSTAT, Korrespondenz-/Clusteranalyse	XLSTAT, Spinnennetz	XLSTAT, Spinnennetz

Probenmaterial

Die Proben für die sensorische Prüfung umfassten die 40 Prüfglieder aus dem Anbaujahr 2023 (vgl. Tabelle 13 in Kapitel 3.2.3) als Mischproben aller Prüfstandorte (Allershausen, Straßmoos, Bütthardt, Strüth, Düllstadt).

1. Orthonasales Screening der Maismehle: Gruppieren und Flash Profiling

Für das Rohstoffscreening und die Polentaprüfung wurde je Mischprobe je 300 g mit einer Mühle (Mockmill 200, Abbildung 8) gemahlen. 150 g wurden für das Rohstoffscreening verwendet und 150 g für die Polentaprüfung.

Die sensorische Bewertung verschiedener Maissorten wurde von einem geschulten Expertenpanel des Fraunhofer IVV unter Verwendung der Methoden *Gruppieren und Flash Profiling* durchgeführt. Die Prüfpersonen wurden gebeten, die Produkte anhand ihrer sensorischen Ähnlichkeiten zu gruppieren und anschließend die charakteristischen Eigenschaften der Proben dieser "Gruppen" mit eigenen Worten zu beschreiben.

Die Auswertung der Daten und die statistische Analyse wurden vom Fraunhofer-Institut mit der Software XLSTAT durchgeführt. Hierbei wurden Algorithmen für die Erstellung von Wortwolken, die Korrespondenzanalyse und die hierarchische Clusteranalyse verwendet.

2. Retronasale, deskriptive Bewertung der Polenta (Konsensprofil)

Für die retronasale Verkostung der Proben als fertig zubereitete Polenta wurden 10 Proben aus den vorliegenden Mischproben ausgewählt (siehe Tabelle 10), basierend auf der Distanz, Clusterzugehörigkeit und den Geruchsparemtern aus dem orthonasalen Screening sowie auf Nährstoffgehalt, Kornfarbe und Grießausbeute. Die Proben SPIN Caldonazzo und Volney wurden einmal mit und einmal ohne Keimling verkostet (vgl. Dreieckstest), was eine Gesamtprobenzahl von 12 ergibt.

Tabelle 10: Sorten und Auswahlparameter für die retronasale Polenta Prüfung

Nr	Name der Sorte	Cluster	Grieß- ausbeute	%	Farbe	Ertrag	Lutein	Protein
1	Foliant 1528	1	sehr gut	73,3	gelb- orange-rot	mittel	gut	sehr gut
2	Roter Columbus	3	mittel	68,5	dunkelrot	mittel	mittel	gut
3	SPIN Caldonazzo (mit/ohne Keimling)	4	sehr gut	73,0	zimt	gut	schlecht	sehr gut
4	Kemater weiß	5	mittel	68,3	weiß	schlecht	mittel	mittel
5	Ashley	3	mittel	65,9	orange	gut	mittel	schlecht
6	Volney (mit/ohne Keimling)	4	schlecht	62,4	gelborange	mittel	mittel	schlecht
7	SY Liberty	2	mittel	66,5	gelb	gut	mittel	schlecht
8	Almito	2	mittel	69,7	gelborange	gut	gut	mittel
9	6809-21	5	gut	70,4	dunkelrot	schlecht	gut	mittel
10	Tambudzai	4	mittel	67,8	orange	mittel	gut	mittel

Vermahlen wurden die Proben zu Polentagrieß an der Lerchenmühle Wieser GmbH (AT). Die Zubereitung der Polenta erfolgte durch das Fraunhofer-Institut, alle Proben wurden auf die gleiche Weise gekocht und anschließend über Nacht kühl gelagert. Die sensorische Bewertung erfolgte bei Raumtemperatur.

Die Profilierung von zwölf Polenta-Proben erfolgte gemäß DIN 10967-2, Teil 2, dem sogenannten Konsensprofil. Dabei wurden spezifisch die markantesten Attribute jeder Probe identifiziert. Die Intensitäten der Attribute wurden durch Konsens innerhalb einer Gruppendiskussion festgelegt. Eine Skala von 0 (nicht wahrnehmbar) bis 3 (stark wahrnehmbar) wurde verwendet.

Die Ergebnisse der Konsensbewertung wurden anschließend in Spinnennetzdiagrammen dargestellt. Diese ermöglichen eine differenzierte und vergleichende Betrachtung der sensorischen Profile der einzelnen Proben, indem die Intensitäten der Attribute graphisch veranschaulicht werden.

3. Dreiecksprüfung

Für den Dreieckstest zur Überprüfung des sensorischen Einflusses des Keimlings wurden die Landsorte SPIN Caldonazzo und die Hybridsorte Volney ausgewählt, repräsentativ als ein Prüfglied mit besonders hoher bzw. niedriger Grießausbeute (vgl. Tabelle 10).

Die Probenvorbereitung für den Dreieckstest erfolgte an der Lerchenmühle Wieser GmbH (AT). Die Proben ohne Keimling wurden mittels Maisentkeimer (Grainman Buehler Group, Abbildung 9) entkeimt und anschließend mittels handelsüblicher Getreidemühle (Osttiroler Getreidemühle) zu Grieß vermahlen. Die Proben mit Keimling wurden direkt in der Getreidemühle vermahlen.

Zur Feststellung signifikanter Unterschiede zwischen Maismehlen mit und ohne Keimling wurde die Dreiecksprüfung gemäß DIN EN ISO 4120:2021 (DIN EN ISO 4120) durchgeführt, die Maismehlproben orthonasal, also auf Basis des Geruchssinns, bewertet und die abweichende Probe identifiziert (Forced-Choice-Verfahren). Die Anzahl der korrekten Antworten wurde für jede Prüfperson summiert und signifikante Unterschiede wurden gemäß einem α -Wert von 0,05, wie in der Norm DIN EN ISO 4120:2021 festgelegt, geprüft.

3.2.2 Ergebnisse – Versuchsjahr 1: Landsorten Vermehrung, Sortenscreening und Qualitätsuntersuchungen

Das Screening fand am Standort der LfL in Ruhstorf 2022 statt. Während die Bedingungen für Saat und die Jugendentwicklung optimal waren, zählte der Sommer zu einem der heißesten, sodass insgesamt die Erträge niedriger waren.

In der nachfolgenden Tabelle 11 ist ein Auszug von den im Screening erfassten Parametern dargestellt. Ziel des Screenings war es, ein breites Spektrum der Eigenschaften zu erfassen, um mögliche Einflüsse auf Speisemais relevante Parameter erkennen zu können. In der Tabelle sind der Minimum-, Maximum- und Mittelwert der jeweils untersuchten agronomischen und ernährungsrelevanten Parameter dargestellt.

Tabelle 11: Min-, Max- und Mittelwerte der agronomischen Parameter des Sortenscreenings von Hybrid-, Landsorten und Populationen 2022, Ruhstorf a. Rott

Parameter		Min	Max	Mittel
TKG	g	151	477	285
Keimfähigkeit	%	80	100	95
Rissbildung		1	7	4
Bruchkornanteil		0	15,90	4,24
Schwarzbesatz		0	1,84	0,43
Jugendentwicklung - 8-Blatt-Stadium	cm	43	86	65
weibliche Blüte	Tage	61	95	76
Pflanzenlänge	cm	165	330	243
TS	%	61,70	86,90	66,98
Kornertrag (TM 86 %)	dt/ha	8,9	82,4	35,3

Anhand der Werte wird deutlich, dass es gelungen ist, ein sehr breites Spektrum in den jeweiligen Parametern abzubilden. Die agronomischen Parameter TKG, Jugendentwicklung und Kornertrag variierten z. T. weit über 100 %.

3.2.2.1 Qualitätsanalysen

Es wurden über alle Parameter hinweg deutliche Unterschiede zwischen Sorten und Sortentypen festgestellt. Auf Empfehlung der Lebensmittelexperten wurde besonderer Fokus auf die Gruppe der Carotinoide (Mikronährstoffe) gelegt.

Tabelle 12: Erfasste Parameter in Versuchsjahr 1, für jeden Parameter wurde der Mittelwert je Sortentyp berechnet. Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)

Gruppe	Parameter	Hybridsorte	Landsorte	Population
Verarbeitungsqualität	TKG (g)	286 ^b	305 ^a	267 ^b
	Keimfähigkeit (%)	94 ^b	98 ^a	93,7 ^b
	Kornbonitur (1-9)	6,38 ^a	6,05 ^a	5,93 ^a
	Glasigkeit (1-9)	6,27 ^a	6,05 ^a	6,07 ^a
	Fusariumbesatz (1-9)	2,0 ^b	2,02 ^{ab}	2,53 ^a
	Rissbildung (1-9)	5,36 ^a	1,65 ^b	5,07 ^a
	Bruchkornanteil (%)	6,25 ^a	1,08 ^b	6,85 ^a
	Schwarzbesatz (%)	0,96 ^a	0,25 ^b	0,35 ^b
Makronährstoffe	Proteingehalt (%)	10,28 ^b	13,24 ^a	10,46 ^b
	Stärkegehalt (%)	72,36 ^a	69,07 ^b	72,41 ^a
	Fettgehalt (%)	3,09 ^b	3,72 ^a	3,05 ^b
Mikronährstoffe	Anthocyane (mg/kg)	0,84 ^a	0,4 ^b	0,88 ^a
	Lutein (mg/100g)	0,66 ^a	0,33 ^b	0,49 ^{ab}
	Zeaxanthin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	Canthaxanthin (mg/100g)	0,04 ^a	0,04 ^a	0,06 ^a
	β-Cryptoxanthin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	α-Carotin (mg/100g)	0,06 ^a	0,04 ^b	0,05 ^a
	β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	9Z-β-Carotin (mg/100g)	0,04 ^a	0,03 ^b	0,04 ^a
	13Z-β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	15Z-β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	Lycopin (mg/100g)	0,84 ^a	0,4 ^b	0,88 ^a
Weitere Inhaltsstoffe	DON (µg/kg)	355 ^b	404 ^b	1139 ^a

3.2.2.2 Verarbeitungsqualität

Hinsichtlich Verarbeitungsqualität wurde in AP1 der Parameter Grießausbeute als sehr wichtig definiert. Die Ergebnisse dazu stehen in Abschnitt 3.2.4. Auch bei den weiteren Parametern für Verarbeitungsqualität zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Sortentypen. Landsorten zeigten im Mittel ein höheres Tausendkorngewicht sowie eine bessere Keimfähigkeit und geringere Bruchkornanteile. Hybridsorten und Populationen lagen in diesen Merkmalen meist darunter. Bei der Keimfähigkeit zeigten Sorten wie 1538 *Blaumais*, 1542 *Buntmais* und 1556 die höchsten Werte, während *St. Michaelis* und *MAS 26R* zu den Sorten mit geringerer Keimfähigkeit gehörten.

Der Bruchkornanteil beschreibt den Anteil mechanisch beschädigter Körner, der für Speisemais besonders relevant ist, da dies zum einen den Anteil der Grießausbeute negativ beeinflussen kann sowie anfälliger für

Mykotoxine macht. Hier zeigten die Landsorten signifikant den geringsten Anteil, während hohe Werte bei den Hybridsorten *Benedictio*, *Cranberri CS* und *KWS Kuno* beobachtet wurden.

Zudem wiesen Landsorten die größte Vielfalt in der Kornfarbe auf. Beim Fusariumbesatz am Korn zeigten Hybridsorten im Mittel die geringsten Werte, während bei einzelnen Landsorten und Populationen stärkere Befälle auftraten.

3.2.2.3 Makronährstoffe

Stärke ist der Hauptbestandteil bei Mais, ist im Endosperm gespeichert und macht ca. 60 – 75 % im Trockengewicht aus. Protein ist in geringerer Menge vorhanden und macht ca. 7 – 12 % aus. Rohfett befindet sich vor allem im Keim und macht ca. 3 – 6 % aus. Bei den Analysen zeigten die Landsorten im Mittel die signifikant höchsten Protein- und Fettgehalte, sowie die signifikant niedrigsten Stärkegehalte ($p < 0,01$). Zu den Sorten mit höchstem Proteingehalt zählten die Landsorten *Gries Trentino*, *Foliant 1528*, *1647* (16,9 %; 15,9 %; 15,2 %). Zu den Sorten mit niedrigstem Proteingehalt gehörten nur Hybridsorten: *Figaro*, *Wesley* und *SY Liberty*.

Zwischen Protein- und Stärkegehalt wurde eine starke negative Korrelation festgestellt ($r = -0,87$), dies zeigte, dass mit steigendem Proteingehalt der Stärkegehalt tendenziell abnimmt. Daher waren bei den Sorten mit höchstem Stärkegehalt auch nur Hybridsorten vertreten: *ES Eurojet*, *ES Yakari* und *Wesley* (75,8 %; 75,6 %; 75,3 %). Somit waren es bei den niedrigsten Werten nur Landsorten: *Gries Trentino*, *1520*, *Georgische Landsorte weiß* (64,1 %; 65,6 %; 65,9 %).

Die Fettgehalte verteilten sich ein wenig heterogener zwischen den Sorten, trotzdem haben die Landsorten signifikant höhere Werte ($p < 0,01$). Dabei hatten die Sorten *1640*, *1520* und *KWS Johaninio* die höchsten Werte (5,3 %; 5,1 %; 5,0 %) und die Sorten *ES Eurojet*, *Amello* und *ES Yakari* die niedrigsten Werte (1,3 %; 1,4 %; 1,6 %).

3.2.2.4 Mikronährstoffe

Carotinoide sind wichtig für die Augengesundheit und oxidativen Zellschutz. Auffallend waren die Gehalte von den Carotinoiden Zeaxanthin und Lutein. Zeaxanthin reichert sich im gelben Fleck der Netzhaut an und verlangsamt die Makuladegeneration, indem es das blaue Licht filtert und damit das Auge vor oxidativen Schäden schützt. Lutein hat ähnliche antioxidative Eigenschaften, reichert sich aber eher im äußeren Rand des gelben Fleckes an. Lutein und Zeaxanthin kann über grünes Blattgemüse, Bohnen, Mais, Paprika, Eigelb und weiteres aufgenommen werden.

Interessanterweise hatten die Hybridsorten die signifikant höchsten Werte für Lutein und Zeaxanthin und die Landsorten die signifikant niedrigsten Werte ($p < 0,001$). Für Lutein hatten *Artistum*, *ES Bond* und *Amaveritas* die höchsten Werte (1,24 mg/100 g; 1,23 mg/100 g; 1,23 mg/100 g). Auffallend war hier, dass die schlechtesten Sorten alle weiße oder auch rote bzw. bunte Kornfarben hatten (z. B. *Brandstetter weiß*, *Rheintaler Ribel weiß*, *Buntmais*, *SPIN Caldonazzo*). Bei Zeaxanthin hatten die Landsorten zwar auch im Mittel die signifikant niedrigsten Gehalte, trotzdem wurden die höchsten Werte über alle geprüften Sorten von *SPIN Caldonazzo*, *LZM004 Marano Vincentino* und *1652* (2,02 mg/100 g; 1,51 mg/100 g; 1,39 mg/100 g) repräsentiert.

β -Carotin ist die wichtigste Vorstufe von Vitamin A und bietet als Antioxidans eine zellschützende Wirkung. Es kann über Grünkohl und tiefgelbe bis orange Früchte/Gemüse aufgenommen werden. In den Analysen wurden sowohl β -Carotin als auch die Isomere 9Z- β -Carotin, 13Z- β -Carotin und 15Z- β -Carotin überprüft. Zwar wurden signifikante Unterschiede zwischen den Sortentypen festgestellt ($p < 0,001$), jedoch waren die Gehalte an β -Carotin nicht besonders hoch im Vergleich zu anderen Lebensmitteln (8,5 mg/100 g in rohen Karotten). Zu den besten Sorten zählten *Clooney*, *SPIN Caldonazzo* und *Severeen* mit eher gelb-orangener Kornfarbe (0,1 mg/100 g; 0,1 mg/100 g; 0,1 mg/100 g). Die Gehalte der Isomere lagen bei allen Proben nur knapp über der Nachweisgrenze (vgl. Tabelle 12).

β -Cryptoxanthin ist ein gelb-orangefarbenes Carotinoid mit antioxidativer Wirkung und kommt in Paprika und orangenem Obst vor. Hier gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sortentypen ($p > 0,05$) und nur wenige Sorten konnten Werte über der Nachweisgrenze aufweisen: *6802-21*, *SPIN Caldonazzo*, *LZM004 Marano Vincentino* (0,42 mg/100 g; 0,12 mg/100 g; 0,09 mg/100 g).

α -Carotin gehört ebenfalls zu der Gruppe der Carotine und kann wie β -Carotin zu Vitamin A umgewandelt werden, ist jedoch weniger wirksam. Es gilt als Farbstoff der Karotte und kommt auch in Spinat, Salat, Orangen,

Bohnen, Brokkoli und Paprika vor. Auch α -Carotin konnte nur knapp über der Nachweisgrenze festgestellt werden und es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sortentypen ($p > 0,05$). Canthaxanthin aus der Gruppe der Carotinoide ist ein roter Farbstoff und wird im Gegensatz zu den anderen nicht in Vitamin A umgewandelt. Es kommt hauptsächlich in Krabben, Flamingofedern und Pfifferlingen vor. In den Analysen konnte Canthaxanthin nur knapp über der Nachweisgrenze nachgewiesen werden. Das rotfarbige Carotinoid Lycopin gilt auch als starkes Antioxidans und kommt in Tomaten und Hagebutten vor. Auch dies konnte in allen Proben nur knapp über der Nachweisgrenze nachgewiesen werden.

Anthocyane als sekundäre Pflanzenstoffe gehören zu der Gruppe der Flavonoide. Sie verleihen vielen Beeren und Blumen ihre dunkelblaue und violette Farbe. Auch sie haben eine antioxidative Wirkung, jedoch eine schlechte Bioverfügbarkeit. Tatsächlich konnte in den Proben nur bei den folgenden Sorten eine erhöhte Menge an Anthocyanen nachgewiesen werden: 1713, *Blaumais*, *Buntmais* und 6809-21 (114,5 mg/kg; 66,3 mg/kg; 31,9 mg/kg; 26,1 mg/kg). Bis auf die Population sind die Kornfarben bunt, 6809-21 hat eine tiefrote Kornfarbe. In anderen roten oder bunten Sorten (wie z. B. 6811-21, *roter Columbus*, *Foliant*) konnte kein erhöhter Anthocyangehalt festgestellt werden.

3.2.2.5 Weitere Inhaltsstoffe

Die DON-Gehalte variierten stark zwischen den Sorten und überschritten in mehreren Fällen die Grenzwerte für die Lebensmittelverwendung. Ein direkter Zusammenhang zwischen sichtbaren Befall und DON-Gehalt konnte aber nicht eindeutig festgestellt werden.

3.2.2.6 Sortenwahl für Versuchsjahr 2

Die Sortenwahl der zu untersuchenden Sorten in Versuchsjahr 2 erfolgte auf Grundlage der Screening Ergebnisse unter Berücksichtigung agronomischer und ernährungsphysiologischer Eigenschaften. Es wurde darauf geachtet, alle drei Sortentypen (Hybridsorten, Landsorten und Populationen) in die Auswahl einzubeziehen. Die Auswahl erfolgte vor allem anhand agronomischer Merkmale wie dem Kornertrag sowie der generellen Verfügbarkeit und Anbaueignung der Sorten. Ergänzend wurden weitere Kriterien wie die Farbvielfalt sowie auffällige Gehalte an ernährungsrelevanten Inhaltsstoffen (z. B. Lutein, Zeaxanthin und Anthocyane) berücksichtigt.

3.2.3 Ergebnisse – Versuchsjahr 2: Sortenprüfung mit umfangreichen Qualitätsanalysen

Anhand der im Screening ausgewerteten Ergebnisse wurden für den Anbau in 2023 an den Standorten Bütthard, Strassmoos, Allershausen, Strüth, und Düllstadt 40 Sorten (siehe Tabelle 13) ausgewählt. Sie sollten ein möglichst breites Spektrum hinsichtlich Sortentyp, Reife, Korntyp, Kornfarbe und Herkunft abdecken (siehe Methodenbeschreibung 3.2.1.1 Sortenauswahl).

Tabelle 13: Sortenauswahl aus dem Versuch 2022 für die mehrortige Leistungsprüfung in 2023

	Name der Sorte	Reife	Jahr	Korntyp	Firma	Kornfarbe
Hybridsorten	Ashley	K 210	2022	Zw	LG/Limagrain	dunkel gelb
	Benedictio	K 230	2016	(Ha)	KWS	gelb
	Clooney	ca. K 240	2021	Zw(Ha)	DSV	hellgelb
	DKC 2788	K 210	2018	Zw/(Ha)	Bayer Crop Science	orange
	MAS 16 B	K 230	2019	Zw(Ha)	MAS Seeds	orange
	MAS 26 R	ca. K 270	2019	Zw	MAS Seeds	gelb
	Quentin	K 250	2015	Zw	Dehner Agrar	orange mit roten Punkten
	RGT Exxon	K 220	2020	(Ha)	RAGT	dunkel gelb
	Sumumba	K 250	2020	(Ha)	Saaten-Union	dunkel gelb
	SY Liberty	ca. K 240	2022	Zw	Syngenta	gelb
	Volney	K 250	2018	(Ha)/Zw	DSV	orange, rote Punkten
LS						
	Alpenfex 8614_21	ca. K 230	2021	(Ha)	LfL	orange, rote Punkten
	Brandstetter weiß	ca. K 230	vor 1945	Ha	Landwirt	beige

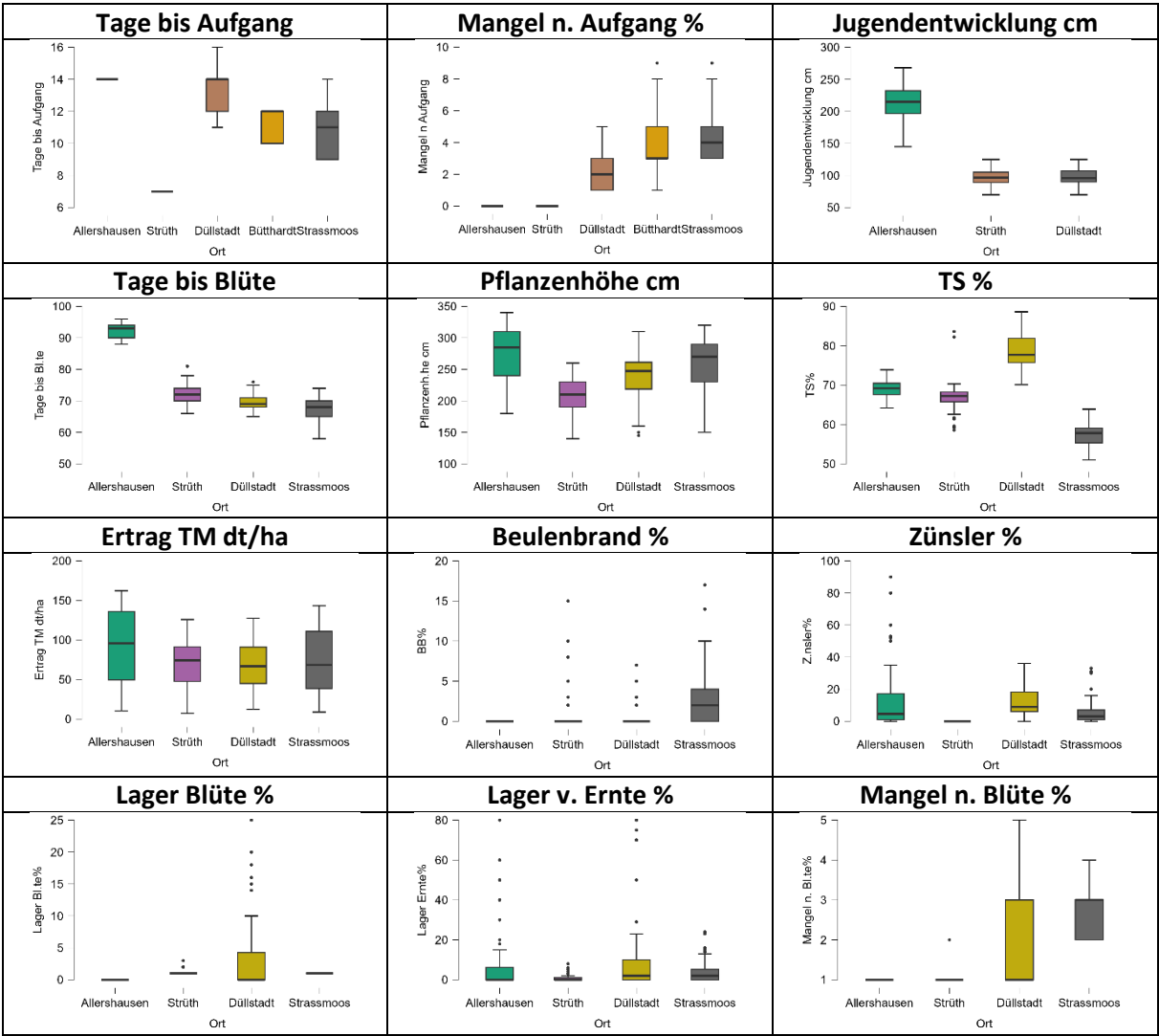
	Name der Sorte	Reife	Jahr	Korntyp	Firma	Kornfarbe
	Foliant 1528	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	orange, rote Punkten
	Kemater weiß	k.A.	vor 1945	Ha	Landwirt	beige
	LZM004 Marano Vincentino/Origano	k.A.	vor 1945	Ha	Laimburg	hell orange
	Rheintaler Ribel weiß 1507	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	beige
	Roter Columbus	k.A.	vor 1945	Ha	FZD	rot
	SPIN Caldonazzo/ Trentino	k.A.	vor 1945	Zw	Laimburg	zimt
	1520-Chiemgauer	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	gelb, hellgelb
	1539-Pitztaler gelb	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	zimt
	1556-Polnischer Landmais	k.A.	vor 1945	Zw	IPK-LfL	orange, rote Punkten
	1573-Slovakei, Südwest-Nitra	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	beige
	1592-Vorarlberger Riebelmais	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	beige, gelb
	1705-Tiroler Gebirgsmais	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	zimt
	1712-Falconer	k.A.	vor 1945	Zw	IPK-LfL	gelb
	1713-very early flint	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	hellgelb, grau-blau, orange, rot
	1502/1511-Gelbe Badische Landmais	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	gelb
	1538 Blaumais	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	hellgelb, grau-blau, orange, zimt
	1542 Buntmais	k.A.	vor 1945	Ha	IPK-LfL	gelb, grau-blau
Population	Almito	K 250	2021	Zw	FZD	dunkel gelb
	Bogdan	K 250	2021	Zw	FZD	dunkel gelb
	Evolino	K 250	2021	Zw	gzpk/Sativa	hell orange, rote Punkte
	Gabriel	K 240	2021	Zw	FZD	dunkel gelb
	Tambudzai	K 230	2021	(Ha)/Zw	BioSaat	hell orange
	Weihenstephaner 2	K 250	2021	Zw/(Za)	Farmsaat	hell orange, rote Punkte
	6802-21	K 230	Test	Zw	LfL	hell orange, rote Punkte
	6806-21	K 250	***2026	Zw	LfL	hell orange, rote Punkte
	6808-20	K 220	*2025	(Ha)/Zw	LfL	gelb
	6809-21	K240	**2025	Zw	LfL	rot

*notifiziert 2025 mit dem Namen *Kya*, ** notifiziert mit dem Namen *rote Gruberin*, *** notifiziert 2026 mit dem Namen *Companera*

3.2.3.1 Agronomische Ergebnisse

Das nasse und kalte Frühjahr verzögerte 2023 die Maisaussaat um rund 12 Tage. In Bayern am Standort Strassmoos musste wegen der schlechten Saatbedingungen umgebrochen und nochmal gesät werden. Anfang Juni verschärfte sich die Lage durch anhaltend sonnige, windige Phasen mit hohen Verdunstungsraten. Regional traten kräftige Gewitter auf, die lokal Schäden anrichteten. Der Standort Bütthard musste deswegen abgebrochen werden. Generell verlief die Reife und Ernte an den Standorten unterschiedlich und verzögerte sich durch die späte Saat teils um mehrere Wochen (Standortbeschreibung siehe Kapitel 3.2.1.4. Methoden).

Tabelle 14: Ergebnisübersicht der Agronomischen Parameter an fünf Standorten, 2023



In Tabelle 14 sind die erfassten agronomischen Parameter je Standort grafisch dargestellt. Es zeigte sich, dass die Sorten bis zum Aufgang zwischen 7 und 16 Tagen benötigten. Auffallend war, dass am Standort Strüth der Aufgang nur 7 Tage dauerte. Das könnte mit der späten Saat Ende Mai zu tun haben, je später gesät wird, desto schneller ist der Aufgang aufgrund der wärmeren Bodenbedingungen. Der Standort Bütthardt zeigte die größten Mängel nach Aufgang, die Startbedingungen waren dementsprechend schlecht und dieser Standort wurde in Folge dann auch abgebrochen. Nichtsdestotrotz wurden Kornproben der Parzellen geerntet und den Analysen zur Verfügung gestellt.

Die Jugendentwicklung wurde genau 6 Wochen nach der Saat in Form der Pflanzhöhe an den Standorten Allershausen, Strüth und Düllstadt gemessen und es zeigte sich, dass eine frühe Saat nicht ausschlaggebend für die Bestandsentwicklung ist. Allershausen lieferte trotz deutlich späterer Saat die besten Ergebnisse in der Jugendentwicklung und obwohl Düllstadt fast einen ganzen Monat früher gesät wurde als Strüth, zeigten beide Orte die gleiche Jugendentwicklung.

Allerdings wiesen die Orte mit der besten Jugendentwicklung auch zu hohe Pflanzenlängen bei der Ernte auf und aber lieferten auch den höchsten Ertrag (Allershausen und Strassmoos). Bestände bis zu 340 cm hoch erreichten Kornerträge bis zu 91 dt/ha. Strüth und Strassmoos lagen mit ca. 70 dt/ha darunter, Düllstadt mit ca. 67 dt/ha am niedrigsten.

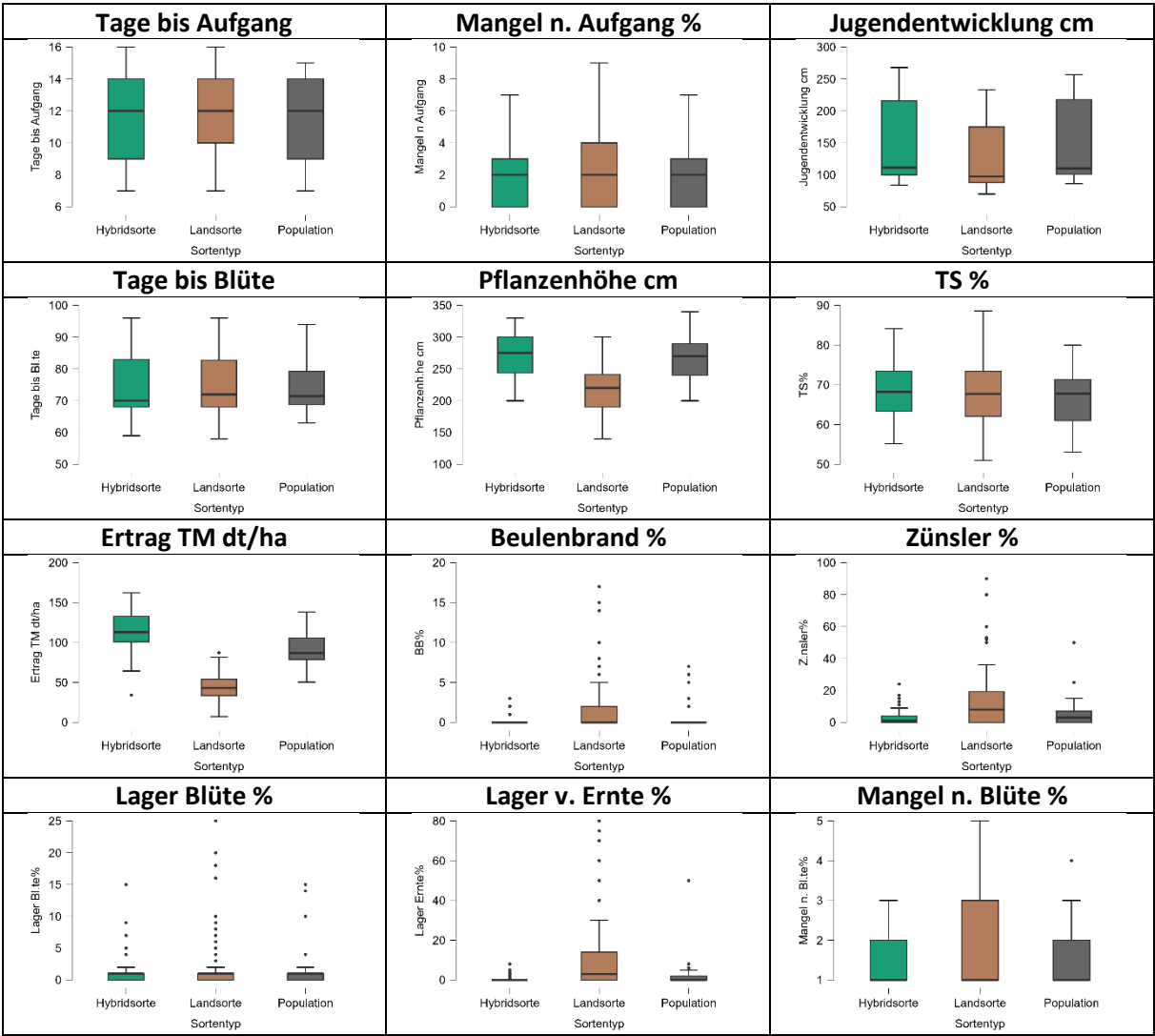
Die extrem hohen Ertragsschwankungen zwischen Minimum und Maximum von bis zu 150 dt/ha sind auch den sehr schwierigen Wetter- und Anbauverhältnissen im Jahr 2023, aber vor allem den extrem unterschiedlichen

Sorten geschuldet. Es wurde deutlich, dass Landsorten aufgrund des fehlenden Zuchtfortschritts insgesamt deutlich niedriger im Ertrag abschneiden

3.2.3.2 Einfluss des Sortentyps auf die erfassten Parameter

Für die Fragestellung zur Eignung als Speisemais sind die Unterschiede in Abhängigkeit des Sortentyps aber wesentlich wichtiger. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse nach Sortentyp ausgewertet.

Tabelle 15: Einfluss des Sortentyps (Land-, Hybridsorte, Population) auf agronomische Parameter



Es zeigte sich eine klare Reihung, vor allem bei den ertragsrelevanten Parametern Mängel, Jugendentwicklung, Pflanzenhöhe, Krankheiten und Schädlingsbefall, Lager und Ertrag, die immer gleich war: die untersuchten Hybridsorten lieferten die besten Ergebnisse, die Landsorten die schlechtesten und die Populationen lagen dazwischen. Zu erwähnen sind allerdings die großen Streuungen innerhalb der Sortentypen, die auch bei den Hybridsorten z. T. erstaunlich hoch waren. Der richtigen Sortenwahl, guter Sortenkenntnis und Sortenprüfung kommt demnach eine große Bedeutung zu.

Landsorten für die Nutzung als Speisemais zu verwenden, ist aus agronomischer Sicht nicht zu empfehlen. Sie können dann interessant sein, wenn sie andere Eigenschaften bieten, wie besondere Inhaltsstoffe oder bessere Vermarktungspotenziale durch besondere Alleinstellungsmerkmale (regionale Herkunft, Tradition, besondere Kornfarbe, Geschmack).

Populationen hingegen zeigten im Vergleich zu den Hybridsorten hinsichtlich agronomischer Merkmale wie Aufgang, Jugendentwicklung und Ertrag ähnliche Ergebnisse (Tabelle 15).

53

- 53

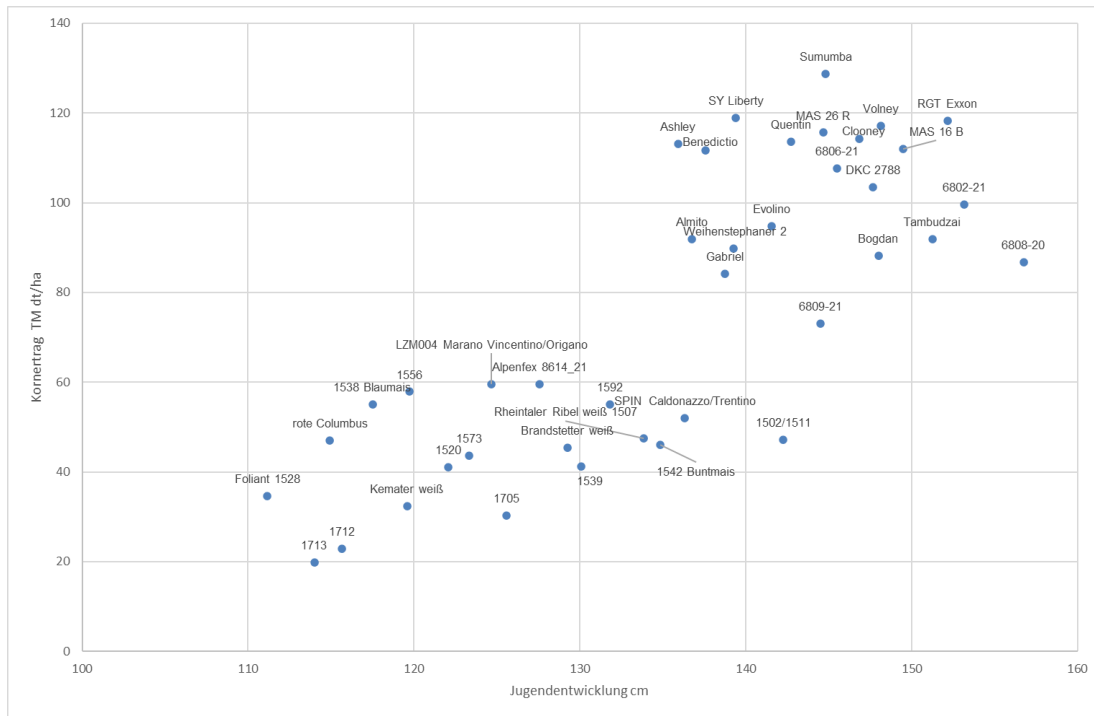


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Jugendentwicklung (cm) und Kornertrag (dt/ha)

3.2.3.3 Analysen zu Verarbeitungs- und Ernährungsqualität

Im zweiten Versuchsjahr wurden die Parameter zu Verarbeitungs- und Ernährungsqualität erneut untersucht und um zusätzliche ernährungsphysiologisch relevante Komponenten erweitert. Ziel war es, die im ersten Jahr beobachteten Unterschiede zwischen den Sorten und Sortentypen unter veränderten Umweltbedingungen zu überprüfen und durch zusätzliche Parameter (Vitamine E, Aminosäuren, Phytinsäure, Grießausbeute; vollständige Parameter s. Tabelle 8 in Material und Methoden) zu ergänzen. Die Versuche wurden an fünf Standorten durchgeführt, um neben den Sorteneffekten auch Umwelteinflüsse auf die Inhaltsstoffzusammensetzung und Verarbeitungsqualität zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, die bisher fehlenden Informationen zur Speisemaisseignung von Sorten zu erweitern und für Praxis, Züchtung und Verarbeitung nutzbar machen.

3.2.3.4 Verarbeitungsqualität

TKG und Keimfähigkeit unterschieden sich im zweiten Versuchsjahr nicht zwischen den Sortentypen. Interessanterweise sind beide Parameter am Standort Düllstadt signifikant höher ($p < 0,05$). Das höchste TKG hatten die Sorten *1539*, *Kemater weiß* und *1705* (392 g; 389 g; 362 g). Das niedrigste TKG hatten die Sorten *SPIN Caldonazzo*, *LZM004 Marano Vincentino* und *Foliant 1528* (238 g; 239 g; 248 g).

Der Bruchkornanteil als wichtiger Parameter für Verarbeitungsqualität unterscheidet sich auch im zweiten Jahr signifikant zwischen den Sortentypen. So ist der Bruchkornanteil bei den Landsorten größer gewesen als bei Hybridsorten und Populationen. Auch zwischen den Standorten gibt es signifikante Unterschiede, hier gab es die höchsten Werte am Standort Straßmoos gefolgt von Strüth und Allershausen. Sortenspezifisch hatten folgende Sorten den höchsten Bruchkornanteil: *1573*, *Rheintaler Ribel weiß 1507* und *Roter Columbus* (13,9 %; 11,6 %; 11,4 %) und folgende Sorten den niedrigsten Bruchkornanteil: *Sumumba*, *Clooney* und *Ashley* (3,7 %; 3,8 %; 4,2 %).

Um den Einfluss von Kornlänge bzw. -breite zu untersuchen, wurden im zweiten Versuchsjahr diese Parameter mit aufgenommen. Interessanterweise hatten die Landsorten signifikant kürzere aber auch breitere Körner ($p < 0,05$). Die zwei untersuchten Standorte unterschieden sich kaum voneinander. Die Sorten mit den längsten Körnern waren: *RGT Exxon*, *6806-21* und *DKC 2788* (11,1 mm; 11 mm; 11 mm) und die Sorten mit den kürzesten Körnern waren: *Foliant 1528*, *1705* und *1713* (7,6 mm; 8,7 mm; 9 mm; vgl. Tabelle 17 und 18).

3.2.3.5 Makronährstoffe

Auch hier zeigten sich im zweiten Versuchsjahr wieder deutliche Unterschiede zwischen den Sortentypen. Der Proteingehalt war signifikant am höchsten bei den Landsorten, gefolgt von den Populationen und dann den Hybridsorten ($p < 0,05$). Der Standort Bütthard hatte die höchsten Werte, während die anderen Standorte ähnliche Werte hatten. Zu den besten Sorten gehörten *SPIN Caldonazzo*, *Foliant 1528* und *Rheintaler Ribel weiß 1507* (14,4 %; 14,4 %; 14,3 %). Die niedrigsten Werte hatten die Sorten *Volney*, *RGT Exxon* und *MAS 26 R* (10,9 %; 11,2 %; 11,3 %; Abbildung 16).

Im Gegensatz dazu war der Stärkegehalt am höchsten bei den Hybridsorten und Populationen, bei Landsorten am niedrigsten ($p < 0,05$). Dabei hatte der Standort Strüth die höchsten Gehalte, während die anderen Standorte sehr ähnlich waren. Unter den Sorten mit den höchsten Stärkegehalten waren *RGT Exxon*, *DKC 2788* und *6806-21* (72,25 %; 71,8 %; 71,17 %). Zu den niedrigsten Werten gehörten die Sorten *1520*, *Foliant 1528* und *Rheintaler Ribel weiß 1507* (66,91 %; 67,1 %; 68,29 %; Abbildung 17). Außerdem war Stärkegehalt stark negativ mit Proteingehalt korreliert ($R = -0,72$; $p < 0,001$), was den deutlichen Gegensatz zwischen stärke- und proteinreichen Sorten bestätigt. Sorten mit hohen Stärkegehalten wiesen somit tendenziell geringere Proteingehalte auf, während proteinreicherer Sorten niedrigere Stärkegehalte zeigten.

Auch der Fettgehalt war bei Landsorten am höchsten ($p < 0,05$), aber bei den Hybridsorten und Populationen nicht signifikant unterschiedlich ($p > 0,05$). Ebenfalls hatte der Standort Strüth die geringsten Werte. Zu den Sorten mit den höchsten Werten gehörten *1520*, *Foliant 1528* und *Clooney* (5,28 %; 4,62 %; 4,39 %). Im Vergleich hatten die niedrigsten Werte die Sorten *DKC 2788*, *RGT Exxon* und *6806-21* (2,77 %; 2,88 %; 2,96 %).

3.2.3.6 Mikronährstoffe

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Versuchsjahr 1 sowie der Besprechung mit den Lebensmittelexperten lag der Schwerpunkt weiterhin auf ernährungsphysiologisch relevanten Mikro- und Makronährstoffen. Für Lutein

zeigte sich auch im zweiten Jahr ein signifikanter Sortentyp-Effekt ($p < 0,05$), wobei die Populationen die höchsten Gehalte aufwiesen (Abbildung 9). Die höchsten Werte wurden durch die Sorten *Foliant 1528*, *LZM004 Marano Vincentino* und *Gabriel* (1,3 mg/100 g; 1 mg/100 g; 0,9 mg/100 g) repräsentiert, während die schlechtesten Werte bei den Sorten *1573*, *Kemater weiß*, *Brandstetter weiß* (0,05 mg/100 g; 0,09 mg/100 g; 0,17 mg/100 g) gemessen wurden, welche alle auch durch eine weiße Kornfarbe auffielen. Im Gegensatz dazu waren die Unterschiede bei Zeaxanthin zwischen den Sortentypen insgesamt weniger ausgeprägt und nicht signifikant. Die besten Werte hatten hier die Sorten *SPIN Caldonazzo*, *LZM004 Marano Vincentino* und *Almito* (1,64 mg/100 g; 1,2 mg/100 g; 0,55 mg/100 g). Zu den schlechtesten Werten gehörten die Sorten *1573*, *Brandstetter weiß* und *Kemater weiß* (0,04 mg/100 g; 0,04 mg/100 g; 0,07 mg/100 g), identisch zu den schlechtesten Lutein Sorten (Abbildung 15). Für Lutein waren die Standorte Strüth und Bütthard signifikant schlechter als die anderen drei Standorte, bei Zeaxanthin konnte der Standort Straßmoos signifikant am besten performen ($p < 0,05$).

Für die übrigen Carotinoide (Canthaxanthin, β -Cryptoxanthin, α -Carotin, β -Carotin und Isomere, Lycopin) konnten weiterhin nur geringe Konzentrationen nahe der Nachweisgrenze festgestellt werden, ohne klare sortentypische Differenzierung. Nach Rücksprache mit den Lebensmittelexperten sind diese Konzentrationen nicht relevant für die Speisemaisseignung.

Vitamin E wurde im zweiten Versuchsjahr erstmals, differenziert in seine einzelnen Formen (Tocopherole und Tocotrienole), umfassend analysiert. Vitamin E wirkt als starkes lipophiles Antioxidans und schützt Zellmembranen vor oxidativen Stress. Hier zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Sortentypen. Populationen wiesen signifikant höhere Gehalte auf als Hybridsorten, gefolgt von Landsorten ($p < 0,05$). Besonders α -Tocopherol als wichtigste Vitamin E-Form war in Populationen und auch Hybridsorten signifikant erhöht ($p < 0,05$). Die Sorten mit den höchsten Werten waren *6808-20*, *6809-21* und *1712* (2,65 mg/100 g; 2,38 mg/100 g; 2,35 mg/100 g). Zu den schlechtesten Sorten gehörten *LZM004 Marano Vincentino*, *1502*, *MAS 16 B* (1,49 mg/100 g; 1,52 mg/100 g; 1,55 mg/100 g). Interessanterweise hatten für Vitamin E die Standorte Bütthard und Düllstadt die signifikant höchsten Werte ($p < 0,05$), während α -Tocopherol nur an Standort Bütthard die signifikant höchsten Werte hatte.

Magnesium als zentraler Kofaktor zahlreicher enzymatischer Prozesse, welches zusätzlich wichtig für Nerven- und Muskelfunktionen ist, zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Sortentypen ($p < 0,05$). Populationen wiesen tendenziell die höchsten Magnesiumgehalte auf, gefolgt von Landsorten und dann Hybridsorten. Die höchsten Magnesiumgehalte hatten die Sorten *1542 Buntmais*, *Roter Columbus* und *Foliant 1528* (0,15 %; 0,15 %; 0,15 %), während die niedrigsten Werte bei den Sorten *MAS 26 R*, *Quentin* und *MAS 16 B* (0,11 %; 0,11 %; 0,11 %) auftraten. Die Standorte unterschieden sich kaum.

Calcium, Kalium, Schwefel, Natrium, Phosphor und Eisen wurden zusätzlich analysiert, stehen aber nach Rücksprache mit den Lebensmittelexperten nicht im Vordergrund für die Speisemaisseignung, da sie unter anderem in größeren Mengen über andere Lebensmittel aufgenommen werden. Trotzdem konnten z. B. signifikant hohe Schwefelgehalte bei den Landsorten gefunden werden. Auch Eisen hatte die signifikant höchsten Werte bei Landsorten, ist aber schlecht verfügbar. Es gab kaum Unterschiede zwischen den Standorten.

Die Zusammensetzung der essentiellen Aminosäuren bestimmt die Proteinqualität, welche wichtig für Proteinaufbau und Stoffwechselprozesse ist. Je besser die essentiellen Aminosäuren verfügbar sind, desto höher ist die biologische Wertigkeit. Das bestimmt, wie gut ein Nahrungsprotein in ein körpereigenes Protein umgewandelt werden kann. Insgesamt fällt auf, dass die Landsorten signifikant in den meisten essentiellen Aminosäuren die höchsten Gehalte aufweisen, gefolgt von Populationen, während die Hybridsorten überwiegend die niedrigsten Werte zeigten ($p < 0,05$). Lysin ist dabei besonders hervorzuheben, da es im Mais die limitierende Aminosäure darstellt und somit maßgeblich die biologische Proteinqualität bestimmt. Hier zeigte sich ebenfalls eine klare Rangfolge mit Landsorte > Population > Hybridsorte. Alle weiteren analysierten Aminosäuren hatten die signifikant höchsten Werte bei den Landsorten und die signifikant schlechtesten Werte bei den Hybridsorten. Nur Leucin unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Hybridsorten und Populationen ($p > 0,05$). Bei der Betrachtung der einzelnen Sorten fällt auf, dass die Sorte *Foliant 1528* durchweg bei allen

Aminosäuren die höchsten Werte hatte, aber auch die Sorten 1520 und 1705 hatten meist höhere Werte. Zu den schlechtesten Sorten zählten durchweg MAS 26 R und sehr häufig RGT Exxon und Volney.

Anthocyane zählen zu den Flavonoiden und gelten als sekundärer Pflanzenstoff. Sie wirken antioxidativ, haben aber eine schlechte Bioverfügbarkeit und sind für eine dunkelrote bis lila Färbung verantwortlich. Nachgewiesen konnten die Anthocyane nur in den Sorten 1538 Blaumais, 1713, 1542 Buntmais und 6809-21, obwohl weitere tiefrote Sorten im Anbau waren. Keine Hybridsorte hatte Anthocyangehalte über der Nachweisgrenze.

Unter den geprüften Fettsäuren konnte nur die Essigsäure nachgewiesen werden. Essigsäure, als Bestandteil des organischen Säureprofils, wurde im zweiten Jahr zusätzlich erfasst. Sie spielt eine Rolle im Stoffwechsel und kann indirekt auf Fermentationsprozesse sowie Kornqualität hinweisen. Die Werte zeigten für Populationen die signifikant höchsten Gehalte ($p < 0,05$), während sich Landsorten und Hybridsorten nicht unterschieden ($p > 0,05$). Auch zwischen den drei geprüften Standorten konnten für Essigsäure keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$). Zu den Sorten mit den höchsten Werten gehören LZM004 Marano Vincentino, 1556 und 1520 (289, 28 mg/kg; 283,89 mg/kg; 264,36 mg/kg). Die niedrigsten Werte werden von 1502, 1713 und 1573 (107,67 mg/kg; 108,06 mg/kg; 132,49 mg/kg) repräsentiert (Tabelle 17 und Tabelle 18).

3.2.3.7 Weitere Inhaltsstoffe

Die Schwermetalle Arsen, Cadmium, Quecksilber, Blei, Chrom und Nickel werden hauptsächlich über den Boden aufgenommen und können so in die Pflanze und Kolben gelangen. Auf allen Standorten sind sie nicht in toxischer Konzentration vorhanden gewesen. Trotzdem hatten die Proben am Standort Düllstadt signifikant höhere Werte an Chrom und Nickel ($p < 0,05$). Ansonsten waren die Standorte sehr ähnlich.

Phytinsäure hemmt die Aufnahme von Mineralstoffen, kann aber auch antioxidativ wirken. In hohen Konzentrationen könnte sie also schaden. Jedoch wird beim Verarbeiten der Phytinsäuregehalt reduziert, daher sind die Mengen in Speisemais unbedenklich. Die Landsorten hatten signifikant die höchsten Werte, die Hybridsorten die niedrigsten Werte ($p < 0,05$). Die Sorten mit den höchsten Werten waren SPIN Caldonazzo, 1542 Buntmais und 1538 Blaumais (11875 mg/kg; 11780 mg/kg; 11535 mg/kg) und die Sorten mit den niedrigsten Werten waren Volney, MAS 26 R und RGT Exxon (8462 mg/kg; 8609 mg/kg; 8706 mg/kg). Es wurden nur Proben von zwei Standorten analysiert, die sich nicht signifikant voneinander unterschieden.

Die Rohasche repräsentiert die Summe der anorganischen Mineralstoffe und Spurenelemente. Daher zeigten sich ähnliche Tendenzen wie in den vorherigen Ergebnissen. Die Landsorten hatten die signifikant höchsten Werte, gefolgt von den Populationen und Hybridsorten ($p < 0,05$). Zwischen den Standorten gab es keine Auffälligkeiten. Zu den Sorten mit den höchsten Werten gehörten Roter Columbus, Alpenfex 8614_21 und Brandstetter weiß (1,6 %; 1,6 %; 1,58 %). Bei den niedrigsten Werten waren die Sorten Gabriel, Tambudzai und 6802-21 (1,18 %; 1,22 %; 1,23 %) dabei (Tabelle 17 und Tabelle 18).

3.2.3.8 Mykotoxine

Für die durch Fusarienpilze hervorgerufenen Mykotoxine Deoxynivalenol (DON), Fumonisin und Zearalenon gibt es sowohl für die Tierernährung und aber vorallem für die Humanernährung strenge Grenzwerte, die einzuhalten sind, da sie z. T. bereits in kleinen Mengen zu chronischen Erkrankungen führen und z. B. das Immunsystem schwächen. Die Höchstwerte sind in der EU-Verordnung 2023/915 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln geregelt (Europäische Kommission 23.05.2023). Außerdem kann DON erbgutverändernd und krebserregend wirken. Seit 2024 gelten neue Höchstwerte (Europäische Kommission 2024). In Tabelle 16 sind die aktuellen Höchstwerte zusammengefasst.

Tabelle 16: Auszug aktuelle Mykotoxin- und andere Kontaminanten Höchstwerte gemäß EU VO 2023/915 und EU VO 2024/1022 für Mais

		Höchstgehalt (µg/kg)
Deoxynivalenol	Unverarbeitete Maiskörner	1 500
DON	Getreide, das für den Endverbraucher in Verkehr gebracht wird, Popcorn-Mais und Popcorn	750
	Mahlerzeugnisse aus Mais, die für den Endverbraucher in Verkehr gebracht werden	750

		Höchstgehalt (µg/kg)
	Mahlerzeugnisse aus Mais, die nicht für den Endverbraucher in Verkehr gebracht werden	1 000
	Vorgekochte Polenta, verzehrfertig	250
	Backwaren, Getreide-Snacks und Frühstückscerealien	400
	Teigwaren	600
	Beikost und Getreidebeikost für Säuglinge und Kleinkinder	150
Zearalenon	Unverarbeitete Maiskörner	350
	Mais, der für den Endverbraucher in Verkehr gebracht wird Snacks und Frühstückscerealien auf Maisbasis	100
	Maismehl, das nicht für den Endverbraucher in Verkehr gebracht wird	300
	Sonstige Mahlerzeugnisse aus Mais, die nicht für den Endverbraucher in Verkehr gebracht werden	200
	Raffiniertes Maisöl	400
	Beikost und Getreidebeikost für Säuglinge und Kleinkinder	20
Aflatoxine	Mais, der vor seinem Inverkehrbringen für den Endverbraucher oder seiner Verwendung als Zutat in Lebensmitteln einer Sortierung oder einer anderen physikalischen Behandlung unterzogen werden soll	5-10)
Ochratoxin A	Unverarbeitete Getreidekörner	5
	Aus unverarbeiteten Getreidekörnern gewonnene Erzeugnisse sowie Getreide, das für den Endverbraucher in Verkehr gebracht wird	3
Fumonisine	Unverarbeitete Maiskörner	4000
	Mais, Mahlerzeugnisse, Lebensmittel auf Maisbasis, die für den Endverbraucher in Verkehr gebracht werden	1000
	Frühstückscerealien und Snacks auf Maisbasis	800
	Maismehl, das nicht für den Endverbraucher in Verkehr gebracht wird	2000
	Sonstige Mahlerzeugnisse aus Mais, die nicht für den Endverbraucher in Verkehr gebracht werden	1400
	Beikost, die Mais enthält, und Getreidebeikost aus Mais für Säuglinge und Kleinkinder	200
Tropanalkaloide	Beikost und Getreidebeikost für Säuglinge und Kleinkinder, die Mais oder daraus gewonnene Erzeugnisse enthält	Atropin 1 Scopolamin 1
	Unverarbeitete Maiskörner	15
	Popcorn-Mais, und Mais, die für den Endverbraucher in Verkehr gebracht werden, Mahlerzeugnisse aus Mais	5

Obwohl hohe Mykotoxingehalte auch Jahres bzw. Wetter abhängig sind, gibt es sortenspezifisch unterschiedlich hohe Belastungen. Daher sind in der Züchtung und auch bei der Sortenprüfung hohe Werte ein K.O.-Kriterium für das Weiterkommen einer Sorte. Insofern sind für die Fragestellung der Speisemaistauglichkeit diese Werte von sehr hoher Relevanz.

Bei den Fumonisin- und Zearalenon-Werten lagen alle Sorten zum Teil weit unter den Höchstwerten, mit Ausnahme von zwei Landsorten (1539 und 1713). Bei den DON-Werten gab es bei einigen Sorten Überschreitungen des Höchstwertes, häufig bei den Landsorten, aber auch bei Populationen und besonders auffällig war der hohe Wert bei der Hybridsorte *MAS 16B* (Abbildung 13).

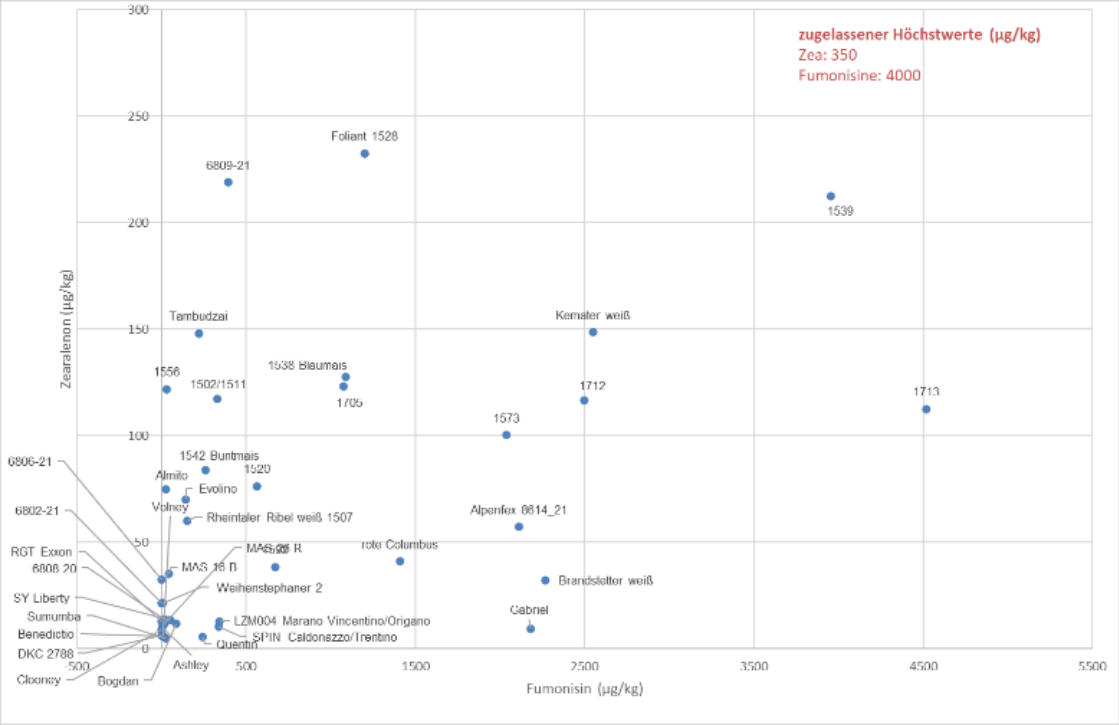


Abbildung 12: Ergebnisse Sorteneinstufung (2023) Fumonisin in Abhängigkeit von Zearalenon (µg/kg)

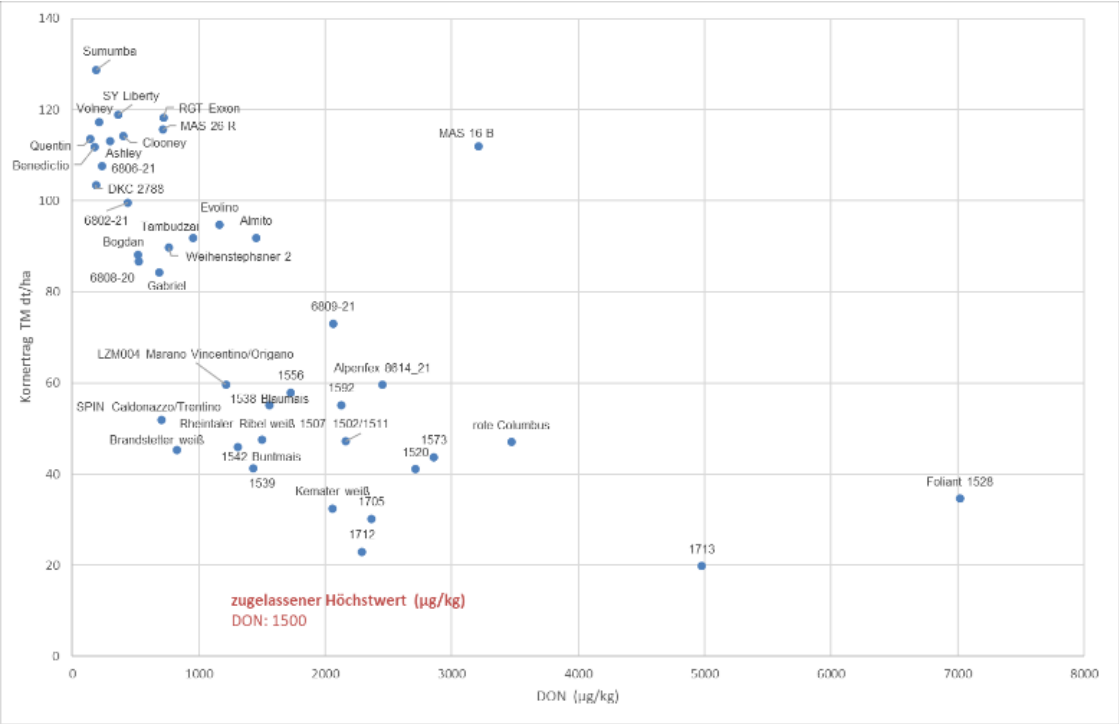


Abbildung 13: Ergebnisse Sorteneinstufung (2023) DON in Abhängigkeit vom Korntrag

Tabelle 17: Erfasste Parameter in Versuchsjahr 2, für jeden Parameter wurde der Mittelwert je Sortentyp berechnet. Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)

Gruppe	Parameter	Hybridsorten	Landsorten	Population
Verarbeitungsqualität	TKG (g)	318 ^a	319 ^a	321 ^a
	Keimfähigkeit (%)	77,24 ^a	75,38 ^a	77,37 ^a
	Bruchkornanteil (%)	4,9 ^b	7,81 ^a	6 ^b
	Schwarzbesatz (%)	0,43 ^b	2,24 ^a	1,33 ^{ab}
	Kornbonitur (1-9)	6,4 ^a	6,14 ^b	6,2 ^{ab}
	Glasigkeit (1-9)	6,07 ^a	5,55 ^b	6,14 ^a
	Fusariumbesatz (1-9)	1,49 ^a	1,76 ^a	1,65 ^a
	Rissbildung (1-9)	2,13 ^a	2,08 ^a	1,84 ^b
	Kornotyp (Ha 1-Za 8)	3,73 ^b	1 ^c	4,16 ^a
	Fläche (mm ²)	88,62 ^a	88,64 ^a	89,63 ^a
	Kornlänge (mm)	10,63 ^a	9,21 ^b	10,33 ^a
	Kornbreite (mm)	8,34 ^b	9,62 ^a	8,67 ^b
Makro-nährstoffe	Rohprotein (%)	7,67 ^c	9,88 ^a	8,37 ^b
	Stärkegehalt (%)	70,78 ^a	68,78 ^b	70,38 ^a
	Fettgehalt (%)	3,55 ^b	4,0 ^a	3,35 ^b
Mikronährstoffe	Anthocyane (mg/kg)	25,0 ^b	27,34 ^a	25,0 ^b
	Lutein (mg/100g)	0,57 ^b	0,56 ^b	0,8 ^a
	Zeaxanthin (mg/100g)	0,41 ^a	0,37 ^a	0,46 ^a
	Canthaxanthin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	β-Cryptoxanthin (mg/100g)	0,03 ^{ab}	0,04 ^a	0,03 ^b
	α-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	β-Carotin (mg/100g)	0,04 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a
	9Z-β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	13Z-β-Carotin (mg/100g)	0,05 ^b	0,04 ^c	0,05 ^a
	15Z-β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	Lycopin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	α-Tocopherol (mg/100g)	0,6 ^b	0,46 ^c	0,78 ^a
	β-Tocopherol (mg/100g)	0,03 ^b	0,02 ^c	0,05 ^a
	γ-Tocopherol (mg/100g)	4,67 ^a	4,85 ^a	4,92 ^a
	δ-Tocopherol (mg/100g)	0,18 ^a	0,16 ^b	0,18 ^a
	α-Tocotrienol (mg/100g)	0,59 ^a	0,49 ^b	0,63 ^a
	Vitamin E (mg/100g)	1,96 ^b	1,84 ^c	2,23 ^a
	Calcium (%)	0,010 ^b	0,011 ^a	0,011 ^{ab}
	Kalium (%)	0,39 ^b	0,41 ^a	0,39 ^b
	Schwefel (%)	0,11 ^c	0,14 ^a	0,12 ^b
	Natrium (%)	0,005 ^a	0,005 ^a	0,005 ^a
	Magnesium (%)	0,12 ^c	0,14 ^a	0,12 ^b
	Phosphor (%)	0,3 ^c	0,36 ^a	0,32 ^b
	Eisen (mg/kg)	21,95 ^b	27,74 ^a	23,28 ^b
	Kupfer (mg/kg)	1,44 ^c	1,9 ^a	1,63 ^b
	Zink (mg/kg)	18,33 ^c	24,85 ^a	20,51 ^b
	Lysin (%)	0,25 ^c	0,28 ^a	0,26 ^b

	Parameter	Hybridsorten	Landsorten	Population
	Methionin (%)	0,16 ^c	0,2 ^a	0,17 ^b
	Methionin+Cystin (%)	0,34 ^c	0,42 ^a	0,36 ^b
	Threonin (%)	0,27 ^c	0,35 ^a	0,3 ^b
	Tryptophan (%)	0,06 ^c	0,07 ^a	0,07 ^b
	Isoleucin (%)	0,26 ^c	0,34 ^a	0,29 ^b
	Leucin (%)	0,95 ^b	1,23 ^a	1 ^b
	Valin (%)	0,36 ^c	0,47 ^a	0,4 ^b
	Arginin (%)	0,37 ^c	0,45 ^a	0,39 ^b
	Histidin (%)	0,23 ^c	0,29 ^a	0,24 ^b
	Phenylalanin (%)	0,36 ^c	0,5 ^a	0,41 ^b
	Essigsäure (mg/kg)	171 ^b	199 ^a	167 ^b
	Arsen (mg/kg)	0,003 ^{ab}	0,006 ^a	0,003 ^b
Weitere Inhaltsstoffe	Cadmium (mg/kg)	0,002 ^c	0,004 ^a	0,002 ^b
	Quecksilber (mg/kg)	0,001 ^b	0,001 ^{ab}	0,001 ^a
	Blei (mg/kg)	0,004 ^a	0,007 ^a	0,004 ^a
	Chrom (mg/kg)	0,060 ^b	0,093 ^a	0,084 ^{ab}
	Nickel (mg/kg)	0,176 ^a	0,189 ^a	0,209 ^a
	Phytinsäure (mg/kg)	9132 ^c	11021 ^a	9974 ^b
	Rohasche (%)	1,38 ^b	1,48 ^a	1,3 ^b
	DON (µg/kg)	720 ^b	2620 ^a	1089 ^b
	Zearalenon (µg/kg)	19 ^b	126 ^a	94 ^{ab}
	Fumonisin (µg/kg)	168 ^b	2122 ^a	1134 ^{ab}

Tabelle 18: Erfasste Parameter in Versuchsjahr 2, für jeden Parameter wurde der Mittelwert je Standort berechnet. Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$)

Gruppe	Parameter	Strüth	Bütthard	Düllstadt	Straßmoos	Allershausen
Verarbeitungsqualität	TKG (g)	314 ^{bc}	305 ^c	339 ^a	315 ^{bc}	322 ^b
	Keimfähigkeit (%)	93,0 ^b	93,7 ^b	98,0 ^a	3,8 ^c	93,3 ^b
	Bruchkornanteil (%)	6,7 ^b	4,0 ^c	3,0 ^c	11,3 ^a	7,6 ^b
	Schwarzbesatz (%)	0,04 ^c	2,18 ^b	0,01 ^c	5,41 ^a	0,03 ^c
	Kornbonitur (1-9)	6,0 ^{bc}	6,3 ^{ab}	6,6 ^a	5,8 ^c	6,3 ^a
	Glasigkeit (1-9)	5,7 ^b	6,3 ^a	5,6 ^b	5,5 ^b	6,2 ^a
	Fusariumbesatz (1-9)	1,4 ^{bc}	1,4 ^{bc}	1,0 ^c	2,5 ^a	1,8 ^b
	Rissbildung (1-9)	2,2 ^{ab}	1,6 ^c	1,9 ^b	2,3 ^a	2,1 ^{ab}
	Korntyp (Ha 1-Za 8)	2,5 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a
	Fläche (mm ²)	87 ^a				91 ^a
	Kornlänge (mm)	9,7 ^b				10,1 ^a
	Kornbreite (mm)	9,0 ^a				9,1 ^a
Mikronährstoffe	Anthocyane (mg/kg)	26 ^a	26 ^a	25 ^a	27 ^a	27 ^a
	Lutein (mg/100g)	0,44 ^c	0,48 ^c	0,65 ^b	0,72 ^{ab}	0,82 ^a
	Zeaxanthin (mg/100g)	0,31 ^b	0,30 ^b	0,37 ^b	0,62 ^a	0,41 ^b
	Canthaxanthin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	β-Cryptoxanthin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a
	α-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	β-Carotin (mg/100g)	0,04 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a

Gruppe	Parameter	Strüth	Büttthard	Düllstadt	Straßmoos	Allershausen
	9Z-β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	13Z-β-Carotin (mg/100g)	0,06 ^a	0,04 ^b	0,04 ^b	0,04 ^b	0,04 ^b
	15Z-β-Carotin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	Lycopin (mg/100g)	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a	0,03 ^a
	α-Tocopherol (mg/100g)	0,47 ^c	0,69 ^a	0,66 ^{ab}	0,49 ^c	0,59 ^b
	β-Tocopherol (mg/100g)	0,02 ^b	0,04 ^a	0,03 ^{ab}	0,02 ^b	0,03 ^b
	γ-Tocopherol (mg/100g)	4,3 ^c	4,9 ^b	5,4 ^a	4,7 ^b	4,6 ^{bc}
	δ-Tocopherol (mg/100g)	0,16 ^{bc}	0,17 ^b	0,21 ^a	0,15 ^c	0,15 ^{bc}
	α-Tocotrienol (mg/100g)	0,50 ^c	0,61 ^a	0,58 ^a	0,56 ^{ab}	0,52 ^{bc}
	Vitamin E (mg/100g)	1,7 ^c	2,1 ^a	2,2 ^a	1,8 ^{bc}	1,9 ^b
	Calcium (%)	0,010 ^a	0,011 ^a	0,010 ^a	0,011 ^a	0,010 ^a
	Kalium (%)	0,41 ^a	0,37 ^c	0,39 ^b	0,42 ^a	0,40 ^b
	Schwefel (%)	0,12 ^c	0,13 ^{ab}	0,14 ^a	0,13 ^{bc}	0,13 ^{ab}
	Natrium (%)	0,004 ^b	0,004 ^b	0,004 ^b	0,006 ^a	0,006 ^a
	Magnesium (%)	0,12 ^b	0,13 ^{ab}	0,13 ^{ab}	0,13 ^a	0,13 ^a
	Phosphor (%)	0,34 ^{ab}	0,31 ^d	0,34 ^{bc}	0,32 ^{cd}	0,35 ^a
	Eisen (mg/kg)	23 ^c	27 ^a	27 ^{ab}	25 ^{bc}	23 ^c
	Kupfer (mg/kg)	1,7 ^a	1,8 ^a	1,7 ^a	1,7 ^a	1,7 ^a
	Zink (mg/kg)	23 ^{ab}	24 ^a	22 ^b	22 ^b	20 ^c
	Lysin (%)	0,26 ^b	0,27 ^a	0,27 ^a	0,26 ^b	0,27 ^a
	Methionin (%)	0,17 ^b	0,19 ^a	0,19 ^a	0,18 ^b	0,19 ^a
	Methionin+Cystin (%)	0,35 ^c	0,40 ^a	0,39 ^a	0,37 ^b	0,40 ^a
	Threonin (%)	0,28 ^b	0,33 ^a	0,32 ^a	0,32 ^a	0,32 ^a
	Tryptophan (%)	0,06 ^b	0,07 ^a	0,07 ^a	0,07 ^a	0,07 ^a
	Isoleucin (%)	0,27 ^b	0,32 ^a	0,31 ^a	0,31 ^a	0,32 ^a
	Leucin (%)	0,91 ^b	1,15 ^a	1,11 ^a	1,13 ^a	1,16 ^a
	Valin (%)	0,38 ^b	0,44 ^a	0,43 ^a	0,43 ^a	0,43 ^a
	Arginin (%)	0,38 ^b	0,43 ^a	0,42 ^a	0,40 ^b	0,43 ^a
	Histidin (%)	0,23 ^b	0,27 ^a	0,26 ^a	0,26 ^a	0,27 ^a
	Phenylalanin (%)	0,37 ^b	0,46 ^a	0,44 ^a	0,45 ^a	0,46 ^a
	Essigsäure (mg/kg)		183 ^a		183 ^a	183 ^a
Makro-nährstoffe	Rohprotein (%)	7,9 ^b	9,3 ^a	9,0 ^a	9,1 ^a	9,2 ^a
	Stärkegehalt (NIRS, %)	71 ^a	69 ^c	69 ^{bc}	70 ^{bc}	70 ^b
	Fettgehalt (NIRS, %)	2,9 ^c	3,7 ^b	4,1 ^a	4,0 ^{ab}	3,8 ^{ab}
Weitere Inhaltsstoffe	Arsen (mg/kg)	0,008 ^a	0,004 ^{ab}	0,004 ^{ab}	0,004 ^b	0,002 ^b
	Cadmium (mg/kg)	0,005 ^a	0,002 ^d	0,003 ^c	0,004 ^b	0,002 ^d
	Quecksilber (mg/kg)	0,001 ^b	0,001 ^b	0,001 ^a	0,001 ^b	0,001 ^{ab}
	Blei (mg/kg)	0,007 ^a	0,005 ^{ab}	0,006 ^{ab}	0,009 ^a	0,001 ^b
	Chrom (mg/kg)	0,091 ^b	0,085 ^b	0,168 ^a	0,047 ^c	0,017 ^c
	Nickel (mg/kg)	0,191 ^c	0,230 ^b	0,318 ^a	0,126 ^d	0,085 ^e
	Phytinsäure (mg/kg)			10071 ^a		10408 ^a
	Rohasche (%)	1,5 ^a	1,4 ^b	1,4 ^{ab}	1,4 ^b	1,4 ^b
	DON (µg/kg)	1069 ^b	880 ^b	93 ^b	2828 ^a	2542 ^a
	Zearalenon (µg/kg)	14 ^c	47 ^{bc}	10 ^c	108 ^{ab}	169 ^a
	Fumonisin (µg/kg)	2099 ^a	1935 ^a	1263 ^a	2354 ^a	1314 ^a

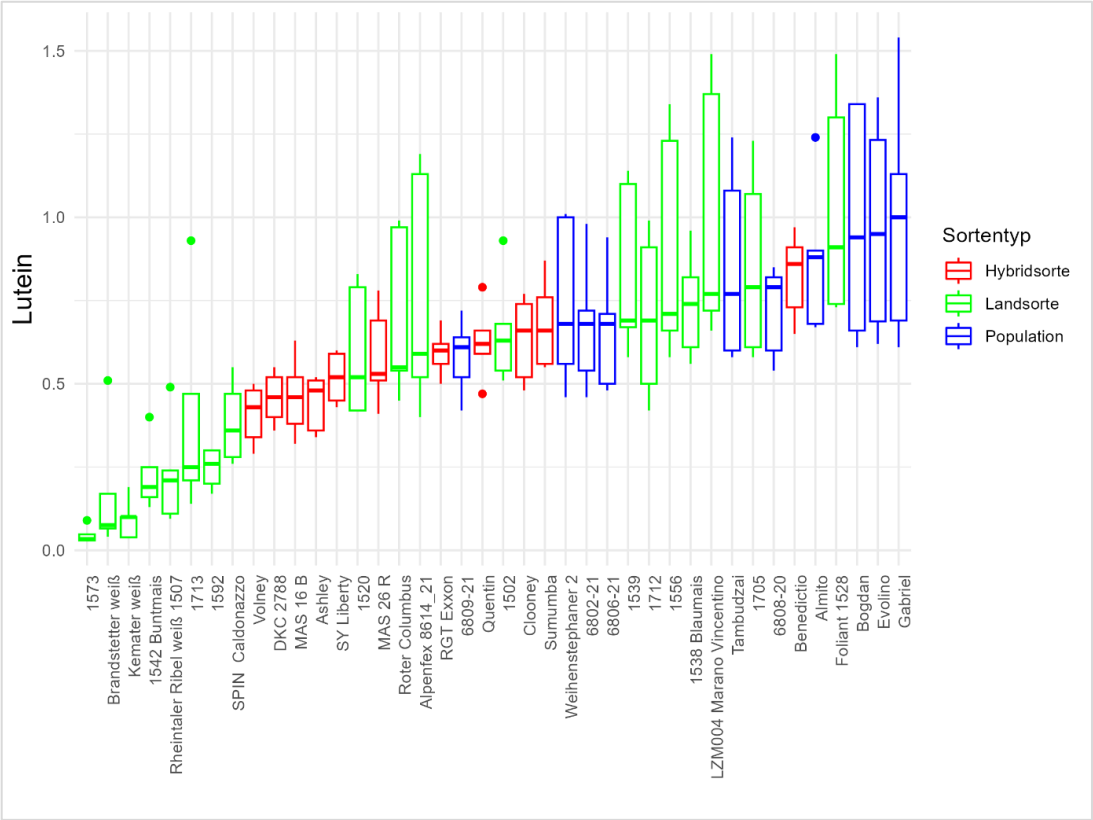


Abbildung 14: Luteingehalt (mg/100g) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau

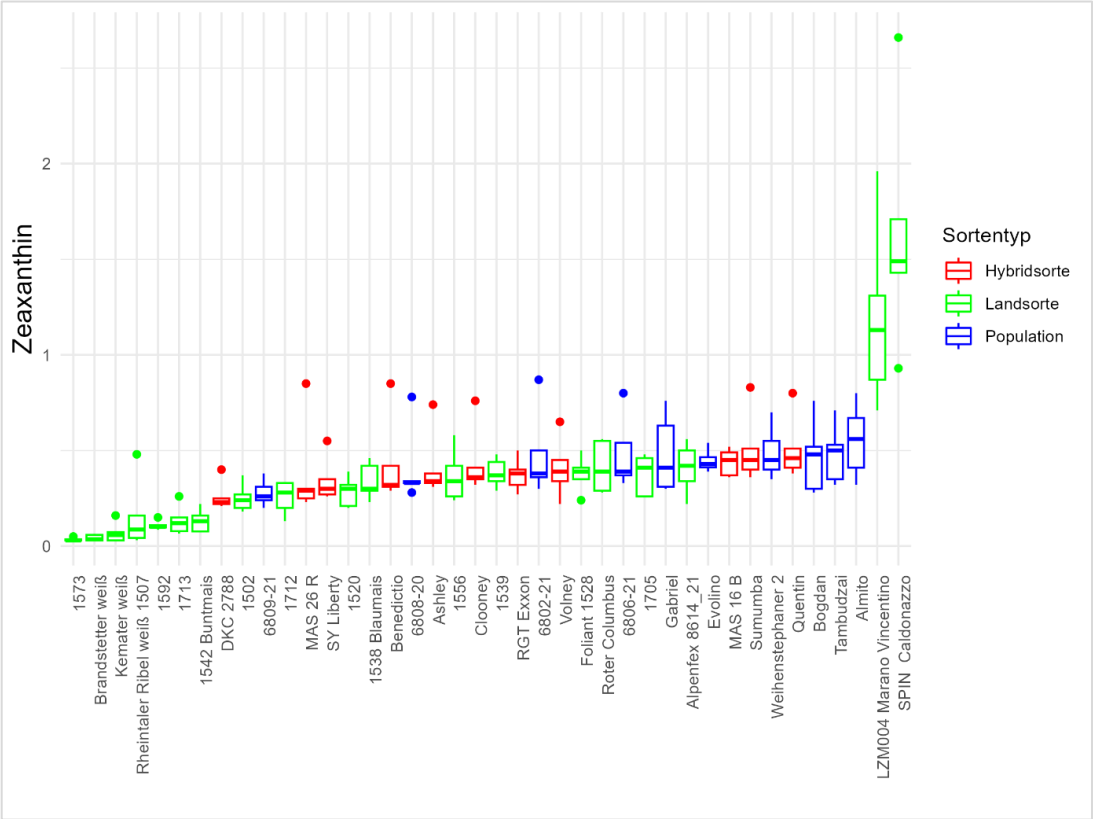


Abbildung 15: Zeaxanthingehalt (mg/100g) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau.

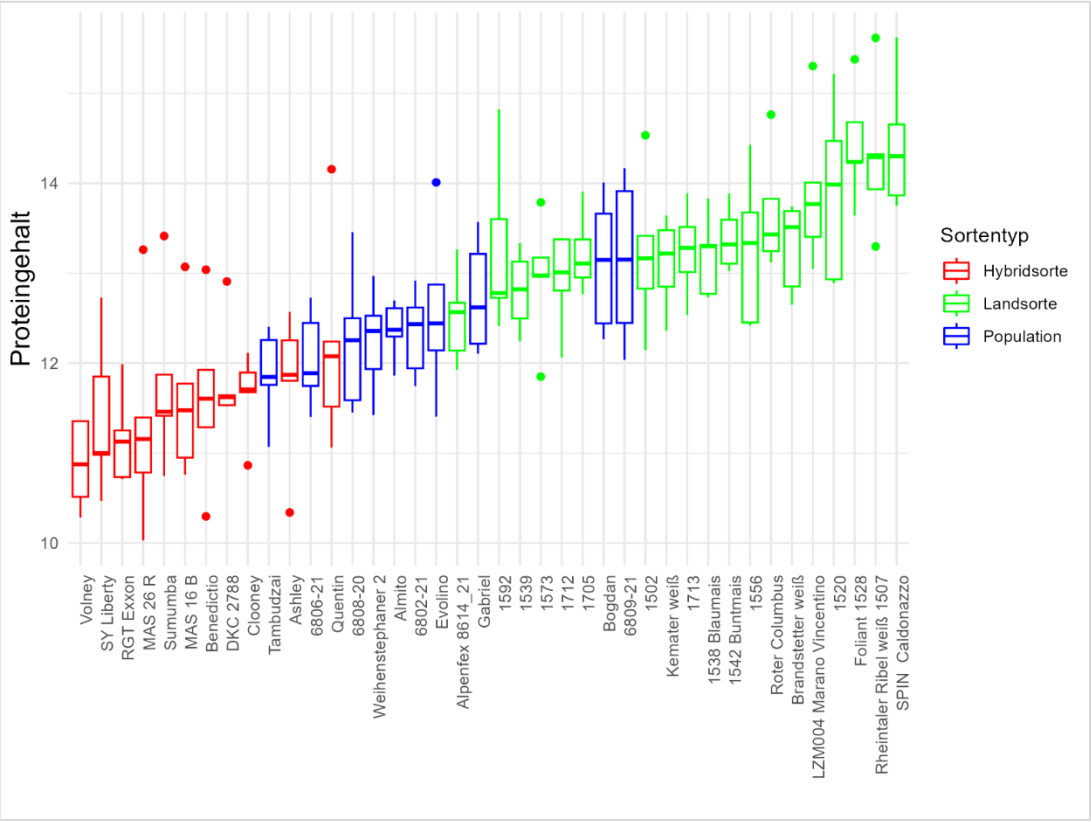


Abbildung 16: Proteingehalt (% , NIRS) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau

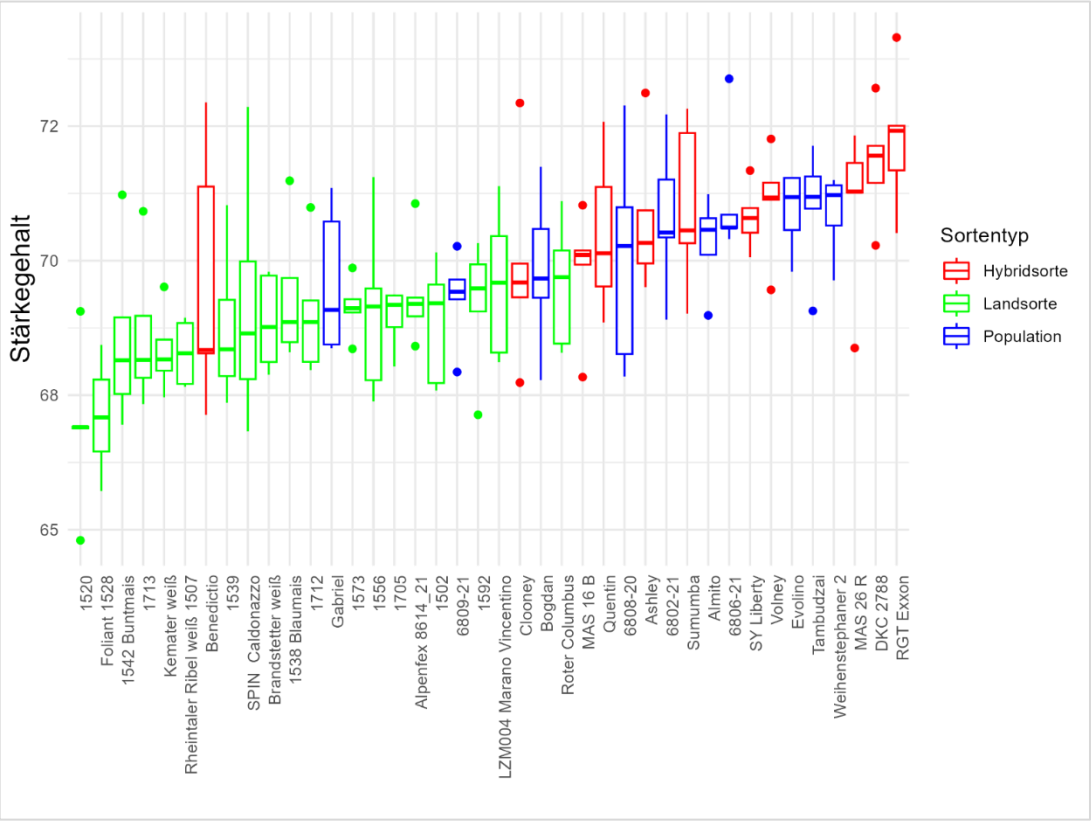


Abbildung 17: Stärkegehalt (% , NIRS) über alle fünf Standorte, Hybridsorten in rot, Landsorten in grün und Populationen in blau

3.2.4 Ergebnisse – Grießausbeute

Wie in AP1 diskutiert, ist die Grießausbeute ein zentraler Parameter für die Verarbeitungsqualität. Je höher der Grießanteil, und je höher der Anteil an Korngrößen über 4 mm, desto größer ist der wirtschaftlich nutzbare Anteil für Produkte in der Trockenmüllerei wie z. B. Polentagrieß, Extruderprodukte, Cornflakes. Die hier beschriebenen Ergebnisse beinhalten Grießausbeuten aus den Versuchsjahren 2022-2025.

Aufgrund einer fehlenden standardisierten Messvorschrift wie die Grießausbeute bei Mais zu bestimmen ist, wurden verschiedene Methoden getestet. Beim Flotationstest nach Weber et al. (2014) schwimmen die Maiskörner in einer NaNO_3 -Lösung. Sinken sie nach unten ab, haben sie einen hohen Grießanteil. Die Ergebnisse zeigten keine schlüssige Differenzierung und die Methode erwies sich als sehr aufwendig und teuer. Die Mahlversuche mit einer für Mais tauglichen Haushaltsmühle führten aufgrund der hohen Kornhärte der Maiskörner zum Erhitzen des Mahlsteins, außerdem konnte die Mahleinstellung nicht so gesetzt werden, dass es zu differenzierenden Ergebnissen kam. Beide Methoden und Ergebnisse wurden in einem WiTa-Beitrag 2024 veröffentlicht (Sadeghi et al. 2024, s. Abschnitt 3.3.7). Erst die Analyse mit dem Grainman von Bühler GmbH, der das Korn entkeimt und bricht, wie sie in der Lerchenmühle Wieser GmbH durchgeführt wird, ermöglichte belastbare Aussagen.

Insgesamt wurden 450 Proben an der Lerchenmühle Wieser GmbH untersucht (Proben aus den Versuchsjahren des Projektes 2022 und 2023; bayerische Landessortenversuche 2023 - 2025; Anbauversuche zur NIRS/NIT Erstellung 2024 und 2025). Dabei erreichten 75 Proben eine Grießausbeute von 68-70 % und 77 Sorten lagen über 70 %. Damit wurde ein Anteil von 33,7 % der Sorten mit guter bis sehr gute Ausbeute identifiziert.

Interessanterweise wurden signifikante Unterschiede zwischen den Sortentypen deutlich ($p < 0,05$; Abbildung 18). Dabei hatten die Landsorten die höchste Grießausbeute und die Hybridsorten die geringste, während die Populationen dazwischen lagen. Jedoch war der Anteil an geprüften Hybridsorten wesentlich größer als der Anteil an Landsorten bzw. Populationen. In den kleinen Siebstärken $> 2,5$ mm und > 1 mm zeigten die Hybridsorten hingegen signifikant den größten Anteil. Dies deutet darauf hin, dass ein höherer Anteil an grobkörnigen Grieß ($> 3,15$ mm; > 4 mm) mit einer höheren Grießausbeute korreliert (Tabelle 19).

Bei der Analyse der Korntypen fiel auf, dass die Hartmaistypen (Ha) signifikant die höchste Grießausbeute zeigten, die Zahnmaistypen (Za und (Za)) die niedrigste ($p < 0,05$). Die verschiedenen Zwischentypen zeigten sowohl hohe als auch niedrige Grießausbeuten, unterschieden sich aber nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; Abbildung 19). Unter den Hartmaistypen (Ha) waren jedoch ausschließlich Landsorten vertreten, während unter den Zahnmaistypen (Za) fast ausschließlich Hybridsorten vertreten waren.

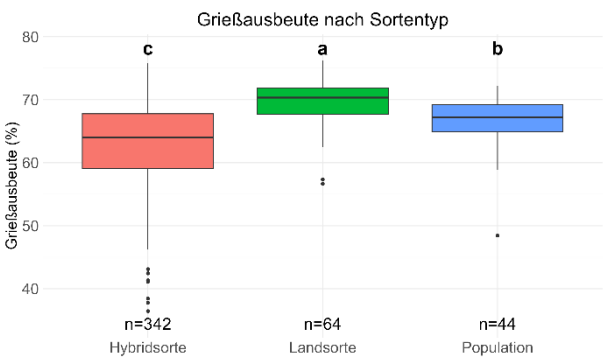


Abbildung 18: Ermittelte Grießausbeute (%) der Sortentypen Hybridsorte, Landsorte und Population. Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (LSD-Test, $p < 0,05$)

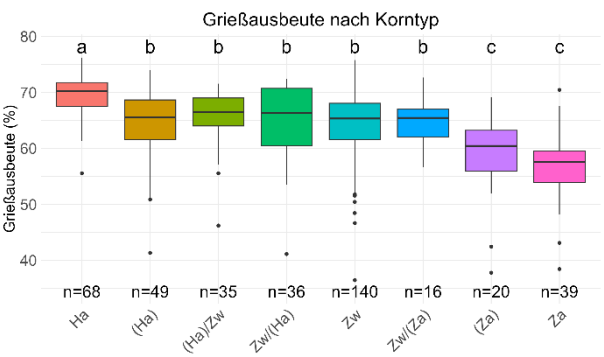


Abbildung 19: Ermittelte Grießausbeute (%) der Korntypen Ha = Hartmais, (Ha) = hartmaisähnlich, Zw = Zwischentyp, (Za) = zahnmaisähnlich, Za = Zahnmais. Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (LSD-Test, $p < 0,05$)

Tabelle 19: Mittelwert der Grießausbeute in % (Grießausbeute gesamt, > 4 mm, > 3,15 mm, > 2,5 mm, > 1 mm) der einzelnen Sortentypen an den Standorten aus Versuchsjahr 2 (2023). Unterschiede zwischen den Sortentypen wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, signifikante Unterschiede wurden anschließend per LSD-post-hoc-Test bestimmt. Gleiche Buchstaben haben keine signifikanten Unterschiede (p > 0,05)

Parameter	Hybrid- sorte	Land- sorte	Population	Allershausen	Düllstadt	Strüth	Strassmoos
Grießausbeute gesamt (%)	65 ^c	70 ^a	67 ^b	70 ^a	69 ^a	66 ^b	64 ^b
Grießausbeute > 4 mm (%)	32 ^b	43 ^a	41 ^a	39 ^b	42 ^a	38 ^b	18 ^c
Grießausbeute > 3,15 mm (%)	35 ^a	35 ^{ab}	34 ^b	37 ^a	33 ^b	33 ^b	38 ^a
Grießausbeute > 2,5 mm (%)	20 ^a	14 ^c	16 ^b	15 ^c	15 ^c	17 ^b	26 ^a
Grießausbeute > 1 mm (%)	13 ^a	7,8 ^c	9 ^b	8 ^c	9 ^c	11 ^b	17 ^a

Auch das Jahr und die Umweltbedingungen (Standort x Jahr) hatten einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der Grießausbeute. Im Vergleich der Versuchsjahre wurden im Jahr 2023 signifikant die höchsten Grießausbeuten erzielt, während im Jahr 2022 die niedrigsten Werte auftraten. Dies zeigte einen starken Einfluss von jahres- und standortbedingten Umweltfaktoren auf die Grießausbeute (Tabelle 19). Um zu überprüfen, inwieweit die Grießausbeute tatsächlich durch den Sortentyp beeinflusst wird oder ob Umwelt- bzw. Korntyp-Effekte überwiegen, wurden Effektstärken für Umwelt, Korntyp und Sortentyp berechnet. Dabei zeigte sich, dass die Umwelt den größten Effekt auf die Höhe der Grießausbeute hatte (0,47), gefolgt von Korntyp (0,28). Der Einfluss des Sortentyps war dagegen deutlich geringer, aber dennoch statistisch signifikant (0,33).

Die Korrelationsanalysen zeigten mehrere signifikante Zusammenhänge zwischen Grießausbeute und qualitätsrelevanten Parametern. Die Grießausbeute war negativ mit dem Kornertag korreliert (R = -0,32; p < 0,001), was darauf hindeutet, dass ertragsstarke Sorten tendenziell geringere Grießausbeuten erzielten. Zudem bestand eine positive Korrelation mit den groben Siebfraktionen > 4 mm (R = 0,59; p < 0,001) und > 3,15 mm (R = 0,35; p < 0,001), während die feineren Fraktionen > 2 mm (R = -0,7; p < 0,001) und > 1 mm (R = -0,85; p < 0,001) negativ mit der Grießausbeute korrelierten. Hohe Grießausbeuten gingen somit mit einem höheren Anteil grober Mahlfractionen einher. Darüber hinaus zeigte die Grießausbeute positive Zusammenhänge mit dem Proteingehalt (R = 0,55; p < 0,001), den Aminosäuregehalten (R = 0,7; p < 0,001), sowie dem Phytinsäuregehalt (R = 0,65; p < 0,001). Negative Korrelationen bestanden hingegen mit dem Stärkegehalt (R = -0,6; p < 0,001), dem Korntyp in Richtung Zahmais (R = -0,41 p < 0,001) sowie mit der Kornlänge (R = -0,32; p < 0,01). Insgesamt waren hohe Grießausbeuten somit insbesondere mit proteinreicheren, kürzeren und eher hartmaisartigen Körnern verbunden.

3.2.5 Ergebnisse – Sensorische Prüfung

Bei Lebensmitteln spielt Geschmack eine wichtige Rolle. Für Speisemais, der in Deutschland kein traditionelles Lebensmittel darstellt, ist Geschmack daher ein wichtiges Kriterium für die Akzeptanz und erfolgreiche Einführung neuer Produkte oder Gerichte. Allerdings gab es bislang keine Untersuchungen zur sensorischen Prüfung (Geschmack) von in Deutschland relevanten Speisemaissorten. Unklar war, ob es Unterschiede in der Sensorik zwischen einzelnen Sorten- oder Genotypen gibt und ob das Vorhandensein des Keimlings einen Einfluss auf die Sensorik hat. Für Speisemais verarbeitende Betriebe stellt Geschmack eine wichtige zusätzliche Information für die Auswahl und Verwendung bestimmter Sorten dar.

Geschmack ist ein komplexer Sinneseindruck bei der Nahrungsaufnahme, es sind viele (Sinnes-)Organe beteiligt, die alle das Geschmackserleben beeinflussen: schmecken, fühlen (Zunge), riechen (Nase), sehen (Augen), hören (Ohr). Ziel der sensorischen Prüfung von Speismaisproben war eine umfassende Bewertung der sensorischen Eigenschaften von Maismehl und Polenta auf den verschiedenen Ebenen orthonasal (Geruch) und retronasal (Geschmack).

Orthonasale Prüfung – Gruppieren und Flash Profiling der Maismehle

Mit der orthonasalen Prüfung sollten eventuelle Geruchsunterschiede (orthonasal) zwischen den Maissorten identifiziert und beschrieben werden. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in einer sog. sensorischen Landkarte

[illegible]

Basierend auf der Häufigkeit dieser Merkmale wurde eine Korrespondenzanalyse durchgeführt und zusätzlich in einer Wortwolke visualisiert (Beispiel siehe in Abbildung 21), wobei die jeweils relevantesten Eigenschaften durch größere Darstellungen hervorgehoben wurden.



Dadurch war es möglich den Clustern vorherrschende, charakterisierende Attribute zuzuschreiben:

- Cluster 1: Deutlicher Geruch nach Dosenmais, zusätzlich säuerliche (fermentierte Eindrücke) und malzige Noten
- Cluster 2: Proben wurden ausschließlich mit dem Attribut Dosenmais beschrieben
- Cluster 3: Getreidig/mehlig, ranzig/nussig, teilweise erdig/modrig und fettig
- Cluster 4: Röstige, getreidige und fettige Noten
- Cluster 5: Sehr neutral, teilweise fruchtig, wenig intensiv, keine markanten Eindrücke

Teilweise wurden deutliche Unterschiede zwischen den Maismehlen festgestellt. Beispielsweise unterschied sich die Sorte *Rheintaler Ribel weiß* signifikant durch "erdig/modrige" Noten von den Sorten *Almito* und *Weihenstephaner 2*, deren Geruch eher an "Dosenmais" erinnerte.

Bemerkenswert ist, dass die Maismehle so eindeutig im Geruch differenziert werden konnten und so viele Attribute ermittelt wurden. Allerdings ergaben sich keine eindeutigen Zuordnungen hinsichtlich des Sortentyps. Landsorten finden sich in allen Clustern außer Cluster 2, Hybridsorten nicht in Cluster 1, Populationen nicht in Cluster 3.

Auch anhand der Kornfarbe ergab sich keine einheitliche Zuordnung. Die weißen Sorten *Rheintaler Ribel* und *Brandstetter* waren im selben Cluster 3 genauso wie die rote Sorte *Columbus* bzw. in Cluster 5 die Sorten *Kemater weiß* und *Blaumais 1538*.

Allein Cluster 2 wies eine auffällige Geruchsprägung durch "Dosenmais" auf und bestand überwiegend aus Hybridsorten und Populationen.

Retronasale Prüfung – Deskriptive Bewertung der Polenta (Konsensprofil)

Die ausgewählten Maisproben für die deskriptive Bewertung durchliefen eine detaillierte Profilprüfung, die eine Attributdefinition und die Intensitätsbewertung umfassten (dargestellt als Spinnennetzdiagramm in

Abbildung 22: Merkmalsbeschreibung und Intensitäten der retronasalen Polentaprüfung von Land-, Hybridsorten und Populationen).

Die Prüfung hat für jede Sorte ein individuell ausgeprägtes Attributmuster ergeben, keines der in

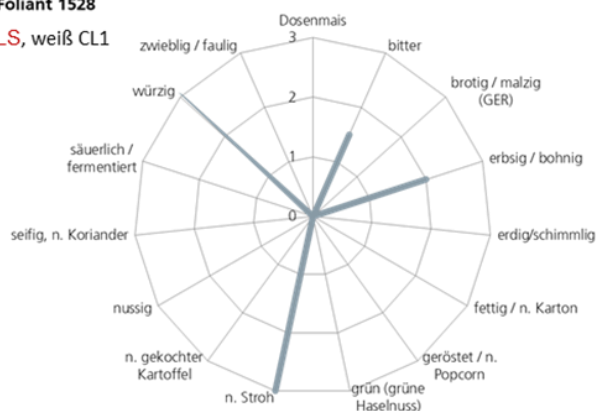
Abbildung 22: Merkmalsbeschreibung und Intensitäten der retronasalen Polentaprüfung von Land-, Hybridsorten und Populationen und Abbildung 23 dargestellten Spinnennetze ist gleich.

Mit 15 im Konsens definierten Attributen wurde eine erstaunlich vielfältige Palette an Geschmacksbeschreibungen gefunden: "n. gekochter Kartoffel", "bitter", "brotig/malzige", nach "Dosenmais" schmeckend, "erbsig/bohlig", "erdig/schimmelig", "fettig/nach Karton", "grün", "nussig", "röstig/n. Popcorn", "säuerlich/fermentiert", "seifig/n. Koriander", "n. Stroh", "würzig" und "zwieblig/faulig".

An dieser Stelle sei erwähnt, dass diese Attribute noch nicht einen positiven oder negativen Geschmack repräsentieren, sie dienen ausschließlich der objektiven Beschreibung. Gleichwohl können Attribute mit einem negativen Geschmack verknüpft sein. Alle Sorten mit und ohne Keimling hatten mindestens ein Attribut, dass eine intensive Ausprägung zeigte.

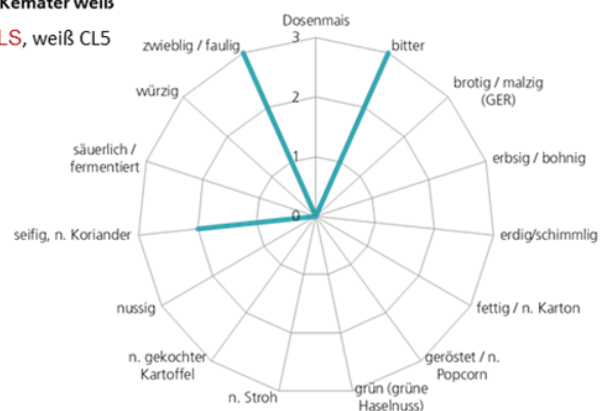
Foliant 1528

LS, weiß CL1



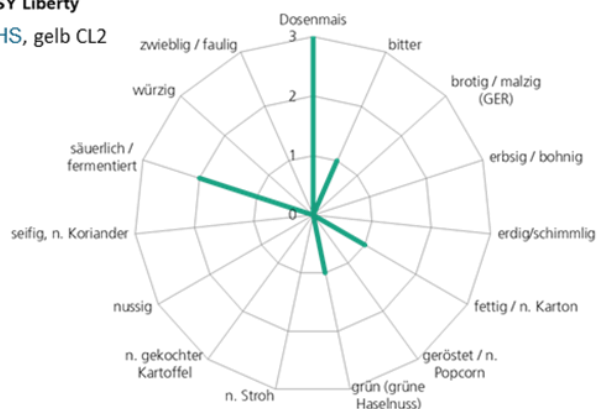
Kemater weiß

LS, weiß CL5



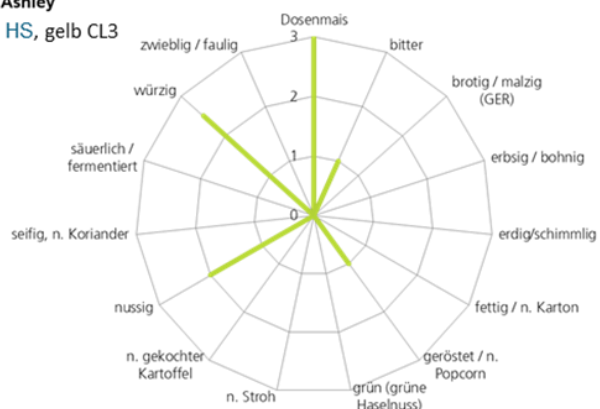
SY Liberty

HS, gelb CL2



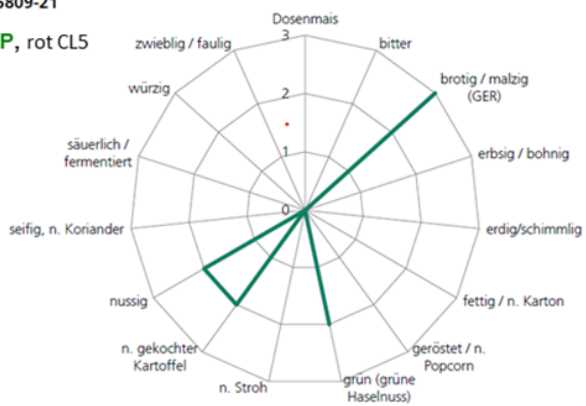
Ashley

HS, gelb CL3



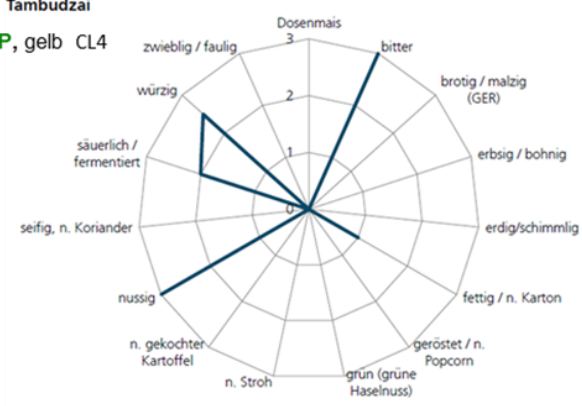
6809-21

P, rot CL5



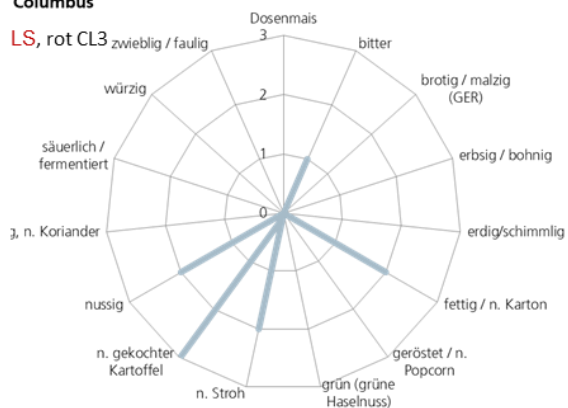
Tambudzai

P, gelb CL4



Columbus

LS, rot CL3



Almito

P, gelb CL2

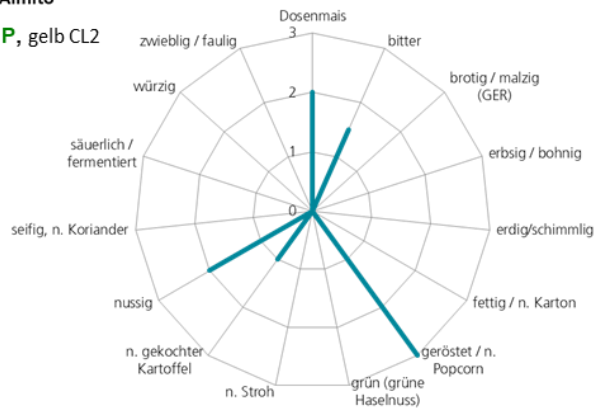


Abbildung 22: Merkmalsbeschreibung und Intensitäten der retronasalen Polentaprüfung von Land-, Hybridsorten und Populationen



Abbildung 23: Merkmalsbeschreibung und Intensitäten der retronasalen Polentaprüfung die Sorten Volney und SPIN Caldonazzo. Beide wurden zusätzlich auch ohne Keimling (Zusatz Keim) geprüft

Unterschiede zwischen Sorten und Sortentypen

Es lässt sich anhand des Spinnennetzusters eindeutig feststellen, dass jede Sorte unabhängig von Kornfarbe, Sortentyp oder Cluster ein eigenes sortenspezifisches Geschmacksmuster lieferte, mit individuell unterschiedlichen Geschmacksattributen und Ausprägungsstufen (siehe Abbildung 22, Abbildung 23). Keine Sorte und auch nicht die verschiedenen Sortentypen zeigten ein gleiches Muster.

Mit einer Ausnahme: alle drei getesteten Hybridsorten *Ashley*, *Volney* und *SY Liberty* wiesen im Polentatest einen einheitlichen und ausgeprägten Geschmack nach Dosenmais auf.

Es wurden zwischen 3 bis zu 6 verschiedene Geschmacksattribute je Sorte identifiziert. Die meisten unterschiedlichen Geschmacksattribute lieferte die Landsorte *SPIN Caldonazzo*, die noch heute in Italien eine bekannte Polentasorte ist. Auch die Hybridsorten *SY Liberty* und *Ashley* lieferten viele (5) verschiedene Geschmacksattribute. Die geringste Anzahl an Geschmackstributen mit nur drei lieferte die Sorte *Kemater weiß*.

Einfluss der Kornfarbe

Visuell reichten die Farbnuancen im Polentatest von weiß bis zu einem kräftigen gelb, bis bräunlichen Ton. Da das Endosperm bei allen Sorten weiß war, wiesen auch die roten Sorten (6809-21, roter Columbus) als Polenta keine deutliche Rotfärbung, sondern eher eine gräulich/violette Färbungen auf.

Die Textur der Polentaproben variierte signifikant und reichte von trocken und körnig bis hin zu schleimigen und gallertartigen Konsistenzen, wobei Unterschiede insbesondere bei Proben mit sichtbaren Schalentteilen wie 6809-21, Foliant 1528 und roter Columbus hervorstachen.

Den weißen Sorten fehlen natürliche Pflanzenfarbstoffe in der Kornschale. Anthocyane liefern meist rote bis violette Farbtöne, Flavone gelbliche Farbstoffe. Fehlen diese im Korn, könnte man davon ausgehen, dass der Geschmack weniger eindeutig und weniger intensiv ist. Dies konnte erstaunlicherweise nicht bestätigt werden: *Kemater weiß* lieferte weniger unterschiedliche Geschmacksttribute, schmeckte aber durchaus intensiv zwiebelig und bitter. Die roten Sorten wie die Population 6809-21, die Landsorte *roter Columbus* und auch die zimt gefärbte *SPIN Caldonazzo* zeigten alle eine mittel bis stark intensive Ausprägung des Attributs „n. gekochter Kartoffel“.

Dreieckstest – Einfluss des Keimlings

Um den Einfluss des Keimlings auf den Geschmack und die sensorischen Eigenschaften zu ermitteln, wurden die Hybridsorte *Volney* und die Landsorte *SPIN Caldonazzo* einmal mit und einmal ohne Keimling untersucht. Die Ergebnisse des Dreieckstest, ob sich die Sorten mit und ohne Keimling deutlich unterscheiden lassen, sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Orthonasale Unterscheidung zweier Maismehlproben mit und ohne Keimling (Dreieckstest)

Sorten	Sortentyp	Anzahl Prüfset/ Proben je Prüfset	Anzahl Prüfpersonen	P-Wert	Signifikanz
<i>Volney</i>	H	3 x 3	10	0,00188	***
<i>SPIN Caldonazzo</i>	LS	3 x 3	10	0,0025	***

Es wurde bei beiden Sorten ein signifikanter Unterschied zwischen den Maismehlproben mit und ohne Keim festgestellt. Dieses Ergebnis wird durch einen sehr niedrigen P-Wert bei beiden Sorten hervorgehoben. Auch die retronasale Prüfung der Polentaproben zeigte einen deutlichen Einfluss auf die Geschmacksattribute mit und ohne Keimling (Zusatz KEIM in Abbildung 23, Tabelle 21).

Bei der Landsorte *SPIN Caldonazzo* verringerten sich die Anzahl der gefundenen Geschmacksattribute von 6 auf 3 ohne Keimling deutlich. Und die Attribute selbst veränderten sich auch, bis auf das Attribut bitter, das weniger intensiv wahrgenommen wurde.

Bei der Hybridsorte *Volney* hingegen veränderte sich die Anzahl an wahrgenommenen Attributen im Polentatest nicht und auch die Attribute selbst blieben bis auf eines gleich, allerdings wurde die Intensität etwas schwächer. Insgesamt hatte der Keimling dennoch einen deutlichen Einfluss auf die Sensorik und das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein des Keimlings wurde auch sowohl ortho- als auch retronasal eindeutig identifiziert.

Vergleich orthonasale, retronasale Prüfung

Die Geschmacksattribute der orthonasalen Prüfung deckten sich nicht immer mit den Geschmacksattributen der retronasalen Prüfung (vergleiche Tabelle 21). Sorten aus denselben Clustern der orthonasalen Prüfung zeigten keine gleichen oder ähnlichen Geschmacksattribute nach der retronasalen Prüfung der Polentaproben: die Population *Tambudzai* und die Sorte *Volney* lagen in der orthonasalen Prüfung im Cluster 4 mit dem vorherrschenden gemeinsamen Geschmacksattribut „röstig getreidig“. Verarbeitet zu Polenta veränderten sich die Geschmacksattribute aber deutlich, bei *Volney* zu „n. Dosenmais“ und bei *Tambudzai* nach „bitter, nussig“. Ähnlich war dies bei der weißen Landsorte *Kemater* und der roten Population 6809-21, beide in der orthonasalen Prüfung im Cluster 5 „neutral, leicht fruchtig“ und im Polentatest „bitter, zwieblig/faulig“ bzw. „brotig/malzig“.

Tabelle 21: Zusammenstellung der ortho- und retronasalen Attribute

Nr	Name der Sorte	Kornfarbe	Sorten- typ	CL	Cluster(CL)- Attribute n. orthonasaler Prüfung	Sorten- spezifische Attribute n. orthonasaler Prüfung	Anzahl Attribute (retronasal)	Attribute nach retronasaler Prüfung
1	Foliant 1528	gelb- orange-rot	LS	1	nach Dosenmais	Dosenmais, malzig	4	würzig, n. Stroh
2	Roter Columbus	dunkelrot	LS	3	getreidig, mehlig, ranzig/nussig	getreidig	5	n. gekochter Kartoffel
3	SPIN Caldonazzo	zimt	LS	4	röstig, getreidig, fettig	röstig	6	erdig/ schimmelig
4	SPIN C. ohne Keim	zimt	LS	-	-	-	3	fettig/nach Karton
5	Kemater weiß	weiß	LS	5	neutral, leicht fruchtig	neutral	3	bitter, zwieblig/ faulig
6	Ashley	orange	H	3	getreidig, mehlig, ranzig/nussig	Dosenmais, ranzig/nussig	5	Dosenmais
7	Volney	gelb- orange	H	4	röstig, getreidig, fettig	fettig	4	Dosenmais
8	Volney ohne Keim	gelb- orange	H	-	-	-	4	Dosenmais
9	SY Liberty	gelb	H	2	n. Dosenmais	Dosenmais	5	Dosenmais
10	Almito	gelb- orange	P	2	n. Dosenmais	Dosenmais	5	würzig
11	6809-21	dunkelrot	P	5	neutral, leicht fruchtig	neutral, Dosenmais, getreidig	4	brotig/malzig
12	Tambudzai	orange	P	4	röstig, getreidig, fettig	getreidig/ röstig	5	bitter, nussig

3.2.6 AP2 – Diskussion

3.2.6.1 Unterschiede in der Verarbeitungsqualität zwischen Sorten und Sortentypen

Grießausbeute als zentraler Parameter der Verarbeitungseignung

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich sowohl die geprüften Sorten als auch die Sortentypen erheblich in ihrer Grießausbeute unterscheiden. Die Grießausbeute erwies sich dabei als einer der wichtigsten Parameter für die Verarbeitungseignung von Speisemais, da sie direkt den wirtschaftlich nutzbaren Anteil für Produkte wie Polenta oder Maisgrieß beschreibt.

Insgesamt wurden 450 Proben in den Jahren 2022-2025 untersucht. Dabei erreichten 75 Proben Grießausbeuten zwischen 68 % und 70 %, weitere 77 Proben lagen sogar über 70 %. Aus Sicht der Verarbeitung können Werte ab etwa 68 % als gut und Werte über 70 % als sehr gut eingestuft werden. Im guten Bereich (> 68 %) waren alle Sortentypen vertreten. Damit zeigte sich, dass ein erheblicher Anteil der geprüften Sorten grundsätzlich für die Speisemaisverarbeitung geeignet ist.

Interessanterweise zeigten Landsorten insgesamt die höchsten Grießausbeuten, während Hybridsorten die geringsten Werte erreichten. Populationen lagen zwischen den beiden Gruppen. Dieses Ergebnis könnte darauf hindeuten, dass Landsorten für die Speisemaisverarbeitung besser geeignet sind als Hybridsorten. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Kornerträge der Landsorten wesentlich geringer sind. Ursache hierfür ist vor allem der Korntyp. Hartmaistypen erzielten die höchsten Grießausbeuten, während Zahnmaistypen signifikant schlechter abschnitten. Dieses Ergebnis stimmt mit den in der Literatur beschriebenen Eigenschaften von Hartmais überein (Lütke Entrup et al. 2013; Eder 2015). Harte und glasige Körner zerbrechen eher in größere Partikel, Zahnmais dagegen besitzt einen weichereren, mehligeren Endospermanteil, wodurch mehr Mehl und weniger Grieß entsteht. Unter den Landsorten befanden sich viele klassische Hartmaistypen. Die aktuellen Hybridsorten hingegen gehören überwiegend den Zwischentypen an. Sie werden in der Regel aus einem Flint x Dent Genpool aufgebaut, sodass es keine reinen Hartmaissorten bei den mitteleuropäischen Hybridsorten gibt. Züchterisch wurden sie vor allem auf hohen Kornertrag optimiert. Grundsätzlich zeigte sich zwar, dass Hartmaissorten erwartungsgemäß höhere Grießausbeuten lieferten als Zahnmaissorten und Zwischentypen, dennoch ließen sich die Grießausbeuten nicht ausschließlich durch den Korntyp erklären. Besonders innerhalb der Zwischentypen traten sehr große Unterschiede auf. Einige Zwischentypen erreichten ähnlich hohe Grießausbeuten wie die Hartmaissorten, andere lagen deutlich niedriger. Dies ist besonders relevant, da aktuelle Hybridsorten v. a. den Zwischentypen angehören. Für Verarbeitung und Landwirtschaft ist daher schwer abschätzbar, welche Sorten wirklich eine hohe Grießausbeute erreichen. Tatsächlich werden von den Mühlen sogar 14 % Aufschlag für hartmaisbetonte Typen bezahlt, allerdings zeigen auch diese große Schwankungen in der Ausbeute.

Gerade diese Ergebnisse verdeutlichten die Bedeutung der im Projekt entwickelten Ansätze zur schnellen Bestimmung der Grießausbeute. Die Untersuchungen zeigten außerdem, dass die Grießausbeute ein schwierig zu erfassendes Merkmal ist. Sowohl Flotationstests als auch einfache Mahltests lieferten keine belastbaren Ergebnisse. Nur die technisch aufwendige Apparatur Grainman der Bühler GmbH ermöglichte eine zuverlässige Differenzierung zwischen den Sorten. Hier wird das Korn zuerst entkeimt und dadurch gebrochen und dann erfolgt über unterschiedliche Siebe die Grießausbeute-Bestimmung. Diese Technik besaß in Deutschland kein einziges Analyselabor. Daraus entstand die Idee für die Entwicklung einer NIRS-Kalibration, mit der zukünftig eine schnelle Vorhersage der Grießausbeute am ganzen Korn möglich werden könnte (siehe AP4).

Als einziger Sortentyp hatten die Landsorten unterschiedliche Kornfarben. Die Hybridsorten wiesen zwar auch unterschiedliche Gelbtöne auf, aber andere Farben gab es im aktuell zugelassenen Sortiment nicht.

Daher bieten Landsorten, trotz ihres geringen Ertrags, aufgrund ihrer diversen Kornfarben, Inhaltsstoffen und Geschmackseigenschaften ein nicht zu unterschätzendes Potenzial für die Züchtung von neuen Sorten und die Entwicklung von Spezialprodukten.

Einflussfaktoren auf Grießausbeute

Die Ergebnisse zeigten, dass die Verarbeitungsqualität von Speisemais sowohl durch genetische Sorteneigenschaften als auch durch Umweltbedingungen beeinflusst wurde. Besonders deutlich wurde dies bei

der Grießausbeute, bei der die Umwelt den stärksten Effekt aller untersuchten Faktoren zeigte. Vor allem zwischen den Jahren 2022 und 2023 traten deutliche Unterschiede auf.

Die im zweiten Versuchsjahr zusätzlich erhobenen Kornlängen und -breiten lieferten weitere Hinweise auf verarbeitungsrelevante Unterschiede zwischen den Sortentypen. Landsorten besaßen signifikant kürzere, aber breitere Körner. Dies entspricht typischen Flint- bzw. Hartmaiseigenschaften mit runderen und kompakteren Körnern. Solche Kornformen gelten als besonders geeignet für die Grießherstellung (Lütke Entrup et al. 2013). Im Gegensatz dazu zeigten Hybridsorten längere und schmalere Körner, die eher dem Zahnmaistyp entsprechen. Die geringere Variation zwischen den Standorten deutet darauf hin, dass Kornlänge und -breite stärker genetisch als umweltbedingt beeinflusst werden. Zusätzlich zeigte sich eine signifikante, negative Korrelation zwischen Kornlänge und Grießausbeute. Kürzere Körner scheinen daher besser für die Grießproduktion geeignet zu sein.

Auch beim Bruchkornanteil spielte die Umwelt eine wichtige Rolle. Der Standort Strassmoos wies deutlich höhere Bruchkornanteile auf als die anderen Standorte. Ursachen hierfür könnten insbesondere Unterschiede in Kornfeuchte zum Erntezeitpunkt, Trocknungsbedingungen sowie Mähdreschereinstellung gewesen sein. Höhere Kornfeuchten oder stärkere mechanische Belastungen führen häufiger zu Rissbildung und Kornbruch. Gleichzeitig zeigte sich, dass Landsorten höhere Bruchkornanteile aufwiesen als Hybridsorten. Eine Erklärung hierfür könnte in der Kornhärte liegen. Harte und glasige Körner sind zwar grundsätzlich vorteilhaft für die Grießausbeute, könnten aber unter mechanischer Belastung teilweise empfindlicher auf Spannungen reagieren und entlang vorhandener Risse eher brechen. Interessanterweise zeigte sich dennoch kein Widerspruch zwischen höherem Bruchkornanteil und hoher Grießausbeute. Viele Landsorten erreichten trotz erhöhter Bruchkornanteile sehr gute Grießausbeuten.

3.2.6.2 Unterschiede in der Ernährungsqualität zwischen Sorten und Sortentypen

Zielkonflikt zwischen Ertrag und Inhaltsstoffen

Bei den Makronährstoffen zeigte sich sehr deutlich der Zielkonflikt zwischen Ertrag und Ernährungsqualität. Hybridsorten erreichten die höchsten Stärkegehalte und Kornerträge, während Landsorten höhere Protein-, Fett- und Aminosäuregehalte aufwiesen. Diese Ergebnisse veranschaulichen, dass Hybridsorten züchterisch eindeutig auf hohen Kornertrag über die Stärke selektiert wurden. Da Stärke den Hauptanteil des Kornertrags ausmacht, bestand ein negativer Zusammenhang zwischen Protein- und Stärkegehalt. Die hohen Stärkegehalte der Hybridsorten sind insbesondere aus Sicht der Futter- und Stärkeindustrie vorteilhaft. Für Speisemaisprodukte kann jedoch auch die Zusammensetzung der Stärke (Amylose und Amylopektin) relevant sein. Zudem besitzt Mais vergleichsweise hohe Gehalte an resistenter Stärke (RS), die im Dünndarm nicht verdaut wird und dadurch präbiotische Eigenschaften besitzt (Rouf Shah et al. 2016). Resistente Stärke kann positive Effekte auf Darmmikrobiom, Cholesterinspiegel und Insulinempfindlichkeit haben.

Interessanterweise zeigte der Proteingehalt zudem Zusammenhänge mit mehreren verarbeitungsrelevanten Parametern. Der Proteingehalt war positiv mit der Grießausbeute korreliert, während negative Korrelationen mit Korntyp, Kornlänge und Kornertrag festgestellt wurden. Dies bedeutet, dass Sorten mit höherem Proteinanteil tendenziell höhere Grießausbeuten erzielten, eher dem Hartmaistyp entsprachen, kürzere Körner aufwiesen und gleichzeitig geringere Erträge hatten. Die negative Korrelation mit dem Ertrag bestätigte den bekannten Konflikt zwischen Ertragsleistung und Proteingehalt bzw. zwischen Quantität und Qualität, der auch bei anderen Getreidearten beschrieben wurde (LWK NRW 2022).

Auch beim Fettgehalt zeigten Landsorten die höchsten Werte. Da Maisöl überwiegend im Keimling lokalisiert ist, könnte dies darauf hindeuten, dass Landsorten größere oder öltreichere Keimlinge besitzen. Maiskeimöl enthält hohe Anteile ungesättigter Fettsäuren, insbesondere Linolsäure, und gilt deshalb als gesundheitlich wertvoll (Jellum 1987). Aus ernährungsphysiologischer Sicht können höhere Fettgehalte daher positiv bewertet werden. Jedoch wird in der Speisemaisverarbeitung der Keimling meist entfernt. Tatsächlich besitzen hohe Fettgehalte in der industriellen Verarbeitung eher Nachteile, da dies zu Verschmierung in der Anlage und zu geringerer Haltbarkeit der Produkte führt (Ackermann 2014). Eventuell könnte das Entfernen des Keimlings ein möglicher Grund für geschmackliche Unterschiede zwischen traditionell verarbeiteten Produkten und industriell hergestellten Maisprodukten sein (siehe Abschnitt 3.2.5 zur Sensorik). Da aber im Keimling wichtige fettlösliche Vitamine und andere ernährungsrelevante Inhaltsstoffe sitzen, wäre eine Produktentwicklung und Vermarktung

mit Keimling sinnvoll. Dass das durchaus auch im großen Stil möglich ist, zeigte eindrücklich die Genossenschaft Agri90 in Italien, die ihre ganze Produktion auf Mais mit Keimling ausgerichtet hat.

Gerade für Speisemais wurde dadurch deutlich, dass langfristig eine eigenständige Sorten-Züchtung notwendig sein wird. Soll Mais zukünftig stärker für die menschliche Ernährung genutzt werden, müssen vor allem gesundheitsrelevante Inhaltsstoffe als Zuchtziele stärker berücksichtigt werden als bisher. Dafür besonders interessant war, dass einzelne Landsorten und Populationen außergewöhnlich hohe Gehalte bestimmter Inhaltsstoffe erreichten. Beispielsweise zeigten italienische Gießmaissorten wie *SPIN Caldonazzo* oder *LZM004 Marano Vincentino* wiederholt hohe Protein-, Aminosäure-, Fett- und Carotinoidgehalte. Die große Spannweite zwischen den Sorten verdeutlicht dabei das vorhandene züchterische Potenzial.

Besonderheiten von Mais als Lebensmittel

Die Ergebnisse zeigten außerdem, wodurch sich Mais ernährungsphysiologisch von anderen Getreidearten unterscheidet. Besonders hervorzuheben sind die hohen Gehalte an Lutein und Zeaxanthin. Beide Carotinoide spielen eine wichtige Rolle für die Augengesundheit und kommen in vielen anderen Getreiden nur in deutlich geringeren Mengen vor.

Die Ergebnisse zu Lutein und Zeaxanthin bestätigten weitgehend die in der Literatur beschriebenen Zusammenhänge zwischen Kornfarbe und Carotinoidgehalt (Uarrotta et al., 2011; Almeida Rios et al., 2014; Demeke, 2018). Besonders die Populationen zeigten hohe Luteingehalte (*Evolino*, *Gabriel*), während weiße Landsorten wie *Kemater weiß* oder *Brandstetter weiß* nahezu keine Carotinoide enthielten. Weiße Maissorten besitzen genetisch bedingt deutlich geringere Gehalte an gelb-orangen Pigmenten und damit kaum Carotinoide. Die sehr hohen Werte einzelner Landsorten wie *Foliant 1528* oder *LZM Marano Vincentino* zeigen gleichzeitig, dass ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der ernährungsphysiologischen Qualität vorhanden ist. Interessant ist außerdem, dass die Standortunterschiede bei Lutein und Zeaxanthin relativ deutlich ausfielen. Dies deutet darauf hin, dass Umweltbedingungen wie Lichtverhältnisse, Trockenheit, Salzgehalt und Kältestress die Carotinoidbildung beeinflussen könnten (Saini und Keum 2018).

Auch die Ergebnisse zu Vitamin E zeigten deutliche Unterschiede zwischen den Sortentypen. Besonders Populationen wiesen hohe Gesamtgehalte an Tocopherolen und Tocotrienolen auf (6808-20, 6809-21). α -Tocopherol gilt dabei als biologisch wichtigste Vitamin E-Form für den Menschen. Vitamin E wirkt als lipophiles Antioxidans und schützt Zellmembranen vor oxidativen Stress (Kurilich und Juvik 1999). Auffällig war außerdem, dass höhere Vitamin E-Gehalte teilweise mit höheren Fettgehalten zusammen auftraten. Dies ergibt Sinn, da Tocopherole überwiegend im ölhaltigen Keimling lokalisiert sind. Da der Keimling in der industriellen Verarbeitung entfernt wird, gehen gleichzeitig wertvolle Inhaltsstoffe verloren. Dies könnte auch erklären, weshalb traditionell hergestellte Produkte aus nicht entkeimtem Mais oft intensiver im Geschmack wahrgenommen werden. Speisemaisprodukte mit Keimling könnten zukünftig gezielt als ernährungsphysiologisch hochwertige Spezialprodukte angeboten werden.

Bei den Inhaltsstoffen Magnesium und Eisen erreichten die Landsorten (1542 *Buntmais*, *Roter Columbus*, 1705, *Kemater weiß*) und Populationen (*Bogdan*, *Gabriel*, *Bogdan*, 6808-20) ebenfalls höhere Gehalte als die Hybridsorten. Magnesium ist als Kofaktor vieler Enzyme von wichtiger Bedeutung für die Muskel- und Nervenfunktion, während Eisen essentiell für die Sauerstoffversorgung des Körpers ist. Allerdings ist Eisen aus pflanzlichen Quellen nur begrenzt bioverfügbar. Zusätzlich könnten erhöhte Phytinsäuregehalte die Mineralstoffaufnahme weiter reduzieren.

Die positiven Zusammenhänge zwischen Aminosäuregehalten und Landsorten sind besonders interessant. Maisprotein besitzt generell eine geringe biologische Wertigkeit, da insbesondere Lysin, Tryptophan und Methionin limitierend sind (Goldstein et al. 2012; Abiose und Ikujenlola 2014; Vaswani et al. 2016). Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass Landsorten bei nahezu allen essentiellen Aminosäuren höhere Gehalte aufwiesen als Hybridsorten und auch Populationen. Besonders relevant ist dies für Lysin, da diese Aminosäure im Mais in der niedrigsten Konzentration auftritt und somit die gesamte Proteinqualität bestimmt. Die Landsorte *Foliant 1528* fiel dabei durchgängig durch besonders hohe Aminosäuregehalte auf. Gleichzeitig zeigte sie auch hohe Protein- und Fettgehalte. Dies spricht wieder für ein züchterisches Potenzial der Ernährungsqualität. Die Hybridsorten zeigten häufig geringere Aminosäuregehalte, was erneut mit der stärkeren Stärkeeinlagerung und

höherem Kornertrag zusammenhängt. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass Landsorten ernährungsphysiologisch wertvolle Eigenschaften besitzen, die in den moderneren Hybridsorten teilweise verloren gegangen sind. Interessanterweise lagen die Populationen sowohl in der Ertragsleistung, als auch in der Konzentration der Inhaltsstoffe zwischen Landsorten und Hybridsorten. Daher scheint der Zielkonflikt zwischen Kornertrag und Ernährungsqualität zu bestehen, trotzdem ist das züchterische Potenzial vorhanden, Sorten für die Speisemaiseignung mit verbesserten Inhaltsstoffgehalten bei gleichzeitig guter agronomischer Leistung zu entwickeln.

Beim Anthocyangehalt konnten nur wenige Sorten relevante Werte aufweisen, trotzdem bestätigte sich der Zusammenhang zwischen einer dunkel(-lila) Kornfarbe und der Anthocyanbildung. Daher ist es auch nicht überraschend, dass die Hybridsorten mit geringer Farbdiversität und ausschließlich gelben Kornfarben keinerlei Anthocyangehalt aufwiesen. Nichtsdestotrotz könnten farbige Populationen oder Landsorten mit erhöhtem Anthocyangehalt für Nischenprodukte bei Speisemais interessant sein (*1538 Blaumais, 1713, 1542 Buntmais*). Außerdem konnte beobachtet werden, dass viele dunkelrote Sorten nur geringe oder kaum nachweisbare Anthocyangehalte aufwiesen. Auch andere rotfärbende Inhaltsstoffe wie Lycopin waren nicht vorhanden. Dies deutet darauf hin, dass sich die Anthocyane eher in den Randschichten des Korns befinden. Für die Analytik wurde das ganze Korn gemahlen. Die Konzentrationen waren dann wahrscheinlich zu niedrig, um mit der Messmethode erfasst zu werden. Damit wären die Gehalte in Endprodukten von Speisemais ebenfalls sehr gering, da in der industriellen Verarbeitung die Körner geschält und entkeimt werden und die äußeren Randschichten mit Anthocyanen entfernt werden.

Phytinsäure gilt als antinutritiver Inhaltsstoff, da sie Mineralstoffe wie Eisen, Zink und Calcium bindet und dadurch deren biologische Verfügbarkeit reduzieren kann (Nuss und Tanumihardjo 2010). Gleichzeitig besitzt Phytinsäure jedoch antioxidative Eigenschaften und wird zunehmend auch mit gesundheitsfördernden beziehungsweise krebshemmenden Wirkungen in Verbindung gebracht (Raboy 2003). Die Bewertung hoher Phytinsäuregehalte ist daher nicht eindeutig negativ. Die signifikant höheren Phytinsäuregehalte der Landsorten passen gut zu den ebenfalls erhöhten Gehalten an Protein, Mineralstoffen und Aminosäuren. Nichtsdestotrotz relativiert die Verarbeitung die ernährungsphysiologische Bedeutung der Phytinsäure. Durch Mahlen, Einweichen oder Hitze kann der Gehalt deutlich reduziert werden (Hurrell 2004). Insbesondere bei der Herstellung von Grieß oder Polenta werden Keimling und Schale entfernt, wodurch sich die tatsächliche Aufnahme weiter verringert. Die gemessenen Konzentrationen erscheinen daher nicht problematisch. Die positiven Korrelationen zwischen Phytinsäure, Protein- und Aminosäuregehalten deuten außerdem darauf hin, dass hohe Phytinsäuregehalte insgesamt mit nährstoffreichen Maissorten einhergehen.

3.2.6.3 Zusammenhänge zwischen Inhaltsstoffen und Verarbeitungseigenschaften

Die Analysen zeigten zahlreiche Zusammenhänge zwischen Inhaltsstoffen und Verarbeitungseigenschaften. Besonders auffällig war, dass hohe Grießausbeute häufig gemeinsam mit höheren Protein-, Aminosäure- und Phytinsäuregehalten auftraten, während hohe Stärkegehalte eher mit geringeren Grießausbeuten verbunden waren. Damit wird deutlich, dass sich ernährungsphysiologische und verarbeitungsrelevante Eigenschaften teilweise gegenseitig beeinflussen. Harte Körner besitzen einerseits bessere Verarbeitungseigenschaften und höhere Proteingehalte, andererseits aber oft geringere Kornerträge. Große, stärkereiche Körner hingegen liefern hohe Kornerträge, sind jedoch häufig weniger geeignet für die Grießherstellung.

3.2.6.4 Sortenempfehlungen und Bedeutung für die Praxis

Für die Praxis zeigen die Ergebnisse, dass die Wahl geeigneter Speisemaissorten stark vom jeweiligen Verwendungszweck abhängt. Für die klassische Grieß- und Polenta-Herstellung eignen sich besonders Hartmais bzw. Landsorten mit hoher Grießausbeute. Diese erreichen zwar häufig geringere Kornerträge, bieten aber Vorteile hinsichtlich Verarbeitung, Inhaltsstoffen und Geschmack. Hybridsorten sind dagegen vor allem für hohe Erträge interessant, erreichen jedoch meist geringere Gehalte wertvoller Inhaltsstoffe und niedrigere Grießausbeuten. Populationen finden sich eher dazwischen wieder. Sie kombinieren teilweise gute Verarbeitungseigenschaften mit höheren Inhaltsstoffgehalten und könnten deshalb insbesondere für die ökologische Speisemaiszüchtung interessant sein.

Die höchsten Grießausbeuten über die Versuchsjahre 2022-2025 erreichten folgende Sorten der jeweiligen Sortentypen:

- Hybridsorten: *LG 31256, KWS Nevo, Murphey*
- Landsorten: *Körkelkolben, SPIN Caldonazzo/Trentino, Foliant 1528*
- Populationen: *Almito, Tambudzai, 6809-21*

Da hohe Grießausbeuten nicht zwangsläufig mit hohen Kornerträgen einhergehen, wurde zusätzlich ein Hektarertrag-Grießausbeute berechnet. Für das zweite Versuchsjahr (2023) mit drei untersuchten Standorten zeigten dabei folgende Sorten die höchsten Werte:

- Hybridsorten: *Clooney, RGT Exxon, Volney*
- Landsorten: *LZM004 Marano Vincentino, 1539, 1556*
- Populationen: *6806-21, 6802-21, Almito*

Für die wichtigsten Inhaltsstoffe ergeben sich folgende Aufstellungen der jeweils besten Sorten je Sortentyp:

Lutein:

- Hybridsorten: *Benedictio, Sumumba, Clooney*
- Landsorten: *Foliant 1528, LZM004 Marano Vincentino, 1556*
- Populationen: *Evolino, Gabriel, Bogdan*

Zeaxanthin:

- Hybridsorten: *Quentin, Sumumba, Clooney*
- Landsorten: *SPIN Caldonazzo/Trentino, LZM004 Marano Vincentino, Roter Columbus*
- Populationen: *Almito, Evolino, Weihenstephaner 2*

Vitamin E:

- Hybridsorten: *Clooney, MAS 26 R, Benedictio*
- Landsorten: *1712, Kemater weiß, 1705*
- Populationen: *6808-20, 6809-21, 6802-21*

Lysin:

- Hybridsorten: *Benedictio, Sumumba, DKC 2788*
- Landsorten: *Foliant 1528, 1713, 1705*
- Populationen: *6808-20, Bogdan, Almito*

Eisen:

- Hybridsorten: *Ashley, Volney, Clooney*
- Landsorten: *1705, Kemater weiß, 1713*
- Populationen: *Bogdan, 6808-20, Evolino*

Magnesium:

- Hybridsorten: *Benedictio, Clooney, Volney*
- Landsorten: *1542 Buntmais, Roter Columbus, Foliant 1528*
- Populationen: *Bogdan, Gabriel, 6809-21*

Proteingehalt:

- Hybridsorten: *Benedictio, Clooney, Volney*
- Landsorten: *Foliant 1528, 1705, 1520*
- Populationen: *Bogdan, Evolino, Almito*

Berücksichtigte man die Hybridsorten mit der besten Flächenleistung in Bezug auf die Grießausbeute und zog ebenso Inhaltsstoffgehalte in Betracht, so eigneten sich insbesondere die Sorten *Clooney* und *Volney* für die Speisemaisverarbeitung mit Fokus auf Inhaltsstoffqualität. Daneben zeigten auch die Hybridsorten *Ashley*, *Benedictio*, *Sumumba* und *DKC 2788* an einzelnen Standorten Grießausbeuten über 68 % und teilweise ausgeprägte Inhaltsstoffeigenschaften.

Bei den Landsorten stach insbesondere die italienische Sorte *LZM004 Marano Vincentino* als leistungsstarke Sorte hervor, gefolgt von *1556* und weiteren Sorten wie *1520*, die wiederholt sehr hohe Grießausbeuten über 70 % erreichten. Auch die Sorten *1705*, *1712* und *1542 Buntmais* zeigten teilweise sehr hohe Werte über 70 %.

Besonders ist hier 1542 *Buntmais* als farbige Landsorte mit zusätzlichem Potenzial für Nischenprodukte mit erhöhtem Anthocyangehalt. *Kemater weiß* und *Roter Columbus* erreichten ebenfalls gute Grießausbeuten und sind insbesondere im Hinblick auf weiße oder rote Nischenprodukte interessant. *SPIN Caldonazzo/Trentino* als bekannte italienische Grießmaissorte zeigte zudem mit Abstand die höchsten Zeaxanthinwerte und stellt damit eine wertvolle Landsorte für ernährungsphysiologisch hochwertige Produkte dar.

Bei den Populationen präsentierte sich *Almito* als besonders leistungsstark hinsichtlich Hektarertrag-Grießausbeute. Ergänzend dazu erreichten jedoch auch 6808-20 und *Evolino* gute Grießausbeute-Werte über 68 % und 6809-21, *Bogdan* und *Gabriel* teilweise sogar sehr gute Werte über 70 % und zeigten gleichzeitig interessante Inhaltsstoffprofile. Damit bestätigten die Populationen ihre Zwischenstellung zwischen Hybridsorten und Landsorten.

3.2.6.5 Diskussion: Sensorik

Den ausgewählten Maissorten konnten in beiden Prüfmethoden (ortho-/retronasal) eindeutige und viele unterschiedliche Geschmacksattribute zugeordnet werden. Mit einer derartigen Vielfalt wurde nicht gerechnet, zumal in den Umfragen Mais als langweilig im Geschmack wahrgenommen wurde.

Bemerkenswert ist die breite Palette an Attributen, die mit hohen Intensitäten einhergingen. Bei so einer sensorischen Vielfalt kann davon ausgegangen werden, dass es züchterisch möglich sein wird, geschmacklich vielfältige, unterschiedliche Polenta-Sorten zu entwickeln.

Die Annahme, dass der Sortentyp einen Einfluss auf den Geschmack hat, konnte nicht (eindeutig) bestätigt werden. Dass Landsorten wegen ihrer geringen züchterischen Bearbeitung geschmacklich vielfältiger abschneiden, zeigte sich nicht. Mit einer Ausnahme: Hybridsorten zeigten ein einheitlicheres Geschmacksmuster, allerdings nur in der retronasalen Prüfung. Das Attribut „n. Dosenmais“ war stets vorherrschend. Möglicherweise zeigte sich hier doch ein züchterischer Einfluss: denn der Fokus in der Züchtung bei den Hybridsorten lag seit dem 2. Weltkrieg in Europa und Deutschland ausschließlich auf Ertrag, der im Wesentlichen über Kolbenmerkmale und Stärkegehalt erhöht wurde. Da erscheint es plausibel, dass bei den Hybridsorten einheitlichere Geschmacksattribute auftreten.

Das deckte sich auch mit den eindeutigen Ergebnissen der Inhaltsstoffanalysen. Hier zeigte sich durchweg, dass die Landsorten immer höhere Gehalte an allen untersuchten Inhaltsstoffen aufwiesen, außer beim Stärkegehalt. Dass dies einen Einfluss auf die Geschmacksattribute hatte, erscheint logisch.

Dass der weißen Sorte *Kemater* nur drei Geschmacksattribute und damit die geringste Anzahl in der retronasalen Prüfung zugeschrieben wurde und in der orthonasalen Prüfung auch im Cluster mit den Attributen neutral landete, könnte ein Hinweis auf den Einfluss der (fehlenden) Kornfarbe sein und damit eine Bestätigung, dass die Kornfarbe sehr wohl einen Einfluss auf die Sensorik hatte. Ein eindeutiger Einfluss der Kornfarbe konnte nicht nachgewiesen werden. Die weiße Sorte lieferte zwar wenige aber durchaus intensive Geschmacksattribute.

Die Prüfpersonen berichteten von z. T. deutlichen Unterschieden in der Textur der Polentaprobe, welche möglicherweise Einfluss auf die sensorische Wahrnehmung hatten. Um die Textur zu optimieren, die nach der Literatur eher weich als kernig sein sollte (Zeppa et al. 2012), sollte bei weiteren Prüfungen eine Anpassung der Rezeptur und des Mahlgrads erfolgen.

Es gibt keine sensorischen Untersuchungen zu deutschen Maissorten. In einer italienischen Studie von Zeppa et al. (2012) wurde der typische Eindruck von Polenta als „maisartig“, „nach gekochter Kartoffel“ und leicht „röstig“ beschrieben. Auch sie finden viele unterschiedliche Geschmacksattribute. Noten wie „erdig/schimmelig“, „erbsig/bohlig“ oder „säuerlich fermentiert“ wurden in der genannten Studie nicht gefunden.

Insofern lassen sich die gefundenen sensorischen Attribute hinsichtlich einem positiven oder negativen Geschmackserleben noch schwer einordnen. Um die sensorischen Eigenschaften von Maissorten weiter zu optimieren und zu bewerten, müssen weitere Studien mit Polenta durchgeführt werden. Durch Konsumentenstudien und weitere umfassende deskriptive Analysen könnten die sensorischen Akzeptanztreiber eindeutig identifiziert werden.

Unterschiede zwischen Maismehlen und Polenta

Es wurden teilweise unterschiedliche sensorische Eindrücke zwischen den Maismehlen und der daraus hergestellten Polenta festgestellt. Diese Differenzen könnten auf den Herstellungs- und Kochprozess zurückzuführen sein, da während dieser Prozesse aromatische Verbindungen entstehen können. Zusätzlich gibt es Aromen, die eher retronasal als orthonasal wahrnehmbar sind und so die sensorischen Ergebnisse unterschiedlich beeinflussen.

Es ist anzumerken, dass zwischen der Bewertung der Maismehle und der Herstellung der Polenta ein Zeitraum von knapp 2,5 Monaten lag, in dem sich die Produkte möglicherweise verändert haben könnten.

Die Vorauswahl von Sorten über die orthonasale Prüfung erscheint nicht geeignet zu sein, denn die Sorten aus denselben Clustern führten zu sehr unterschiedlichen retronasalen Ergebnissen. Gelänge es an dieser Stelle eine andere Methode zu finden, die sicher den Geschmack in den verarbeiteten/verkochten Proben widerspiegelt, könnte dies ein Meilenstein sowohl für die Züchtung und Anwendung als auch die Produktentwicklung und Akzeptanz von Mais als Nahrungsmittel sein.

Keimling

Das Vorhandensein des Keimlings hatte einen deutlichen Einfluss auf die Geschmacksattribute und wurde auch eindeutig erkannt. Eine eindeutige Richtung ließ sich aber nicht erkennen. Besonders auffallend war der Rückgang der Geschmacksattribute bei der Landsorte *SPIN Caldonazzo* von 6 auf 3. Bei der Hybridsorte *Volney* hingegen veränderte sich wenig. Dies könnte wiederum durch den Einfluss der Züchtung und den höheren Gehalten an wertbestimmenden Inhaltsstoffen bei Landsorten erklärt werden. Viele von ihnen sitzen im Keimling. Wird dieser entfernt, könnte sich dies direkt im Geschmack bemerkbar machen. Dies würde erklären, warum bei der Hybridsorte *Volney* das Entfernen des Keimlings kaum Wirkung zeigte. Der Keimling als Träger von wertvollen Inhaltsstoffen sollte unbedingt in der Züchtung für Speisemaissorten berücksichtigt werden.

3.3 AP3 – Wissenstransfer in die Praxis

Arbeitspaket 3 widmete sich dem Wissenstransfer des Anforderungsprofils und der Erkenntnisse zu ökologischem Speisemais. Durch Workshops, Fachveranstaltungen und Wissenschaftstagungen, Präsentationen und Postervorträgen, Verkostungen, Infomaterial und fachlichen/wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurde ein breit aufgestellter Wissenstransfer umgesetzt. Dieser erfolgte kontinuierlich und gezielt in die verschiedenen Bereiche entlang der Wertschöpfungskette: Landwirtschaftliche Praxis, Verarbeitung, Forschung und Züchtung, Beratung und Ämter sowie Verbraucher*innen.

In Tabelle 22 ist eine Übersicht über den im Vorhaben durchgeführten Wissenstransfer in die verschiedenen Bereiche dargestellt. Einzelne Elemente des Wissenstransfers werden im Folgenden beschrieben.

*Tabelle 22: Übersicht über den im Vorhaben SpeiseMaisQual durchgeführten Wissenstransfer für die Bereiche Landwirtschaft, Verarbeitung, Forschung und Züchtung, Beratung und Ämter, Verbraucher*innen*

Veranstaltung	Output	Landwirtschaft	Verarbeitung	Forschung und Züchtung	Beratung und Ämter	Verbraucher*innen
Ökofeldtage 2024 und 2026	Austausch und Präsentation, Interview	x				
Treffen der Ämter-Ansprechpartner*innen für Pflanzenbau, Bayern am 25.03.2026	Austausch	x			x	
Verband der Landwirtschaftskammern AG Mais, Mai 2026	Austausch	x			x	
Praktikertreffen „LfL stellt sich vor“ am 23.11.2023 in Ruhstorf	Austausch	x			x	
Jahrestagung der LfL in Grub, 2023	Posterpräsentation	x			x	
VLK-Bundesländerkolleg*innen Ökolandbau-Forschung, April 2025 und 2026	Präsentation der Ergebnisse, Austausch				x	
Forschungsaustausch zwischen LfL und LTZ Augustenberg im April 2026	Präsentation der Ergebnisse, Austausch				x	
DMK Tagung im November 2025, Zeitschrift „mais“	Präsentation und Veröffentlichung	x		x		
Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in 2023, 2024 und 2026	Posterbeiträge und Präsentationen, Veröffentlichungen	x		x		
Ökolandbautag im Oktober 2024	Präsentation der Ergebnisse, Austausch	x		x		
Grüne Woche 2025	Stand				x	x
Stakeholder Workshop „Innovative Lebensmittel“ im September 2024 in Ruhstorf	Posterpräsentation, Austausch, Verkostung		x			
Artikel in Fachzeitschriften, Autorin: Weiler, Nina	Veröffentlichungen		x			
Artikel im DLG Magazin 2025	Veröffentlichung	x	x			
Biofach 2025 und 2026	Standbeteiligung, Austausch		x			x
Hoffest Dottenfelderhof im September 2024	Verkostung, Austausch					x
Feldtag der Forschung & Züchtung Dottenfelderhof (jährlich)	Projektpräsentation, Austausch	x			x	
Abschlussworkshop im September 2025	Austausch		x	x		
Rezeptkarten	Infomaterial					x
Flyer „Was Speisemais alles kann“	Infomaterial		x			x
Praxismerkblatt nach BLE-Vorlage	Infomaterial	x	x	x	x	

3.3.1 Abschluss-Workshop

Die gewonnenen Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet und gezielt mit den Projekt- und Kooperationspartnern diskutiert. Dazu wurde im September 2025 ein Workshop durchgeführt und die Ergebnisse mit allen Beteiligten und Stakeholdern diskutiert.

3.3.2 Grüne Woche 2025

Im Januar 2025 wurde das Projekt ausgewählt, im Rahmen eines von der BLE organisierten Ausstellungsbereichs auf der Grünen Woche in Berlin vorgestellt zu werden. In Zusammenarbeit mit Profi-Köchen wurden dort Polenta-Rezepte in einer Show-Küche live zubereitet. Außerdem gab es die Möglichkeit für die Messebesucher*innen kleine Polenta-Kostproben zu verkosten.



Abbildung 24: Eindrücke vom Stand auf der Grünen Woche in Berlin 2025. Fotos ©BLE

3.3.3 Ökofeldtage 2025

Alle zwei Jahre bieten die Öko-Feldtage eine wichtige Plattform für den Austausch mit Akteur*innen insbesondere aus der landwirtschaftlichen Praxis. Am Gemeinschaftsstand der ökologischen Pflanzenzüchtung auf den Öko-Feldtagen 2025 auf dem Wassergut Canitz in Sachsen wurde das Maisprojekt anhand von Schauparzellen vorgestellt (siehe Abbildung 25). Darüber hinaus wurden Interessent*innen die Projektergebnisse in täglichen Kurzvorträgen präsentiert und der fachliche Austausch zu Speisemais im ökologischen Landbau angeregt.

Dabei konnten neue Kontakte zu Speisemaisanbauer*innen geknüpft werden, insbesondere im Bereich der Tortilla-Herstellung. Zudem ergab sich die Gelegenheit, die Projekthalte in einem Interview mit Ökolandbau NRW vorzustellen, das unter <https://www.oekolandbau.nrw.de/polenta-und-mantecada-mit-oeko-speisemais> nachzulesen ist.



Abbildung 25: Schauparzellen zu Speisemais am Gemeinschaftsstand der ökologischen Pflanzenzüchtung auf den Öko-Feldtagen 2025 auf dem Wassergut Canitz in Sachsen

3.3.4 Polentaverkostungen

In 2024 wurden zwei Polentaverkostungen mit hedonischer Bewertung durch die Teilnehmenden durchgeführt: Im Rahmen einer Veranstaltung der LfL in Ruhstorf sowie auf dem Hoffest des Dottenfelderhofs in Bad Vilbel. An beiden Veranstaltungen wurden zwei identisch zubereitete Polentavarianten angeboten, die sich lediglich hinsichtlich der Verwendung von Mais mit und ohne Keimling unterschieden.

Neben dem sensorischen Vergleich der Varianten (vgl. Abschnitt 3.2.5 zur Sensorik) diente die Verkostung auch dazu, Verbraucher*innen anzusprechen und in den Austausch zu kommen. Ziel war es, Polenta als Speisemaisprodukt wieder stärker ins Bewusstsein zu rücken und Impulse zu geben, Polenta auch im Alltag auf die Teller zu bringen.



Abbildung 26: Verkostungen von Polentaprobe – mit und ohne Keimling – am Stakeholderforum im Oktober 2024 in Ruhstorf a. d. Rott (links) und am Hoffest Dottenfelderhof im September 2024 in Bad Vilbel (rechts)

3.3.5 Rezeptkarten

Um eine breitere Verbraucher*innengruppe zu adressieren, ebenfalls mit dem Ziel die Integration von Mais in den alltäglichen Speiseplan zu fördern, wurden drei Rezeptkarten in Form von Infoflyern im Postkartenformat entwickelt. Jede Karte enthält ein einfach umsetzbares Rezept, ansprechende Fotos von Maisprodukten sowie den Link zur Webseite (www.maispopulationen.org) mit weiterführenden Informationen (siehe Abbildung 27). Dort sind auch digitale Versionen der Rezeptkarten abrufbar.

Die Rezeptkarten wurden im Rahmen verschiedener Veranstaltungen verteilt und dienten dort als Informations- und Motivationsangebot zur Verstärkung der Nutzung von Speisemais in der Alltagsküche.



Abbildung 27: Drei Rezeptkarten mit Speisemais-Rezepten und Fotos im Postkartenformat

3.3.6 Flyer Speisemais

Als weiteres Informationsmedium wurde ein Flyer „Was Speisemais (alles) kann! – Vom Korn bis zum Grieß“ mit wissenswerten Informationen für Landwirtschaft, Verarbeitung und Produktentwicklung entworfen. Das Design für den Flyer wurde von Katharina Hoehne – Grafik Design gestaltet. Die Titelseite ist in Abbildung 28 zu sehen, eine digitale Version des gesamten Flyers ist unter www.maispopulationen.org einsehbar.



Abbildung 28: Titelseite des Info-Flyers „Was Speisemais (alles) kann!“

3.3.7 Veröffentlichungen

Im folgenden Abschnitt sind die im Rahmen des Vorhabens angefertigten Veröffentlichungen aufgelistet, darunter Beiträge in Fachzeitschriften und auf Fachtagungen sowie Posterbeiträge.

2026

Eder B, Neubeck K (2026): Praxismerkblatt nach BLE-Vorlage. Erstellen eines Anforderungsprofils für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais. Bundesprogramm ökologischer Anbau (BÖL) im Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH).

Weiler N (2026): Sensorische Eigenschaften und Grießausbeute von Mais – Studie zu Landsorten, Populationen und Hybridsorten. Mühle + Mischfutter. Heft 09.2026.

Weiler N (2026): Vielfalt bringt Geschmack – Maissorten. DLG-Lebensmittel. 2/2026. DLG e.V. Frankfurt a. M.

2025

Eder B, Neubeck K & Schmidt C (2025): Wie schmeckt Mais? In mais 4/2025. Titelthema: Komplexe Zuchtziele - komplexe Werkzeuge, S. 18-22

Eder B, Neubeck K & Schmidt C (2025): Eine Nische mit enormem Potenzial. In DLG Mitteilungen. Titelthema: Saatgut Magazin Winter 2025, S. 5-7

Siebel M (02.07.2025): Polenta und Mantecada mit Öko-Speisemais. Ökolandbau NWR. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. <https://www.oekolandbau.nrw.de/polenta-und-mantecada-mit-oeko-speisemais> [zuletzt abgerufen am 21.06.2026]

2024

Eder B, Schmidt C, Szabo L, Sadeghi A, & Neubeck K (2024): Wie schmeckt Speisemais? Sensorische Prüfung von Mais-Landsorten, Populationen und Hybridsorten. Vortrag 9. Ökolandbautag 2024 Triesdorf, 24.10.2024

Eder B (2024): Mais Fluch oder Segen. Vortrag Gartenbauverein 15.10.2024

Eder B (2024): Wie schmeckt unser Acker? Wie schmeckt Speisemais? Sensorische Prüfung von Land- und Hybridsorten. Treffen der Ökomodellregionen 24.07.2024 Freising

Eder B (2024): Wie schmeckt Speisemais? Vortrag am LfL Kolloquium 11.12.2024 Freising

Eder B (2024): Vorstellung der Projektergebnisse Sommerdienstbesprechung mit den Ansprechpartner*innen für (Öko)Pflanzenbau der bayerischen Landwirtschaftsämter. 16.-17.07.2024, Triesdorf

Eder B (2024): Poster und Verkostung von Mais Polentaproben am Stakeholder Forum Innovative Lebensmittel in Ruhstorf 01.10.2024

Schmidt C, Szabo L, Sadeghi A, Neubeck K & Eder B (2024): Förderung des regionalen Speisemaisanbaus: Ergebnisse zu Essgewohnheiten und Maiskonsum in Deutschland. In Landwirtschaft und Ernährung Transformation macht nur gemeinsam Sinn. Beitrag zur 17. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen

Sadeghi A, Schmidt C, Szabo L, Neubeck K & Eder B (2024): Indirekte und direkte Bestimmung der Grießausbeute verschiedener Maissorten. In Landwirtschaft und Ernährung Transformation macht nur gemeinsam Sinn. Beitrag zur 17. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen

2023

Sadeghi A, Neubeck K & Eder B (2023): Anforderungsprofil für in Deutschland erzeugtem Speisemais in Zusammenarbeit mit Verarbeitung und Landwirtschaft. In: One Step Ahead - einen Schritt voraus! Beitrag zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Frick

Sadeghi A, Schmidt C, Szabo L, Neubeck K & Eder B (2023): Anforderungsprofil für in Deutschland erzeugtem Speisemais in Zusammenarbeit mit Verarbeitung und Landwirtschaft. LfL Jahrestagung 2023 Ökolandbau, Grub, <https://www.lfl.bayern.de/verschiedenes/aktuell/343497/index.php>

Eder B & Sadeghi A (23.11.2023): Ausstellung in Ruhstorf an der Rott. Die LfL präsentiert sich der Praxis. Siemenshalle. Ausstellung der Speisemaissorten und Poster zum Projekt.

2022

Eder B (01.12.2022): Online-Vorstellung Projekt Veranstaltung Ökomodellregionen Bayern Ost. Dr. Ursula Diepolder Büro für Regionalentwicklung, 94545 Hohenau

Ausblick

Weitere Veröffentlichungen in Fachzeitschriften zu den Anforderungen und Erkenntnissen zu ökologisch erzeugtem Speisemais sind bspw. in der Demeter-Verbandszeitschrift Lebendige Erde geplant.

3.3.8 Webseite Maispopulationen

Weiterführende Informationen zum Vorhaben sowie zu Speisemais und Maispopulationen im Allgemeinen sind über die Webseite www.maispopulationen.org abrufbar. Die Plattform wurde bereits im Rahmen eines vorangegangenen BLE/BÖL-Projekts (ZuchtMetPopMais, FKZ 2815NA169) der beiden Projektpartner LfL und FZD aufgebaut und seither kontinuierlich weitergeführt.

Auf der Webseite stehen außerdem digitale Versionen des im Projekt erstellten Informationsmaterials zur Verfügung. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projekts umfangreiche Bilddokumentationen aller untersuchten Hybrid-, Landsorten und Populationen erstellt, die die große genetische und phänotypische Diversität sowie die Vielfalt an Farben anschaulich darstellen (vgl. Anhang 1).

Die Webseite dient somit als zentrale Informationsplattform für Interessierte und bietet einen Überblick über die Arbeiten der Projektpartner im Bereich Speisemais und Maispopulationen.

3.4 AP4 – Erstellen einer NIRS/NIT-Kalibration

Die Grießausbeute ist zentral für die Verarbeitungsqualität von Speisemais. Wie in Abschnitt 3.2.1.5 ausführlich beschrieben, gab es bisher kein standardisiertes Messprotokoll zur Bestimmung der Grießausbeute bei Mais und allein die Bestimmung mittels der Labormühle Grainman lieferte praxistaugliche Ergebnisse. Doch auch diese Methode ist aufwendig, destruktiv und benötigt eine Probenmenge von ca. 600 g für ein verlässliches Ergebnis. Zudem wurde diese Methode zum Zeitpunkt der Berichterstattung in Deutschland nicht angeboten – weder von Mühlen noch im Portfolio von Auftragslaboren. Verarbeitungsbetriebe und Mühlen konnten zu diesem Zeitpunkt ihre Proben nur im Ausland bestimmen lassen, verbunden mit hohen Kosten.

Zusätzlich zeigten die Ergebnisse aus diesem Vorhaben, dass anhand von Sorten- oder Korntyp keine verlässliche Aussage über die Verarbeitungsqualität getroffen werden konnte. Für die Praxis bedeutete dies, dass die Grießausbeute nicht aus Sortenbeschreibungen oder anhand von Sorten- bzw. Korntyp abgeleitet werden konnte, sondern direkt bestimmt werden muss.

Auch im Züchtungsprozess müssten für die Selektion eines Merkmals eine große Anzahl kleiner Probenmengen gemessen, selektiert und bestenfalls wieder ausgesät werden, was mit dieser Methode nicht möglich wäre.

Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bietet eine zerstörungsfreie, schnelle und einfache Möglichkeit, Inhaltsstoffzusammensetzungen in ganzen Körnern zu bestimmen. Die Proben werden mit elektromagnetischer Strahlung im Nahinfrarotbereich (400-2500 nm) beleuchtet und entweder die Spektren der Reflektion (Nahinfrarot-Reflektion – NIRS) bzw. die Spektren der Transmission (Nahinfrarot-Transmission – NIT) erfasst und an Hand der Spektren die Zusammensetzung bestimmter Parameter berechnet. Das Verfahren ist mittlerweile Standard bei der Qualitätsanalyse von landwirtschaftlichen Produkten (Getreide, Mehl, Milch, Ölfrüchte) und Futtermitteln (siehe auch auf den Webseiten: www.VDLUFA-NIRS.de, www.ZEISS.de).

Da auch andere Eigenschaften wie Härte und Glasigkeit bereits erfolgreich mit NIRS am ganzen Korn bestimmt wurden (Rathna Priya und Manickavasagan 2021; Fox und Manley 2009; Xu et al. 2019; Baye et al. 2006), wurde das Vorhaben um das Ziel erweitert, eine NIRS/NIT-Kalibration am ganzen Korn für das Merkmal Grießausbeute zu bestimmen.

3.4.1 Material und Methoden für NIRS/NIT-Kalibration

3.4.1.1 Ausgangsmaterial und Feldversuche

Eine ausreichende Anzahl und breite Aufstellung an Referenzdaten ist entscheidend für die Qualität einer NIRS/NIT-Kalibration. Für die Kalibration der Grießausbeute standen insgesamt 451 Proben für Kalibration und Validierung sowie weitere 31 Proben für den abschließenden Test der entwickelten Modelle zur Verfügung. Die Proben stammten aus den verschiedenen Versuchen im Rahmen des vorliegenden Vorhabens sowie aus weiteren Prüfungen der LfL und umfassten insgesamt vier Anbaujahre und acht Standorte. Eine genaue Übersicht über die Herkunft und Probenanzahl des Ausgangsmaterials ist in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Ausgangsmaterial und Herkunft von insgesamt 482 Proben für NIRS/NIT-Kalibration, aufgeteilt in ein Kalibrationsset von 334, Validierungsset von 117 und abschließendes Testset von 31 Proben

Material	Anbaujahr	Standort	Anzahl Proben	
40 Prüfglieder aus dem Speisemais-Prescreening	2022	Ruhstorf	29	Kalibrationsset (n=334)
40 Prüfglieder á 3 Standorte aus dem Speisemais-Sortenscreening	2023	Allershausen, Düllstadt, Strüth	120	
Anbau weiterer Sorten zur gezielten Erweiterung	2024	Ruhstorf	46	
	2025	Erbshausen	45	
Prüfglieder aus den Körnermaisversuchen der LfL	2023	Ruhstorf, Strassmoos	18	
	2024	Inzing, Ruhstorf	76	Validierungsset (n=117)
	2025	Frontenhausen, Strassmoos, Ruhstorf, Inzing	117	
		Gesamt	451	
Weitere Prüfglieder aus den Körnermaisversuchen der LfL	2025	Strassmoos, Frontenhausen	31	Testset (n=31)
		Gesamt	482	

Für eine gezielte Erweiterung der Datengrundlage und um insbesondere die Grenzbereiche mit sehr hohen und sehr niedrigen Grießausbeuten besser abzudecken, wurden insgesamt 91 weitere Sorten 2024 in Ruhstorf und 2025 in Erbshausen angebaut (vgl. Reihe 3 in Tabelle 23). Hierfür wurden die Sorten in vierreihigen Parzellen á 18 m² ohne Wiederholung ausgesät und jeweils die zwei mittleren Kernreihen geerntet.

3.4.1.2 Bestimmung der Grießausbeute

Die Bestimmung der Grießausbeute als Referenzparameter aller zuvor genannten Proben wurde an der Lerchenmühle Wieser GmbH mittels Labormühle Grainman durchgeführt (siehe auch Abschnitt 3.2.1).

3.4.1.3 Kalibrations- und Validierungssets

Für die Entwicklung der NIRS/NIT-Kalibration standen insgesamt 451 Proben mit Grießausbeute-Referenzwerten zur Verfügung. Die Verteilung der Sortentypen innerhalb des Ausgangsmaterials ist in Tabelle 24 dargestellt. Die Aufteilung in Kalibrations- und Validierungsset erfolgte zeitlich und nicht zufällig. Alle zum Zeitpunkt der Modellentwicklung verfügbaren Proben wurden dem Kalibrationsset zugeordnet (n = 334), später verfügbare Proben dem Validierungsset (n = 117). Durch dieses Vorgehen wurde eine praktische Anwendungssituation nachgebildet, in der ein Kalibrationsmodell auf vorhandenen Daten entwickelt und anschließend mit neu erhobenen, bislang unbekannten Proben überprüft wird.

Tabelle 24: Zusammensetzung des Kalibrations- und Validierungssets nach Sortentyp: Hybridsorten, Landsorten und Populationen

Hybridsorten	Landsorten	Populationen
342	65	44

Abbildung 29 zeigt die Verteilung der insgesamt 451 Proben nach Korntyp. Das Datenset umfasst die für die Kalibrationsentwicklung und Validierung verfügbaren Proben und verdeutlicht die Zusammensetzung des untersuchten Ausgangsmaterials.

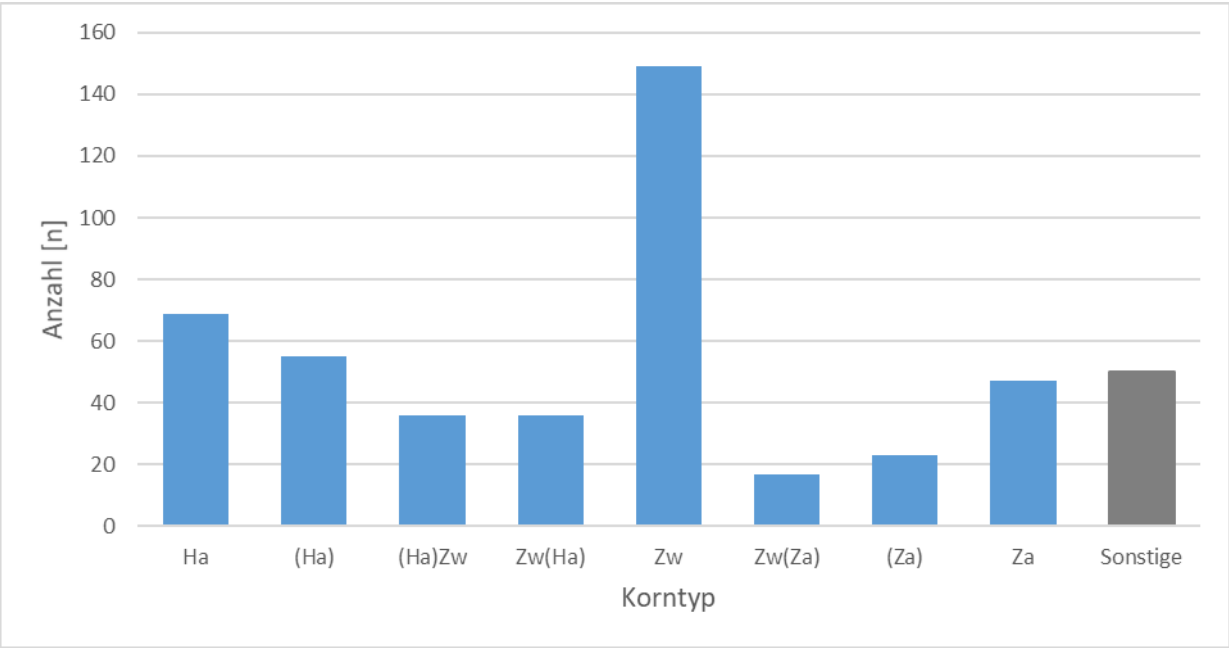


Abbildung 29: Histogramm über die Verteilung der Kornarten (Ha = Hartmais, (Ha) = hartmaisähnlich, (Ha)Zw, Zw(Ha) = hartmaisähnlicher Zwischentyp, Zw = Zwischentyp, Zw(Za) = zahnmaisähnlicher Zwischentyp, Za = Zahnmais) über alle 451 Proben der Kalibrierungs- und Validierungssets

Die Verteilungen der Grießausbeute-Referenzwerte im Kalibrations- (n = 334) und Validierungsset (n = 117) sind in den Abbildungen 30 und 31 dargestellt. Aufgrund der zeitlich begründeten Aufteilung der Proben unterscheiden sich die Wertebereiche und Häufigkeitsverteilungen der beiden Datensätze teilweise. Während das Kalibrationsset die zum Zeitpunkt der Modellentwicklung verfügbaren Proben umfasst, enthält das Validierungsset die später erhobenen Proben, welche teilweise gezielt ausgewählt wurden, um Grenzbereiche, besonders durch Ergänzung mit Zahnmais(-ähnlichen) Kornarten, noch besser abzudecken.

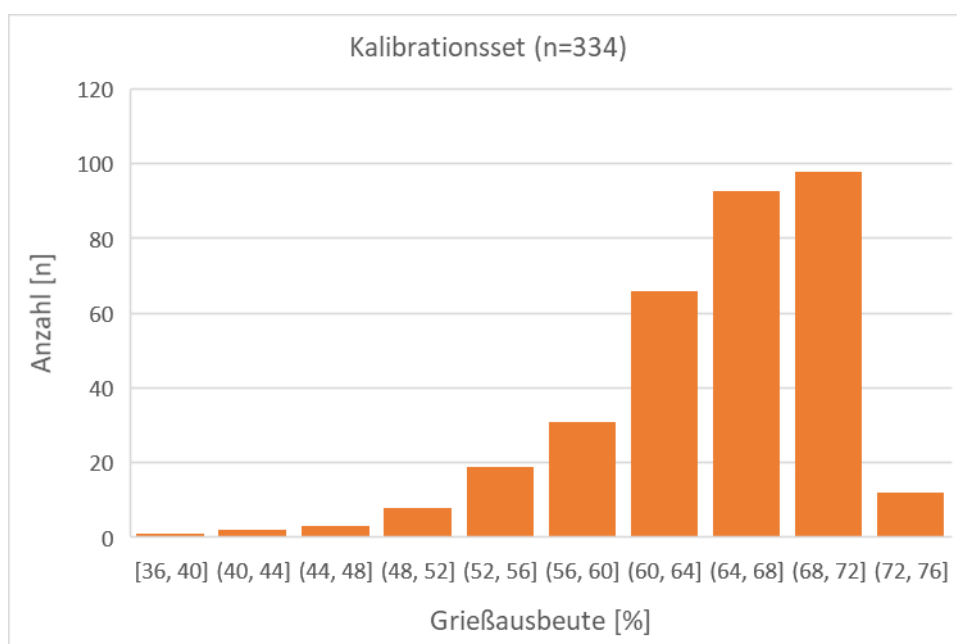


Abbildung 30: Histogramm der Verteilung der Grießausbeute-Referenzwerte [%] der 334 Proben des Kalibrationssets

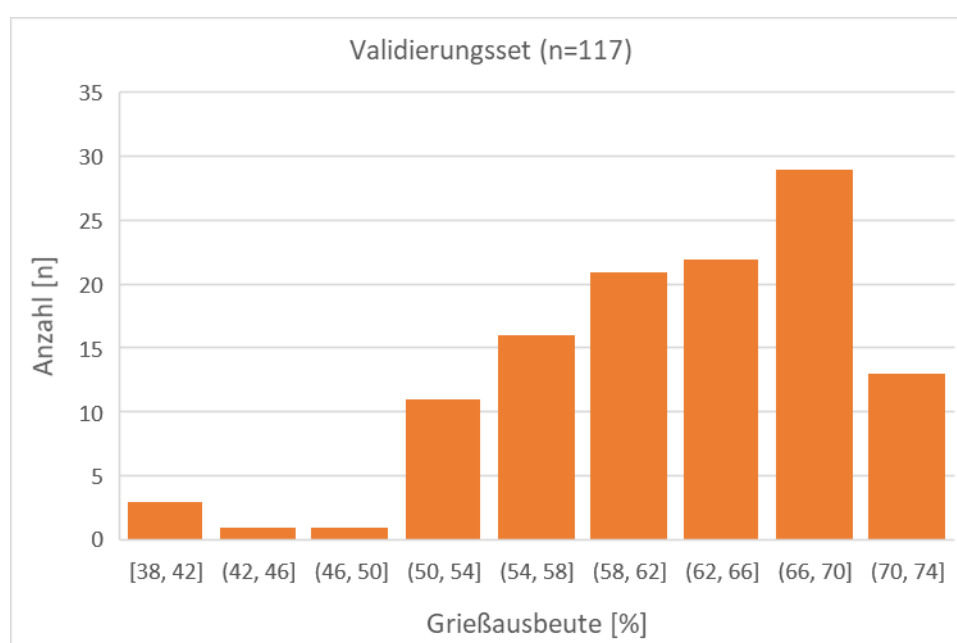


Abbildung 31: Histogramm der Verteilung der Grießausbeute-Referenzwerte [%] der 117 Proben des Validierungssets

3.4.1.4 Berechnung der Modelle und Geräte

Insgesamt wurden drei Kalibrationsmodelle für drei verschiedene NIRS-Geräte erstellt: Für das NIT-Gerät Infratec Nova und das NIRS-Gerät Spectra Star RTW 2500 X der LfL sowie das NIRS-Gerät ZEISS Corona der FZD. Auch die Entwicklung der Kalibrationsmodelle erfolgte durch drei unterschiedliche Einrichtungen VDLUFA, KPM Analytics und ZEISS (siehe Tabelle 25 für eine Übersicht).

Tabelle 25: Übersicht über die verwendeten Geräte, den jeweiligen Wellenlängenbereich, Standort des Gerätes und Kalibration durchführende Organisation (FOSS 2026; KPM Analytics 2026; ZEISS 2026)

Spektroskopie	Gerät	Wellenlängenbereich	Standort	Kalibration
NIT	Infratec NOVA (FOSS)	400-1100 nm	LfL	VDLUFA
NIRS	Spectra Star RTW 2500 X (KPM)	680-2500 nm	LfL	KPM Analytics
NIRS	ZEISS Corona	950-1650 nm	FZD	ZEISS

Die Berechnung und Auswertung der Modelle erfolgten in drei Schritten:

- 1) Berechnung eines Kalibrationsmodells an Hand der Referenzdaten und Spektren der 334 Proben aus dem Kalibrationsset (vgl. Tabelle 23)
- 2) Validierung des Modells an Hand der Referenzdaten und Spektren der 117 Proben aus dem Validierungsset, anschließende Einarbeitung der Validierungsproben in das Modell zur Verbesserung der Kalibration
- 3) Auswertung und Vergleich der Modelle mittels Messung der Grießausbeutewerte der 31 Proben aus dem Testset (siehe Abschnitt 3.4.2 – Ergebnisse der Kalibrationen)

Für den Vergleich und die Bewertung der drei Kalibrationen wurden die 31 Proben an den entsprechenden Geräten gemessen und die Grießausbeute dieser Proben nochmal mittels Labormühle bestimmt. Anschließend wurden verschiedene Parameter zum Vergleich der Messungen mit den Referenzwerten berechnet (siehe Tabelle 26 im Abschnitt 3.4.2 – Ergebnisse der Kalibrationen).

Zur besseren Einordnung der Kalibrationsgüte wurden außerdem die Standardabweichungen der Wiederholungen von Proben fünf verschiedener Lieferanten der Lerchenmühle Wieser GmbH (vgl. Abschnitt 3.4.2.2) sowie der dreifachen (NIRS-FZD) bzw. vierfachen (NIRS-LfL) Wiederholungen der NIRS-Messungen (vgl. Abschnitt 3.4.2.3) berechnet und verglichen.

3.4.2 Ergebnisse der Kalibrationen

3.4.2.1 Auswertung und Vergleich der entwickelten Kalibrationen

Die Ergebnisse der berechneten Vergleichsparameter zur Bewertung der entwickelten Kalibrationen ist in Tabelle 26 dargestellt. Insgesamt zeigten sich beide Kalibrationen (NIRS-LfL und NIRS-FZD) brauchbar und direkt in der Praxis einsetzbar.

Tabelle 26: Gegenüberstellung verschiedener Bewertungsparameter der entsprechenden Kalibrationen der drei Geräte NIRS-LfL, NIRS-FZD und NIT-LfL

	NIRS-LfL	NIRS-FZD	NIT-LfL
Bestimmtheitsmaß (R²)	0,68	0,88	0,89
BIAS (Systemischer Fehler)	1,8	-0,4	0,4
RMSE (Mittlerer quadratischer Fehler)	4,47	2,34	2,43
SD (Standardabweichung der Differenz)	3,88	5,84	5,41
RPD (Verhältnis SD zu Fehler)	1,50	2,87	2,77
Pearson-Korrelationskoeffizient (r)	0,83	0,94	0,94

NIRS-LfL

Mit $R^2 = 0,68$ und $r = 0,83$ war die Übereinstimmung moderat bis gut. Der positive Bias (1,8) zeigte eine systematische Überschätzung. Der höhere RMSE (4,47) wies auf größere Fehler hin und das RPD (1,50) lag im brauchbaren Bereich.

NIRS-FZD

Das Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,88$) und die Pearson-Korrelation ($r = 0,94$) wiesen auf eine sehr starke Übereinstimmung zwischen Mess- und Vorhersagewerten hin. Der Bias (-0,4) war nahezu null und zeigte kaum systematische Abweichung. Der RMSE (2,34) war niedrig und deutete auf geringe Vorhersagefehler hin. Entsprechend war auch das RPD (2,87) sehr gut und spricht für eine hohe Modellqualität.

NIT-LfL

Auch für die NIT-Kalibration zeigten R^2 (0,89) und r (0,94) starke Zusammenhänge zwischen Korrelation und Messwerten. Auch die weiteren Bewertungsparameter fielen vergleichbar mit denen der NIRS-FZD-Kalibration aus (vgl. Tabelle 26) und weisen erneut auf eine hohe Modellqualität hin.

3.4.2.2 Vergleich Referenzwerte der Lerchenmühle

Für die Einordnung der Kalibrationsgüte wurden die Standardabweichungen von Proben von insgesamt fünf eingelieferten Proben der Lerchenmühle Wieser GmbH verglichen. Die Wiederholungen wurden von der Lerchenmühle bei Einlieferung von Mais standardmäßig untersucht, wurden jedoch mit einer ungleichen Anzahl Wiederholungen (n) durchgeführt.

In Abbildung 32 sind die gemittelten Standardabweichungen der fünf Proben dargestellt. Die gemittelte Standardabweichung aller 5 Proben lag bei 1,8.

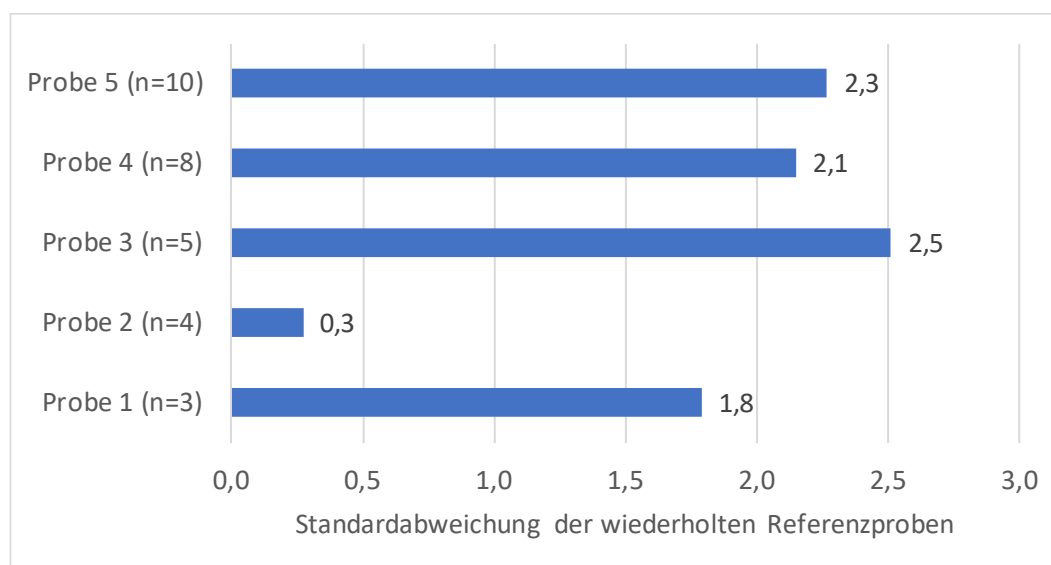


Abbildung 32: Gruppierendes Säulendiagramm der Standardabweichungen der wiederholten Referenzproben der Lerchenmühle Wieser GmbH von fünf verschiedenen Lieferanten. n = Anzahl der Wiederholungen

3.4.2.3 Abweichungen der Wiederholungen der NIRS-Messungen

Abbildung 33 zeigt die Verteilung der Standardabweichungen der Wiederholungsmessungen der drei NIRS/NIT-Methoden (NIRS-FZD, NIRS-LfL und NIT-LfL) über 31 Proben.

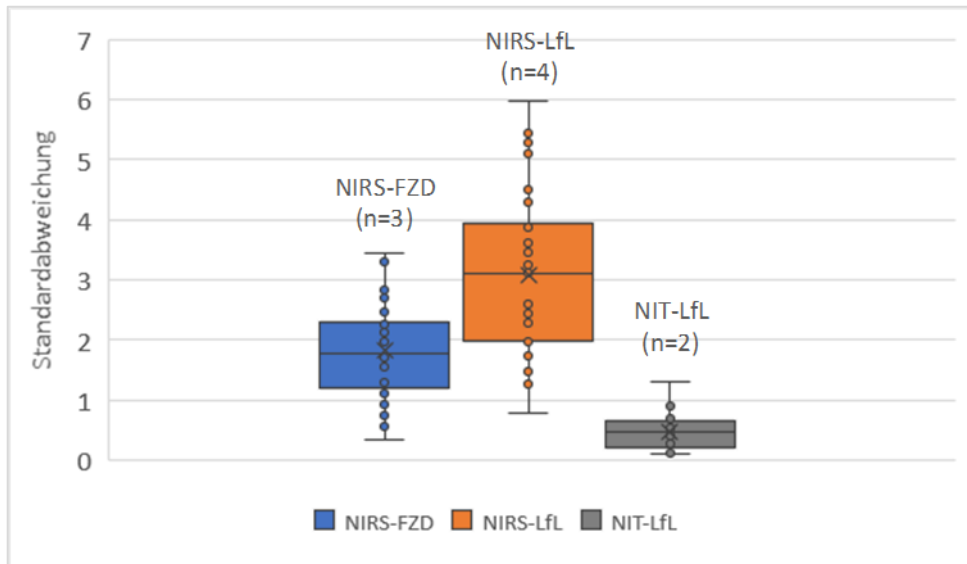


Abbildung 33: Boxplot der Standardabweichungen der Wiederholmessungen der beiden NIRS-Methoden (NIRS-FZD in blau und NIRS-LfL in orange) über 31 Proben. Dargestellt sind Median (Linie in der Box), Mittelwert (X in der Box), Interquartilsbereich (Box) sowie Whisker ($1,5 \times \text{IQR}$)

Die Standardabweichungen waren bei NIT-LfL mit einem Mittelwert von 0,48 am niedrigsten, bei NIRS-LfL mit 3,08 am höchsten, NIRS-FZD lag mit 1,82 dazwischen. Sowohl Median als auch Mittelwert von NIT-LfL und NIRS-FZD waren deutlich geringer, was auf eine höhere Wiederholpräzision dieser Methoden hinweist. Zusätzlich zeigte die Box von NIRS-FZD eine geringere Interquartilsbreite (IQR) und von NIT-LfL die geringste IQR, was darauf hindeutete, dass die Streuung der Präzision zwischen den Proben homogener war. Im Gegensatz dazu wies NIRS-LfL eine größere Streuung der Standardabweichungen auf, was auf eine stärkere Abhängigkeit der Messpräzision von der jeweiligen Probe hinwies. Insgesamt deutete die Verteilung darauf hin, dass NIT-LfL die beste und NIRS-FZD eine bessere Wiederholpräzision als NIRS-LfL aufweist, da sowohl Median als auch Streuung der Standardabweichungen geringer waren. Allerdings müssen bei der Bewertung die Anzahl Messungen (n) beachtet werden, NIRS-FZD wurde mit drei-, NIRS-LfL mit vier- und NIT-LfL mit zweifacher Wiederholung gemessen.

3.4.3 AP4 – Diskussion

3.4.3.1 Bewertung der Kalibrationen

Die Ergebnisse der entwickelten Kalibrationen zeigten insgesamt eine praxistaugliche Modellgüte für die Vorhersage der Gießausbeute aus NIRS- und NIT-Spektren. Zwischen den eingesetzten Systemen bestanden jedoch deutliche Unterschiede in der Vorhersagegüte und insbesondere in der Wiederholpräzision.

Die Auswertung der Wiederholungen der NIRS-Messungen zeigte, dass NIRS-FZD insgesamt niedrigere und homogener verteilte Standardabweichungen aufweist als NIRS-LfL. Dies weist auf eine stabilere Messperformance des FZD-Systems hin, was u. a. durch die unterschiedlichen Messbereiche der Geräte beeinflusst sein könnte (vgl. Abschnitt 3.4.3.2). Im Gegensatz dazu zeigte NIRS-LfL sowohl höhere Medianwerte als auch eine größere Streuung der Standardabweichungen, was auf eine geringere Messstabilität und eine stärkere Abhängigkeit von der jeweiligen Probe hindeutete. Diese Unterschiede spiegelten sich auch in den Modellkennwerten wider, wobei das NIRS-FZD-Modell mit höherem R^2 und niedrigerem RMSE eine insgesamt bessere Vorhersagequalität erreichte. Die Bewertung der NIT-Messungen lieferte vergleichbare Werte mit der NIRS-FZD-Kalibration, was auf eine vergleichbar gute Vorhersagequalität schließen ließ.

Bei den Referenzmessungen der Gießausbeute im Labor zeigten sich gemittelte Standardabweichungen von 1,8 zwischen den Wiederholungen. Ein Erfahrungswert für die Güte von NIRS-Kalibrationen ist, dass bei einem guten Modell der Fehler/die Standardabweichung der NIRS-Messungen maximal doppelt so groß wie der Fehler der Referenzmethode (aus dem Austausch mit LfL, KPM Analytics und Zeiss) sein darf. Was hier folglich einen Fehler von max. 3,6 erlauben würde. Beim Vergleich der NIRS-Kalibrationen mit den Werten der Referenzmessungen zeigten sich Standardabweichungen von 3,9; 5,8 und 5,4 für NIRS-LfL, NIRS-FZD bzw. NIT-LfL und überschritten

den Erfahrungswert z. T. deutlich. Der Vergleich der Wiederholungen der NIRS-Messungen lieferte Standardabweichungen von 3,1; 1,8 und 0,5 für NIRS-LfL, NIRS-FZD bzw. NIT-LfL. In den Abweichungen innerhalb der Wiederholungen lagen alle drei Kalibrationen unter dem Grenzwert und bestätigten nochmals ihre Praxistauglichkeit.

Insgesamt zeigten sich alle drei NIRS/NIT-Kalibrationen als einsetzbar für bestimmte Bereiche der Praxis, bspw. die Einschätzung von Rohstoffchargen, die Bewertung in Landessortenversuchen oder als Einsatz bei der Selektion in Zuchtprogrammen. Sollen die ermittelten Werte jedoch als Grundlage für Preisfestsetzungen oder andere monetäre Entscheidungen in Mühlen bzw. Verarbeitungsbetrieben dienen, ist eine weitere Verbesserung der Kalibration hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Robustheit erforderlich.

3.4.3.2 Einfluss der Geräte

Aus dem Austausch mit KPM Analytics und VDLUFA sowie den Erfahrungen an der LfL wurde bereits erwartet, dass das NIT-System gegenüber den NIRS-Systemen tendenziell robustere Ergebnisse liefern sollte. Dies ist auf die unterschiedliche physikalische Messgrundlage (Transmission vs. Reflexion) zurückzuführen. Während NIRS typischerweise stärker von Oberflächeneigenschaften beeinflusst wird, ermöglicht NIT eine homogenere Durchdringung des Probenmaterials.

Doch auch Unterschiede im Wellenlängenbereich der einzelnen Geräte haben einen Einfluss auf die Güte der Kalibrationen (vgl. Tabelle 25). Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die eingesetzten Geräte nicht dem aktuellsten technischen Stand entsprechen, was die Modellgüte ebenfalls beeinflussen kann.

Ebenso spielt die Größe des Messbereichs eine Rolle und beeinflusst bspw. die Standardabweichungen zwischen den Wiederholungen und somit die Messperformance des Systems. Das NIRS-LfL hat z. B. ein Messfenster von 25 x 40 mm, während das Messfenster des NIRS-FZD einen kleineren Durchmesser von 19 mm umfasst. Bei beiden Geräten wird durch das Drehen der Probe während der Messung ein insgesamt größerer Messbereich abdeckt.

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor ist die Form der Proben. Unterschiede zwischen Ganzkorn- und Mehlmessungen sowie zwischen Korntypen (z. B. Hartmais-, Zahnmais- und Zwischentypen) beeinflussen die spektrale Variabilität erheblich. Obwohl das zugrundeliegende Datenset eine breite genetische und standörtliche Streuung über mehrere Jahre und Standorte abdeckt, bleibt die Abdeckung der Extrembereiche der Grießausbeute ein kritischer Punkt für die Stabilität der Kalibration.

3.4.3.3 Weitere Aspekte

Für eine Kalibration werden ein Kalibrationsset und ein Validierungsset benötigt. Erfahrungsgemäß sind für eine stabile Kalibration ca. 300 Proben nötig (mündliche Mitteilung Zeiss, LfL-NIRS Labor, Eder J.). Hierbei ist v. a. eine möglichst vollständige Abdeckung des Datenspektrums und insbesondere der Grenzbereiche wichtig. Diese Vorgabe konnte durch die breite Sortenwahl und die große Verfügbarkeit an Proben aus dem Projekt, aber insbesondere auch aus den bayerischen Landessortenversuchen, erfüllt werden. Das spiegelte sich auch in der Gütebewertung der Kalibrationen wider.

Allerdings unterstreichen die Ergebnisse nochmal, dass die Grießausbeute stark umwelt- und standortabhängig ist (siehe auch AP2). Dies erfordert eine kontinuierliche Aktualisierung der Kalibrationsmodelle, um jährliche Schwankungen zuverlässig abzubilden. Eine Erweiterung der Datengrundlage um etwa 20 neue Proben pro Jahr erscheint hierfür sinnvoll und könnte perspektivisch über LSV-Versuche in Bayern umgesetzt werden.

Dies kann einen limitierenden Faktor darstellen. Denn ohne eine gesicherte Finanzierung ist eine langfristige Modelloptimierung nur eingeschränkt möglich, obwohl diese für eine praxisnahe Anwendung im Züchtungs- und Verarbeitungsbereich essenziell ist.

3.4.4 AP4 – Ausblick: Transfer in die Praxis

Nach Abschluss des Vorhabens soll die entwickelte Kalibration allen Akteur*innen der Speisemais-Wertschöpfungskette zur Verfügung stehen. Betriebe, die dasselbe NIRS/NIT-Gerät wie die LfL oder die FZD einsetzen, können die Kalibration (ggf. mit Anpassungen) direkt nutzen. Für Anwender anderer NIRS-Systeme können die erhobenen Grießausbeutedaten zusammen mit den zugehörigen Kornproben bereitgestellt werden,

um die Erstellung gerätespezifischer Kalibrationen zu ermöglichen. Zwar ist in diesem Fall eine eigene Kalibrationsberechnung erforderlich, jedoch können die aufwändigen und kostenintensiven Laboranalysen einer ausreichend großen Probenzahl eingespart werden.

Durch die verfügbaren Kalibrationen an der LfL wird es künftig möglich, die Körnermais-Landessortenversuche standardmäßig mit NIRS/NIT hinsichtlich der Grießausbeute zu untersuchen. Damit wird sowohl für Verarbeitungsbetriebe als auch für landwirtschaftliche Betriebe ein zusätzliches und praxisrelevantes Kriterium zur Beurteilung und Auswahl geeigneter Maissorten verfügbar.

Darüber hinaus bietet die NIRS/NIT-gestützte Bestimmung der Grießausbeute ein erhebliches Potenzial für die Maiszüchtung. Sie ermöglicht die Berücksichtigung der Grießausbeute als Selektionsmerkmal bereits im Zuchtgarten und schafft damit die Voraussetzung, gezielt Sorten und Populationen mit verbesserter Grießausbeute zu entwickeln. Langfristig kann dies dazu beitragen, neue Maissorten mit optimierten Verarbeitungseigenschaften auf den Markt zu bringen.

4 Allgemeine Diskussion

4.1 Versuchsaufbau

Der Verzicht auf eine Prüfung über mehrere Anbaujahre ermöglicht zwar innerhalb der üblichen dreijährigen Projektlaufzeit eine breitere inhaltliche Bearbeitung des Themas (z. B. Screening, Anbauversuche und Inhaltsstoffanalysen). Gleichzeitig besteht dadurch jedoch das Risiko, dass Jahreseffekte und deren Einfluss auf die Ergebnisse nicht ausreichend erfasst werden, insbesondere wenn ein Versuchsjahr durch außergewöhnliche Witterungsbedingungen geprägt ist oder Teilversuche ausfallen.

Im Projekt wurde ein umfangreiches Sortensortiment an fünf Orten in nur einem Jahr geprüft. An zwei Versuchsstandorten konnten die Anforderungen an auswertbare Standardparzellen nicht erfüllt werden. An einem Standort (Bütthard) war der Feldaufgang unzureichend, sodass zwar eine Beerntung möglich war, jedoch keine belastbaren agronomischen Daten erhoben werden konnten. Am Standort Straßmoos zeigte die statistische Auswertung der agronomischen Parameter eine zu hohe, nicht erklärbare Streuung. Dies könnte die Gehalte der Qualitätsparameter beeinflusst haben.

Insofern kann ein Einfluss der auffälligen Versuchsstandorte auf die Inhaltsstoffparameter und die Grießausbeute nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn die vorliegenden Ergebnisse keine eindeutigen Auffälligkeiten erkennen ließen. Zur Absicherung u. a. der fehlenden Jahreseffekte wären weitere Untersuchungen über mehrere Anbaujahre sinnvoll.

Das breite Sortiment stellte eine wesentliche Stärke der Untersuchung dar und ermöglichte eine belastbare Aussage über die Veränderungen der Inhaltsstoffzusammensetzung in Abhängigkeit vom Sortentyp. Die Ergebnisse zeigten, dass es zu Verschiebungen bei den Inhaltsstoffen gekommen ist und insbesondere qualitativ hochwertige Inhaltsstoffe teilweise zurückgegangen sind.

Die große Anzahl der geprüften Sorten ermöglichte zudem eine belastbare Bewertung des züchterischen Potenzials. Durch die breite genetische Basis konnten Unterschiede zwischen den Sorten zuverlässig erfasst und das vorhandene Potenzial für die züchterische Weiterentwicklung fundiert eingeschätzt werden.

4.2 Sorten und Sortentypen

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die untersuchten Speisemaissorten sowohl hinsichtlich ihrer Verarbeitungsqualität als auch ihrer ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften erheblich unterschieden. Dabei konnten systematische Unterschiede zwischen Hybridsorten, Populationen und Landsorten festgestellt werden. Insgesamt bestand ein Zielkonflikt zwischen Ertrag, Verarbeitungseignung und v. a. Inhaltsstoffqualität.

Zusammenfassend zeigte sich eine klare funktionale Aufteilung der Sortentypen:

- Hybridsorten überzeugten durch hohe Kornerträge und hohe Grießerträge pro Hektar, wiesen jedoch meist geringere Gehalte wertgebender Inhaltsstoffe und niedrigere Grießausbeuten auf.
- Landsorten erreichten die höchsten Grießausbeuten sowie die besten ernährungsphysiologischen Eigenschaften und boten zusätzlich eine große sensorische und farbliche Vielfalt, waren jedoch deutlich ertragsschwächer.
- Populationen nahmen eine Zwischenstellung ein und kombinierten teilweise gute Verarbeitungseigenschaften mit erhöhten Inhaltsstoffgehalten.

4.3 Inhaltsstoffe

Die Ergebnisse zeigten einen eindeutigen Einfluss des Zuchtziels „Tierernährung“ auf die Inhaltsstoffzusammensetzung von Mais. In der Folge hatten sich die Inhaltsstoffprofile im Hinblick auf die Humanernährung teilweise verändert und in ihrer ernährungsphysiologischen Wertigkeit reduziert. Vor diesem Hintergrund wurde deutlich, dass die Züchtung stärker auf die Entwicklung hochwertiger und gesundheitsrelevanter Lebensmittel ausgerichtet werden sollte. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer spezifischen Speisemaiszüchtung, bei der Ertrag und ernährungsphysiologische Qualität stärker miteinander verknüpft werden.

Die untersuchten Maissorten zeigten erstmals deutliche Unterschiede zwischen Landsorten und Hybridsorten. Zudem wurde eine erhebliche Variabilität innerhalb der Sortentypen festgestellt. Dies macht eine Sortenbeschreibung für eine geeignete Sortenwahl durch die Praxis nötig und weist auf ein erhebliches züchterisches Potenzial hin, das bislang nur unzureichend genutzt wird.

Bei den Inhaltsstoffen zeigte sich ein klarer Zielkonflikt zwischen Kornertrag und ernährungsphysiologischer Qualität. Hybridsorten waren durch hohe Stärkegehalte und hohe Kornerträge gekennzeichnet, während Landsorten in nahezu allen untersuchten ernährungsphysiologisch relevanten Parametern höhere Werte aufwiesen. Dies betraf insbesondere Protein, Fett, essentielle Aminosäuren, Mineralstoffe sowie verschiedene sekundäre Pflanzenstoffe.

Als besonders ernährungsphysiologisch relevante Inhaltsstoffe wurden Magnesium, Proteine, die Aminosäure Lysin sowie die Carotinoide Lutein und Zeaxanthin und Vitamin E identifiziert.

4.4 Grießausbeute

Die Höhe der Grießausbeute erwies sich als zentraler Parameter für die Verarbeitungsqualität von Speisemais. Werte über 68 % wurden als gut mit einem Maximum bei 75 % eingestuft.

Grundsätzlich erzielten Landsorten die höchsten Grießausbeuten, während Hybridsorten die niedrigsten Werte aufwiesen. Populationen nahmen eine Zwischenstellung ein. Ursache hierfür ist vor allem die unterschiedliche Kornstruktur. Nahezu alle Landsorten gehörten dem Hartmaistyp an und besaßen kurze, breite sowie glasige Körner, die bei der Vermahlung bevorzugt größere Grießpartikel bildeten. Die für Deutschland geeigneten Hybridsorten bestanden dagegen überwiegend aus einer Kreuzung zwischen Hart- und Zahnmaistypen. Sie sind i. d. R. für die Futternutzung und auf hohe Kornerträge und nicht für die Speisemaisverarbeitung gezüchtet worden.

Die Ergebnisse verdeutlichten, dass der Korntyp zwar einen Einfluss auf die Grießausbeute hat, jedoch nicht ausreicht, um die beobachteten Unterschiede vollständig zu erklären. Die erhebliche Variabilität innerhalb der Korntypen offenbarte, dass der Korntyp allein kein ausreichendes Kriterium für die Auswahl griesstarker Sorten darstellte.

Einige moderne Hybridsorten und Populationen erreichten Grießausbeuten auf dem Niveau klassischer Hartmaissorten. Dies zeigte, dass neben dem Korntyp weitere genetische Eigenschaften eine wichtige Rolle spielen.

Außerdem zeigte sich, dass der Standort bzw. die Witterungsbedingungen einen stärkeren Einfluss auf die Grießausbeute hatten als der Korntyp oder die Sortenzugehörigkeit. Dies deutete darauf hin, dass Umweltfaktoren einen wesentlichen Beitrag zur Ausprägung der Verarbeitungsqualität leisten.

Es ist anzunehmen, dass insbesondere ungünstige Standort- und Witterungsbedingungen während der Phase der Kolben- und Kornreihenanlage sowie während der Kornfüllung zu einer verminderten Kornqualität führen. Unter Stressbedingungen wird die Versorgung und Entwicklung des Embryos priorisiert, was die Einlagerung und Zusammensetzung der Reservestoffe im Korn beeinflussen könnte.

Wie sich die Stärkefraktionen Amylose und Amylopektin unter unterschiedlichen Standort- und Witterungsbedingungen verändern und welchen Einfluss diese Veränderungen auf die Grießausbeute haben, wurde im Rahmen dieser Untersuchung nicht erfasst. Da hier ein möglicher Zusammenhang besteht, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich, um die zugrunde liegenden Mechanismen besser zu verstehen und deren Bedeutung für die Grießausbeute zu quantifizieren.

Bemerkenswert ist, dass die Verarbeitungsunternehmen die Grießausbeute übereinstimmend als zentrales Qualitätsmerkmal einstufen, jedoch keine einheitliche oder standardisierte Methode zu deren Bestimmung verwendeten. Stattdessen kamen betriebsindividuelle Verfahren zum Einsatz, wodurch eine objektive und vergleichbare Einstufung und Vergleichbarkeit nicht oder nur eingeschränkt möglich war.

Ebenso überraschend war das Fehlen einer klar definierten Messvorschrift zur Bestimmung der Grießausbeute sowie das Fehlen von Analyselaboren in Deutschland, die sie bestimmen können. Dies lässt sich vor allem durch die technischen Anforderungen erklären: Mais ist deutlich härter als übliches Getreide und lässt sich in herkömmlichen Getreidemöhlen, einschließlich Laboranlagen, nur unzureichend vermahlen. Gleichzeitig war und ist die Nachfrage nach einer solchen Analytik vergleichsweise gering, sodass Investitionen in entsprechende technische Einrichtungen wirtschaftlich bislang nicht interessant waren. Dies gilt sowohl für die Forschung als auch für die angewandte Praxis. In der Konsequenz griffen sowohl Praxis als auch Wissenschaft auf Ersatz- bzw. Hilfsmethoden zurück.

Dadurch entstand eine Situation, in der die Beurteilung der Sortenleistung mit Unsicherheiten behaftet war und Sorten nur eingeschränkt zuverlässig bewertet werden konnten. Dies trägt dazu bei, dass Mais im Vergleich zu anderen Getreidearten in der Sorten- und Qualitätsbewertung an Bedeutung verliert. Für Verarbeitungsunternehmen, deren Kerngeschäft nicht primär auf Mais ausgerichtet ist, sondern die Mais lediglich zur vollständigen Abdeckung ihres Getreidespektrums einsetzen, führte dies dazu, dass verstärkt auf importierte Rohware zurückgegriffen wird, anstatt heimische Produktionssysteme gezielt weiterzuentwickeln und auszubauen.

Insofern war es von großer Bedeutung, eine einfache, schnelle, zuverlässige und kostengünstige Methode für das Merkmal Grießausbeute auf Basis des ganzen Korns zu entwickeln, bei der die fehlende spezielle Mahltechnik für Mais sowie der zeit- und personalintensiven Vermahlungsschritt umgangen werden können.

Die dazu verwendete NIRS/NIT-Methodik ist eine etablierte und anerkannte Analysemethode zur Bestimmung zahlreicher Inhaltsstoffe in der landwirtschaftlichen Primärproduktion. Die entwickelten Kalibrationen für die beiden Geräte der Antragsteller erwiesen eine ausreichend hohe Aussagegenauigkeit.

Als Ergebnis des Vorhabens ist vorgesehen, die Landessortenversuche für Körnermais in Bayern künftig zusätzlich um das Merkmal Grießausbeute zu erweitern, um damit eine verbesserte und differenziertere Sortenwahl zu ermöglichen.

Einschränkungen in der Anwendung der Kalibration ergeben sich daraus, dass diese kontinuierlich weiterentwickelt werden muss und gerätespezifische Anpassungen erforderlich sind. Vor diesem Hintergrund werden die im Projekt gesammelten Maisproben sowie die zugehörigen Grießausbeutedaten zur Verfügung gestellt, um die Kalibration für NIRS-Geräte weiter aufzubauen und zu verbessern.

Langfristig wäre zudem eine bundesweite amtliche Sortenbewertung für Speisemais wünschenswert, vergleichbar mit den bestehenden Landessortenversuchen im Bereich der Tierernährung.

4.5 Sensorik

Die sensorischen Untersuchungen zeigten eine überraschend große geschmackliche Vielfalt. Entgegen der häufigen Wahrnehmung von Mais als geschmacklich eher neutral konnten zahlreiche unterschiedliche Aroma- und Geschmacksattribute identifiziert werden.

Ein eindeutiger Einfluss des Sortentyps auf die Sensorik konnte jedoch nur teilweise nachgewiesen werden. Landsorten waren nicht grundsätzlich geschmacklich vielfältiger als Hybridsorten.

Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass die höheren Gehalte an Proteinen, Fetten, Aminosäuren, Mineralstoffen und sekundären Pflanzenstoffen bei Landsorten zumindest teilweise zur größeren sensorischen Diversität beitragen könnten. Besonders interessant war der Einfluss des Keimlings.

Dies spricht dafür, dass viele geschmacksrelevante Inhaltsstoffe im ölreichen Keimling lokalisiert sind. Auch die Kornfarbe könnte einen Einfluss auf die Sensorik besitzen. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kornfarbe und Geschmack konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass Mais ein deutlich größeres sensorisches Potenzial besitzt als bisher angenommen. Für die Entwicklung hochwertiger Speisemaisprodukte erscheint es daher sinnvoll, sensorische Eigenschaften künftig stärker in die Sortenbewertung einzubeziehen.

Dazu sollten allerdings deutlich mehr sensorische Prüfungen mit Maissorten durchgeführt werden. Die hier erzielten Ergebnisse stellen nur erste Hinweise und Tendenzen dar. Die Stichprobe war viel zu gering, um belastbare, allgemeingültige Aussagen zu machen.

4.6 Züchtung

Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass die Entwicklung leistungsfähiger Speisemaissorten eine eigenständige Züchtungsrichtung erfordert. Die Nutzung von Sorten, die primär für die Fütterung von Nutztieren entwickelt wurden, erscheint vor dem Hintergrund der Ernährungssicherung und der Anforderungen an hochwertige Lebensmittel nur eingeschränkt geeignet.

Insgesamt wiesen Landsorten die größte Vielfalt an Inhaltsstoffen sowie eine ausgeprägte Farbdiversität auf, bei hohen Grießausbeuten. Damit besitzen sie nicht nur ernährungsphysiologische Vorteile, sondern stellen auch eine wertvolle genetische Ressource für zukünftige Speisemaiszuchtprogramme dar.

Im Vordergrund sollte dabei nicht allein der Ertrag, sondern insbesondere die ernährungsphysiologische Qualität der Inhaltsstoffe stehen.

Die vorliegenden Daten bilden eine solide Grundlage für den Aufbau eines neuen Zuchtprogramms. Zur Erzielung hoher Grießausbeuten erscheint der Aufbau eines Flint-x-Flint-Genpools sinnvoll, aus dem heraus Sorten mit ausgeprägtem Hartmaistyp entwickelt werden können. Vor dem Hintergrund der möglichen Weiterentwicklung neuer Züchtungstechnologien (Genschere) besteht hierbei ein gewisser zeitlicher Handlungsdruck.

Zentral ist dabei die Auswahl von Genotypen mit hohen Gehalten an ernährungsphysiologisch relevanten Inhaltsstoffen. Grundsätzlich eignen sich alle Sortentypen für einen Genpoolaufbau. Landsorten mit deutlich geringerer agronomischer Leistung, aber spezifisch wertvollen Eigenschaften, sollten gezielt in Kreuzungsprogramme eingebunden werden.

Besonderes Augenmerk sollte auf den Proteingehalt gelegt werden. Dieser ist für die Ernährung von hoher Bedeutung, da pflanzliche Proteine einer wachsenden Nachfrage unterliegen und deren Bereitstellung außerhalb legumer Kulturen eine zusätzliche Chance darstellt. Mais weist im Vergleich zu vielen anderen Kulturarten bereits relativ stabile Proteingehalte von bis zu etwa 12 % auf. „Quality Protein Maize“ erreicht darüber hinaus Proteingehalte von bis zu etwa 15 % und kann in Kombination mit der hohen Flächenleistung des Maises insbesondere für den Speisemarkt von Bedeutung sein.

Darüber hinaus sind die für Mais spezifischen Inhaltsstoffe wie Zeaxanthin und Lutein von Interesse. Weitere wichtige Kornmerkmale wie Tausendkornmasse, Kornfarbe, Bruchkornanteil sowie die Ausprägung des „Black Layers“ sollten ebenfalls in die züchterische Bewertung einbezogen werden.

Die Entwicklung von Speisemaissorten kann insbesondere der ökologischen Pflanzenzüchtung und mittelständischen Züchtungsunternehmen neue Chancen bieten.

4.7 Verarbeitung

In der Verarbeitungsbranche besteht derzeit nur ein begrenztes Bewusstsein für das Potenzial, welches unterschiedliche Maissorten hinsichtlich ihrer technologischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften bieten. Neben Grießausbeute, Ertrag und DON-Belastung spielten weitere verarbeitungstechnische Merkmale wie Kornfarbe, Bruchkornanteil, Tausendkornmasse sowie Inhaltsstoffe bislang eine untergeordnete Rolle, obwohl sie für die Produktqualität relevant sein können. Dadurch werden potenzielle Chancen für die Entwicklung wertvoller Lebensmittel nur teilweise genutzt.

Vor diesem Hintergrund erscheint eine engere Vernetzung zwischen Forschung und Verarbeitung sinnvoll, um die relevanten Qualitätsparameter besser in die Produktentwicklung zu integrieren.

Aus den Rückmeldungen der Verarbeitungsunternehmen wird zudem deutlich, dass Mais häufig noch mit traditionellen Assoziationen verbunden ist („einfaches Grundnahrungsmittel“, „Arme-Leute-Essen“) und teilweise als geschmacklich wenig attraktiv wahrgenommen wird. Zudem fehlen vielfach etablierte Esstraditionen und eine entsprechende kulinarische Fantasie im Umgang mit Maisprodukten. Hier besteht ein erhebliches Potenzial zur Weiterentwicklung und Neupositionierung.

Eine stärkere Diversifizierung und moderne Interpretation von Maisgerichten könnte einen wichtigen Beitrag zur Imageentwicklung leisten. Dabei könnten insbesondere innovative Produkte und neue Kornfarben als Impulsgeber dienen, während eine rein traditionelle Fokussierung (z. B. auf klassische Polentagerichte) allein vermutlich nicht ausreicht, um eine breite Marktverankerung zu erreichen.

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt ist die stärkere Integration von Speisemais in Außer-Haus-Verpflegungssysteme, Sportveranstaltungen und die gehobene Gastronomie. Dadurch ließe sich die Bekanntheit erhöhen und die Nachahmung sowie Zubereitung im privaten Bereich fördern. Ein erfolgreiches Beispiel hierfür ist der „Rheintaler Ribel“ aus der Schweiz, der sich durch gezielte Positionierung und Präsenz in öffentlichen Kontexten etabliert hat.

Grundsätzlich gilt, dass zwar Obst und Gemüse in vielen Fällen höhere Gehalte an gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffen aufweisen, deren Produktion jedoch häufig mit höherem Wasser- und Energieaufwand verbunden ist. Vor diesem Hintergrund sollte das Ziel sein, auch über Grundnahrungsmittel eine möglichst hohe ernährungsphysiologische Wertigkeit in die Ernährung zu integrieren. Dazu gehört insbesondere die Vollkornnutzung mit Keimling, die in der Produktentwicklung und Verarbeitung berücksichtigt werden sollte.

4.8 Offene Forschungsfragen und zukünftiger Untersuchungsbedarf

Mehrere Aspekte der Speisemaissqualität sind nicht im Projekt und bislang generell nur unzureichend untersucht und stellen relevante Ansatzpunkte für zukünftige Forschung und Züchtung dar.

Ein wesentlicher offener Punkt betrifft das Verhältnis von Amylose zu Amylopektin. Diese Stärkefraktionen könnten einen entscheidenden Einfluss auf die Eignung von Sorten für die Speisennutzung haben, insbesondere im Bereich von Frischprodukten. Hier bestehen deutliche Wissenslücken hinsichtlich der sortenspezifischen Unterschiede und deren Bedeutung für Verarbeitung und Frischhaltevermögen.

Ein stärkerer Fokus sollte zukünftig auf Carotinoide und Anthocyane gelegt werden. Dazu sind farblich fokussierte Sortimente (Fokus auf orange, rote, blau-violette Maisformen) nötig. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit bestimmte Farbpigmente mit erhöhten Gehalten an gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffen korrelieren.

Zusätzlich sollten Genotypen analysiert werden und ggf. in die Züchtung integriert werden, deren komplettes Endosperm eine Färbung aufweist. Dies könnte nicht nur Auswirkungen auf Inhaltsstoffprofile und sensorische

Eigenschaften haben, sondern auch auf Pflanzengesundheit und Marktakzeptanz. Hier eröffnen sich insbesondere Potenziale für Nischenprodukte, Spezialsortimente und neue Lebensmittelinnovationen.

Ähnliches gilt für Zeaxanthin, das nur in Mais in vergleichsweise hohen Konzentrationen vorkommt. Die gezielte Identifikation von Genotypen mit hohen Gehalten sowie deren Einkreuzung in aktuelles Sortenmaterial sollte künftig verfolgt werden.

Das gilt in gleicher Weise auch für Mineralstoffe wie Calcium und Eisen. Vor dem Hintergrund sich verändernder Ernährungsgewohnheiten – etwa eines rückläufigen Konsums von Milch- und Fleischprodukten – gewinnt die gezielte Anreicherung pflanzlicher Grundnahrungsmittel mit diesen Nährstoffen zunehmend an Bedeutung.

High-Protein-Sorten stellen einen weiteren interessanten Ansatz dar, insbesondere im Kontext der Speisemaisverarbeitung. Hier existieren bereits züchterische Ansätze, die darauf hinweisen, dass pflanzliche Proteine möglicherweise eine gute Verträglichkeit für den Menschen aufweisen können und weiter untersucht werden sollten.

5 Verwertungsplan

Das Kernziel des Vorhabens bestand darin, Kenntnislücken zur Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais aus lokaler, ökologischer Erzeugung zu schließen. Damit wurden Voraussetzungen für die Verbesserung der Verfügbarkeit und der Qualität von lokal erzeugtem, ökologischem Speisemais und den zugehörigen Sorten geschaffen. Nach Abschluss des Vorhabens liegen nun erstmals Ergebnisse hinsichtlich der Speisemaistauglichkeit zu den in Deutschland angebauten und relevanten Maissorten und -populationen sowie zu zahlreichen Landsorten vor. Die Ergebnisse hinsichtlich der Tauglichkeit der Sortentypen, die eindeutigen Unterschiede in den Inhaltsstoffen sowie die Angaben zur Grießausbeute ermöglichen es, Anbau sowie der Weiterverarbeitung nun gezielt Sorten auszuwählen, die für den Anbau zur Speisemaisnutzung besonders geeignet sind.

Die Wissenslücke zu Inhaltsstoffen und Grießausbeuten sowie zu den Anforderungen von Seiten der Verarbeitung konnte geschlossen werden. Beispielsweise wurde im Austausch mit Verarbeitungsbetrieben deutlich, dass die Grießausbeute einen der wichtigsten Qualitätsparameter für die Speisemaisverarbeitung darstellt. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen erstmals eine fundierte Bewertung von Speisemaissorten hinsichtlich dieses Parameters sowie weiterer qualitätsrelevanter Eigenschaften. Folglich konnte ein konkretes Anforderungsprofil für Speisemais erstellt werden, das künftig für die Sortenwahl eingesetzt werden kann.

Die neu entwickelte NIRS/NIT-Kalibration für Grießausbeute, gemessen am ganzen Korn, kann von Verarbeitungsbetrieben direkt zur Prüfung von Rohstoffchargen, aber auch durch die Landesanstalten für die Sortenprüfung und Bewertung neuer Sorten verwendet werden. Sie wurde allen Kooperationspartnern und den Landesanstalten bekannt gemacht und vorgestellt. Darüber hinaus eröffnet die Kalibration vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Züchtung zur gezielten Selektion auf hohe Grießausbeuten.

Der intensive Wissenstransfer in die Mais verarbeitende Praxis u. a. durch die verschiedenen Workshops (vor allem den Abschlussworkshop), durch Vorträge, Publikationen, Feldtage, Fachtagungen und Messeauftritte sowie die Internetauftritte der Projektpartner stellte sicher, dass die Ergebnisse bekannt werden und in Anwendung kommen. Alle Informationen und Erkenntnisse aus dem Projekt sind öffentlich zugänglich und stehen damit dauerhaft für Forschung, Beratung, Züchtung und Praxis zur Verfügung.

Die im Projekt erarbeiteten Empfehlungen von Maissorten und Sortentypen für die Verarbeitung zu Speisemais in der Trockenmüllerei und den regionalen Anbau unterstützen Landwirt*innen, Verarbeiter*innen und Berater*innen bei der Sortenwahl. Die Qualität von Rohstoffen und Produkten kann dadurch verbessert und die Erträge im Anbau sowie die Ausbeute bei der Verarbeitung gesteigert werden.

Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse schaffen zudem die Grundlage für eine verbesserte Abstimmung von Anbau und Verarbeitung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Durch die Identifizierung und Charakterisierung geeigneter Sorten können Rohstoffqualität und Verarbeitungseignung gezielter berücksichtigt

werden. Die erweiterten Kenntnisse zu den ernährungsphysiologischen Eigenschaften verschiedener Speisemaissorten eröffnen darüber hinaus Potenziale für die Entwicklung qualitativ hochwertiger und ernährungsphysiologisch attraktiver Lebensmittel sowie die Erschließung neuer Marktsegmente im Bereich regional erzeugter und ökologischer Speisemaisprodukte.

5.1 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten und Wissenstransfer

Die im Vorhaben erzielten Ergebnisse liefern wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten für die Forschung, Züchtung, Verarbeitung und Nutzung von Speisemais im ökologischen Landbau in Deutschland. Insbesondere die Erkenntnisse zu Qualitätsparametern, welche die Speisemaiseignung von Sorten im Hinblick auf die Verarbeitungs- und Ernährungsqualitätseigenschaften charakterisieren, die Methodik der Gewichtung der Parameter für eine umfassende Bewertung der Speisemaiseignung sowie der Vergleich der Eigenschaften der Sortentypen (Hybride, Landsorten und Populationen) sind von großem Interesse für Wissenschaft und Züchtungsforschung.

Die Ergebnisse des Sortenscreenings zeigten für zahlreiche Qualitätsparameter signifikante Unterschiede sowohl zwischen den einzelnen Genotypen als auch zwischen den verschiedenen Sortentypen. Insbesondere Landsorten wiesen bei verschiedenen Inhaltsstoffen häufig höhere Gehalte auf als moderne Hybridsorten. Daraus ergeben sich wertvolle Ansatzpunkte für die Züchtung neuer Speisemaissorten mit verbesserten ernährungsphysiologischen Eigenschaften. Die historischen Landsorten mit ihren höheren Gehalten an wertgebenden Inhaltsstoffen können gezielt für den Aufbau eines verbesserten Genpools für Speisemais herangezogen werden. Eine Sorten-/Genotypwahl hinsichtlich der Höhe der Inhaltsstoffe ist erstmalig möglich. Kurzfristig können die gewonnenen Erkenntnisse zu Qualitätseigenschaften, Inhaltsstoffen und Verarbeitungseigenschaften der untersuchten Sorten und Populationen von landwirtschaftlichen Betrieben, Verarbeitungsunternehmen sowie Beratungs- und Forschungseinrichtungen genutzt werden. Die Ergebnisse ermöglichen eine fundiertere Sortenwahl und eine bessere Bewertung der Eignung von Speisemais für unterschiedliche Verarbeitungszwecke und Qualitätsanforderungen.

Auch für den relativ neuen Sortentyp Populationen/Ökologisches Heterogenes Material (ÖHM) gab es bislang keine Untersuchungen in diese Richtung. Hier bereits eine Aussage auf Speisemaistauglichkeit machen zu können, erhöht die Anwendungsbereiche des Sortentyps. Das ist sowohl für Züchtung, Vermehrungsbetriebe und Landwirt*innen von Bedeutung.

Beim vorliegenden Projekt handelt es sich um ein Vorhaben der praxisorientierten Forschung. Alle Ergebnisse werden frei öffentlich zugänglich gemacht. Die Projektergebnisse werden in Fachzeitschriften publiziert und auf Tagungen präsentiert, ergänzt mit dem Einstellen der Beschreibung des Vorhabens und der Ergebnisse auf der Internetplattform ‚Organic Eprints‘ sowie auf Internetauftritten der Kooperationspartner und der gemeinsamen Webseite (www.maispopulationen.org). In AP3 wurden Workshops mit den Kooperationspartnern und weiteren Akteur*innen der Wertschöpfungskette durchgeführt. Durch diesen Austausch wird der Wissenstransfer in die Praxis gesichert. Zusätzlich wird für die kompakte Darstellung praxisrelevanter Projektergebnisse ein Merkblatt (nach BLE Vorlage) erstellt.

Die Projektergebnisse können darüber hinaus in Beratungsangebote, Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie in Netzwerke des ökologischen Landbaus und der ökologischen Pflanzenzüchtung einfließen. Die im Projekt aufgebaute Zusammenarbeit mit Verarbeitungsbetrieben bildet eine wichtige Grundlage für den weiteren Wissenstransfer und die nachhaltige Nutzung der Projektergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus.

5.2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Projektergebnisse bieten eine solide Basis für wissenschaftliche Vertiefung und wirtschaftliche Nutzung. Insbesondere die Kombination aus genetischem Potenzial, analytischen Befunden zu Inhaltsstoffen und ersten sensorischen Hinweisen erlaubt eine zielgerichtete Züchtung hin zu ernährungsrelevanten Maissorten. Die verfügbaren Daten zu Genotypen, ersten Inhaltsstoffen und sensorischen Eigenschaften bieten eine gute Grundlage für gezielte weiterführende Forschungsarbeiten.

Aufbauend auf den Projektergebnissen kann die (ökologische) Züchtung nun beginnen, einen Genpool für die Nutzung von Genotypen für die Speisemaisnutzung und Humanernährung aufzubauen. Vor allem die Ergebnisse

zu Inhaltsstoffen ermöglichen eine gezielte Züchtung auf ernährungsrelevante Inhaltsstoffe. Auch die umfangreichen Daten zur Grießausbeute, Erkenntnisse zur Grießausbeutebestimmung und die nun verfügbare NIRS/NIT-Kalibration ermöglichen eine gezielte Züchtung für verbesserte Verarbeitungsqualität von Speisemais.

Die im Projekt erarbeiteten Sortenbewertungen und Kenntnisse zum Anforderungsprofil von Speisemais in der Trockenmüllerei schaffen zudem die Grundlage für gezielte neue Vorhaben, Screeningprogramme und die Entwicklung neuer Speisemaissorten. Durch die Kombination von Verarbeitungsqualität, Grießausbeute und ernährungsphysiologischen Merkmalen können künftig Sorten entwickelt werden, die den Anforderungen von Anbau, Verarbeitung und Verbrauchern gleichermaßen entsprechen.

Ein wichtiger nächster Entwicklungsschritt besteht in der Weiterentwicklung und kontinuierlichen Aktualisierung der NIRS/NIT-Kalibrationen. Durch die Integration zusätzlicher Referenzdaten aus zukünftigen Sortenprüfungen und Landessortenversuchen kann die Robustheit und Vorhersagegenauigkeit der Modelle weiter verbessert werden. Dies schafft die Voraussetzungen für eine breitere routinemäßige Anwendung in Züchtung, Sortenprüfung und Verarbeitung.

Darüber hinaus eröffnet die entwickelte Kalibration zur Bestimmung der Grießausbeute die Möglichkeit, die Grießausbeute künftig als festen Qualitätsparameter in Landessortenversuchen zu etablieren. Informationen zur Verarbeitungseignung könnten dadurch systematisch erfasst und für Landwirtschaft, Züchtung und Verarbeitung verfügbar gemacht werden. Dies würde die Auswahl geeigneter Sorten erleichtern und die Ausrichtung der Züchtung auf verarbeitungsrelevante Qualitätsmerkmale stärken.

Wirtschaftlich können die Projektergebnisse zur Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten beitragen. Die verbesserte Verfügbarkeit von Informationen zur Rohstoffqualität unterstützt die Zusammenarbeit zwischen Züchtung, Landwirtschaft und Verarbeitung und ermöglicht eine effizientere Rohstoffauswahl. Langfristig können dadurch die Wertschöpfung sowie die Wettbewerbsfähigkeit regional erzeugter ökologischer Speisemaisprodukte gesteigert werden.

Da sämtliche Projektergebnisse öffentlich zugänglich gemacht werden, entstehen keine Wettbewerbsvorteile für einzelne Unternehmen oder Betriebe. Die Ergebnisse stehen vielmehr der gesamten Wertschöpfungskette, der Forschung, Beratung, Züchtung sowie der landwirtschaftlichen Praxis gleichermaßen zur Verfügung.

Für die Zukunft sollte das Thema langsam abbauende Kohlenhydrate, resistente Stärke und ihr Beitrag zur Gesundheit (Sättigung, Blutzucker, Mikrobiom im Darm) stärker in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen rücken. Mais könnte hier eine wichtige Rolle in der gesunden Ernährung spielen und die vorliegenden Daten eine erste Grundlage liefern.

Die sensorischen Prüfungen von Maismehl und Polenta stellen erste sehr interessante Ergebnisse dar, die unbedingt vertieft werden müssen, um belastbare und sichere Rückschlüsse von Geschmack auf einzelne Sorten(-typen) machen zu können. Hier sollte besonders die Methodenentwicklung eine besondere Berücksichtigung finden.

Die in Deutschland geeigneten und im Vorhaben untersuchten Maissorten weisen unterschiedliche Kornfarben auf – jedoch nur in der Kornhülle, nicht im Endosperm. Die Ergebnisse zeigten keinen Einfluss der Farbe auf Geschmack oder Inhaltsstoffe. Dies könnte aber bei Genotypen, deren Endosperm auch gefärbt ist, anders sein. Eine weiterführende wissenschaftliche Untersuchung könnte hier neue Erkenntnisse liefern und Ansatzpunkte für Produktentwicklungen sowie ernährungsphysiologische Bewertungen schaffen.

Wirtschaftlich bestehen vielversprechende Marktchancen (Nischenmärkte für glutenfreie Produkte, funktionelle Lebensmittel, verarbeitende Industrie), jedoch sind weitere Nachweise nötig, um Health Claims auszuweisen.

Insbesondere für die Versorgungssicherheit ist Mais aufgrund seiner hohen Ertragsfähigkeit und seiner guten Anpassung an die Boden- und Klimaverhältnisse Deutschlands und bei Extremwetterlagen von großer Bedeutung.

6 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Das Kernziel des Vorhabens bestand darin, Kenntnislücken zur Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais aus lokaler, ökologischer Erzeugung zu schließen. In insgesamt vier Arbeitspaketen wurde (1) der Ist-Zustand der ökologischen Speisemaisverarbeitung in Deutschland erfasst sowie ein Anforderungsprofil erstellt, (2) umfangreiche Sortenscreenings zu agronomischen Eigenschaften sowie Ernährungs- und Verarbeitungsqualität durchgeführt, (3) ein Schwerpunkt auf den Wissenstransfer in die Praxis entlang der Wertschöpfungskette gelegt und (4) eine NIRS/NIT-Kalibration für Grießausbeutebestimmung am ganzen Korn entwickelt. Im Folgenden werden die jeweiligen geplanten und erreichten Ziele gegliedert nach Arbeitspaket gegenübergestellt.

6.1 Arbeitspaket 1 – Anforderungsprofil

Geplantes Ziel: Ausarbeiten eines Anforderungsprofils für lokal in Deutschland unter ökologischen Anbaubedingungen erzeugten Speisemais in Zusammenarbeit mit der Wertschöpfungskette (Züchtung, Anbau, Verarbeitung und Vermarktung). Das Profil umfasst Kriterien an gesundheitsrelevante Inhaltsstoffe, Verarbeitungsqualität sowie agronomische Eigenschaften der Sorten (Verantwortlich FZD).

Erreichtes Ziel: AP1 konnte planmäßig umgesetzt und das Anforderungsprofil erstellt werden. Der Austausch mit Mais verarbeitenden Unternehmen wurde erweitert durch eine Exkursion nach Österreich und Südtirol, um vor Ort verschiedene ökologisch produzierten Mais (Landsorten, Hybridsorten) verarbeitende Betriebe zu besichtigen. Im Austausch mit den Verarbeitungsbetrieben wurde zudem deutlich, dass sowohl Grießausbeute einen der wichtigsten Parameter für die Speisemaisverarbeitung darstellt, als auch Ernährungsphysiologische Inhaltsstoffe oder Geschmack nicht berücksichtigt werden. Beide Parameter wurden in das umfangreiche Sortenscreening aufgenommen (siehe AP2).

6.2 Arbeitspaket 2 – Qualitätsanalysen und Screening

Geplantes Ziel: Qualitätsanalysen und Screening einer breiten Auswahl von Sorten und Sortentypen (Populationen, Land- und Hybridsorten) in Bezug auf die Kriterien des Anforderungsprofils. Unterschiede in der Verarbeitungs- und Ernährungsqualität sollen sowohl zwischen Sorten als auch zwischen den Sortentypen ermittelt werden. Basierend auf den Ergebnissen sollen Sortenempfehlungen für den heimischen Anbau für Landwirt*innen, Verarbeiter*innen und Züchter*innen gegeben werden (Verantwortlich LfL).

Erreichtes Ziel: Sowohl das Sortenscreening und die Anbauversuche konnten wie vorgesehen durchgeführt werden, obwohl ein Standort nicht erntbar war. Auch die darauf aufbauenden Qualitätsanalysen konnten wie geplant durchgeführt werden.

Die Ergebnisse des Sortenscreenings zeigten je nach Parameter signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Genotypen als auch zwischen den verschiedenen Sortentypen (Hybrid-, Landsorten und Populationen). Hier liegt ein großes Potenzial für die Speisemaisverarbeitung, durch die Wahl passender Sorten (ernährungs-) qualitativ hochwertige Maisprodukte zu erstellen. Basierend auf den erarbeiteten Ergebnissen können erste Sortenempfehlungen für Anbau und Verarbeitung gegeben bzw. gezielte Sortenwahlen getroffen werden. Gerade bei den Inhaltsstoffanalysen schnitten die Landsorten häufig deutlich besser ab als die modernen Hybridsorten. Auch hier wird ein großes Potenzial für die Maiszüchtung deutlich: Durch gezielte Selektion auf diese Parameter können in Zukunft verbesserte Sorten für die Verarbeitung zur Verfügung stehen.

Nachträglich aufgenommen wurde ein Methodenvergleich zur Bestimmung der Grießausbeute. Dieser war nötig, nachdem sich herausstellte, dass es für Mais keine eindeutige Messvorschrift gibt und die für Weizengrieß nicht auf Maisgrieß übertragbar ist. Zudem stellte sich heraus, dass es in Deutschland keine Mühlen oder Labore gibt, die Grießausbeutewerte von kleinen Proben bestimmen können. Die Ergebnisse lieferten eindeutige Empfehlungen zur Eignung der geprüften Methoden. Und führten dazu, die Erstellung einer NIRS/NIT-Kalibration für Grießausbeute am ganzen Korn in das Vorhaben mit aufzunehmen (siehe AP 4).

Aus den Ergebnissen von AP1 wurde die unterschätzte Rolle des Geschmacks als ein wichtiges Kriterium für die Akzeptanz deutlich. Daher wurde das Vorhaben um eine sensorische Prüfung erweitert, die zeigen sollte, ob es Unterschiede in der Sensorik zwischen Sortentypen gibt. Die Ergebnisse liefern erste Grundlagen zu Geschmacksattributen von den untersuchten Maissorten. Weitere Untersuchungen sind unbedingt nötig, um den Einfluss auf den Geschmack und die Textur zu konkretisieren.

6.3 Arbeitspaket 3 – Wissenstransfer in die Praxis

Geplantes Ziel: Darstellung und Verwertung der in AP1 und 2 erarbeiteten Ergebnisse und Empfehlungen, Wissenstransfer mittels Publikationen, Beiträgen zu Tagungen und Feldtagen sowie Workshops für die Zielgruppen Verarbeitung und Handel, ökologische und konventionelle Landwirtschaft sowie ökologische Züchtung, Wissenschaft und Forschung, mit dem Ziel den Anbau von Speisemais in Deutschland zu fördern (Verantwortlich LfL, FZD).

Erreichtes Ziel: Der Wissenstransfer bildete einen großen Schwerpunkt im Vorhaben in die maisanbauende und -verarbeitende Praxis entlang der Wertschöpfungskette sowie in Forschung und Züchtung und konnte erfolgreich im Rahmen von AP3 umgesetzt werden. Konkret konnten Veröffentlichungen, Beiträge auf Fachtagungen, Feldtage, Messestände und Workshops realisiert werden (vgl. Tabelle 22 in Abschnitt 3.3 für eine Übersicht des durchgeführten Wissenstransfers).

6.4 Arbeitspaket 4 – NIRS/NIT-Kalibration

Geplantes Ziel: Entwicklung einer Ganzkorn NIRS-Kalibration für das Merkmal Grießausbeute (Aufstockung) (Verantwortlich FZD, LfL). Dieses AP wurde neu aufgenommen und beantragt, da die Ergebnisse aus AP1 deutlich zeigten, dass es einen dringenden Bedarf an einer einfachen und verlässlichen Messmethode für Grießausbeute gibt.

Erreichtes Ziel: Im Rahmen des nachträglich beantragten AP4 konnte eine NIRS/NIT-Kalibration für das NIRS- (Spectra Star RTW 2500 X) und das NIT-Gerät (Infratec NOVA) der LfL sowie für das NIRS-Gerät (Zeiss Corona) der FZD berechnet werden. Alle drei Kalibrationsmodelle zeigen zufriedenstellende Korrelationen mit den Referenzwerten und können zukünftig auf verschiedenen Ebenen eingesetzt werden, bspw. in der Züchtung zur gezielten Selektion auf hohe Grießausbeuten, in den Landessortenversuchen, zur Einstufung/Empfehlung der neusten Sorten auf dem Markt oder in Mühlen und verarbeitenden Betrieben zur Qualitätsprüfung von Chargen. Außerdem können die Proben der Kalibrations- und Validierungssets sowie die entsprechenden Referenzwerte Interessent*innen entlang der Wertschöpfungskette zur Verfügung gestellt werden, um eigene Kalibrationsmodelle für ihre NIRS/NIT-Geräte vor Ort zu entwickeln.

7 Zusammenfassung

In Deutschland wird Mais für die Verarbeitung in der Trockenmüllerei zu Produkten wie Polenta-Grieß, Cornflakes, Gebäck, Snacks und diätetischen Erzeugnissen vor allem im Biobereich überwiegend importiert, obwohl in Deutschland auf 500.000 ha Körnermais angebaut wird und die Nachfrage nach glutenfreien Produkten kontinuierlich steigt.

Gründe liegen in der fehlenden Infrastruktur und im fehlenden spezifischen Sorten Know-how. Die Vielfalt der Maissorten und deren für die Verwertung relevanten Eigenschaften — etwa Korntyp, Kornfarbe, Inhaltsstoffprofile und verarbeitungstechnische Parameter sowie Geschmack — sind in der Verarbeitungsbranche und der landwirtschaftlichen Praxis weitgehend unbekannt und werden deshalb nur unzureichend genutzt.

Ziel des Projektes war es, diese Kenntnislücken zu Verarbeitungs- und Ernährungsqualität von Speisemais zu schließen, um den heimischen Speisemaisanbau zu stärken. Dazu wurde gemeinsam mit Akteur*innen der gesamten Wertschöpfungskette ein Anforderungsprofil für Speisemais erarbeitet und eine breite Auswahl an Landsorten, Hybridsorten und Populationen hinsichtlich ihrer Verarbeitungs-, Ernährungs- und Geschmackseigenschaften untersucht. Auf dieser Grundlage wurden praxisnahe Sortenempfehlungen für Landwirtschaft, Verarbeitung und Züchtung abgeleitet. Zusätzlich wurde eine NIRS/NIT-Kalibration zur Bestimmung der Grießausbeute entwickelt.

Das Projekt wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) gemeinsam mit dem Projektpartner Forschung & Züchtung Dottenfelderhof (FZD) sowie zahlreichen Kooperationspartnern aus Verarbeitung, Handel, Wissenschaft und Züchtung in vier Arbeitspaketen (AP) umgesetzt:

(AP1) Ausarbeiten eines Anforderungsprofils für Speisemais in Zusammenarbeit mit der Wertschöpfungskette.

(AP2) Screening (90 Sorten) und Qualitätsanalysen (40 Sorten) einer breiten Auswahl von Sorten und Sortentypen (Populationen, Land- und Hybridsorten) in Bezug auf die Kriterien des Anforderungsprofils. Basierend auf den Ergebnissen sollen Sortenempfehlungen für den heimischen Anbau für Landwirt*innen, Verarbeiter*innen und Züchter*innen gegeben werden.

(AP3) Darstellung und Verwertung der in AP1 und 2 erarbeiteten Ergebnisse und Empfehlungen, Wissenstransfer.

(AP4) Entwicklung einer NIRS/NIT-Kalibration für Grießausbeute am ganzen Korn.

7.1 Anforderungsprofil

Im Rahmen von AP1 konnte erstmals ein umfassendes Anforderungsprofil für Speisemais entwickelt werden, das Anforderungen aus Anbau, Verarbeitung und Ernährung miteinander verbindet. Die Kombination aus Literaturrecherche, Befragungen entlang der Wertschöpfungskette sowie dem intensiven Austausch mit Praxispartnern und Experten erwies sich dabei als besonders wertvoll, da sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse als auch praktische Erfahrungen und Erwartungen der Akteur*innen berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 27: Anforderungsprofil für in Deutschland ökologisch erzeugten Speisemais für Anbau, Verarbeitung und Ernährung, essentielle Eigenschaften fett hervorgehoben

Anbau	Verarbeitung	Ernährung
– Kornertrag – Pflanzen- und Kolbengesundheit – Zügige Jugendentwicklung – Unkrautunterdrückung – Standfestigkeit – Reifegruppe	– Hohe Grießausbeute (> 68 %), hoher Anteil > 4 mm – Korntyp: hartmaisbetonte Typen (Ha-Zw) – Kornhärte: hartes Korn für größere Bruchstücke	– Potenzial: Inhaltsstoffe bei Selektion/ Sortenwahl berücksichtigen – Ziel: Lebensmittel so wertig wie möglich – Magnesium

– Sortentyp – Resilienz – Eignung für ökologischen Anbau/Gemenge – Keine/niedrige Toxinbelastung – Maiszünsler (Widerstandsfähigkeit) – Offene Lieschen, gutes Abtrocknen	– Keine Riss-/ Bruchbildung – Korngröße: einheitlich, groß – Tausendkorngewicht, Schüttdichte – Kornform: Flach und rund – Kornfarbe: gelb, orange und kräftig, weiß – Sauberes Saatgut, keine Verunreinigungen – Geschmack	– Aminosäuren-zusammensetzung, biol. Verwertbarkeit – Carotinoidgehalte: Zeaxanthin, Lutein – Keine/niedrige Belastung mit Toxinen/ Schwermetallen – Verarbeitungsmöglichkeiten für Vollkorn
---	---	--

Die Ergebnisse zeigten, dass die Eignung einer Sorte für den Speisemaisanbau nicht anhand einzelner Eigenschaften beurteilt werden kann. Vielmehr müssen agronomische Merkmale wie Kornertrag, Pflanzen- und Kolbengesundheit oder Resilienz mit technologischen Eigenschaften wie Grießausbeute, Kornfarbe und Kornqualität sowie ernährungsphysiologischen Aspekten zusammen betrachtet werden. Das entwickelte Anforderungsprofil stellt daher kein starres Schema dar, sondern einen praxisnahen Orientierungsrahmen für Forschung, Züchtung und Beratung. Je nach regionalem Anbaukontext, Verarbeitungspfad und Endprodukt kann die Gewichtung einzelner Eigenschaften stark variieren.

7.2 Anbau

Der Anbau von Speisemais unterscheidet sich nicht vom Anbau von Körnermais für die Fütterung. Die Wahl der richtigen Sorte ist entscheidend. Zu empfehlen sind Sorten und Populationen mit Korntyp Hartmais bis hartmaisähnlicher Zwischentyp. Zusätzlich ist auf eine sehr rasche Jugendentwicklung und schnelle Unkrautunterdrückung, eine sichere Abreife und geringe Bruchkorn- und Fusarienanfälligkeit zu achten (ggf. frühere Ernte). Die Grenzwerte für Mykotoxine sind deutlich strenger als im Vergleich zu Futtermitteln.

7.3 Sortentypen und Sorten

Die untersuchten Speisemaissorten unterschieden sich zum Teil erheblich sowohl hinsichtlich ihrer Verarbeitungsqualität als auch ihrer ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften. Dabei konnten funktionale Unterschiede zwischen Hybridsorten, Populationen und Landsorten festgestellt werden:

- **Hybridsorten** überzeugten durch hohe Kornerträge und hohe Grießerträge pro Hektar, wiesen jedoch i. d. R. geringere Gehalte wertgebender Inhaltsstoffe und niedrigere Grießausbeuten auf.
- **Landsorten** erreichten die höchsten Grießausbeuten sowie die besten ernährungsphysiologischen Eigenschaften und boten zusätzlich eine große sensorische und farbliche Vielfalt, waren jedoch deutlich ertragsschwächer.
- **Populationen** nahmen eine Zwischenstellung ein und kombinierten teilweise gute Verarbeitungseigenschaften mit erhöhten Inhaltsstoffgehalten und Ertrag.

Insgesamt bestand ein Zielkonflikt zwischen Ertrag, Verarbeitungseignung und v. a. Inhaltsstoffgehalten.

7.4 Inhaltsstoffe und Qualität

Erstmals konnte gezeigt werden, welchen Einfluss die moderne Hybridzüchtung auf die Inhaltsstoffgehalte von Maissorten hatte: Landsorten, die alle noch aus der Zeit vor der intensiven Hybridzüchtung in Deutschland stammen, wiesen in nahezu allen untersuchten ernährungsphysiologisch relevanten Parametern höhere Werte auf. Dies betraf insbesondere Protein, Fett, essentielle Aminosäuren, Mineralstoffe sowie verschiedene sekundäre Pflanzenstoffe. Hybridsorten waren durch hohe Stärkegehalte und hohe Kornerträge gekennzeichnet. Bei den Inhaltsstoffen zeigte sich ein klarer Zielkonflikt zwischen Kornertrag und ernährungsphysiologischer Qualität.

Zudem wurde eine erhebliche Variabilität innerhalb der Sortentypen festgestellt. Dies macht eine Sortenbeschreibung für eine geeignete Sortenwahl durch die Praxis unbedingt nötig und weist auf ein erhebliches züchterisches Potenzial hin, das bislang nur unzureichend genutzt wird.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass Mais ein hochwertiges Lebensmittel mit wertvollen ernährungsphysiologischen Eigenschaften darstellt. Besonders durch die hohen Gehalte an Magnesium, Zeaxanthin, Lutein und Vitamin E. Sein volles gesundheitliches Potenzial entfaltet Mais jedoch vor allem als Vollkornprodukt, da sich viele der wertgebenden Inhaltsstoffe im Keimling und in den Randschichten des Korns konzentrieren.

7.5 Grießausbeute ist ein zentrales Merkmal

Die Höhe der Grießausbeute erwies sich als zentraler Parameter für die Verarbeitungsqualität von Speisemais. Die Grießausbeuten lagen zwischen 40 und 75 %. Werte über 68 % wurden als gut mit einem Maximum bei 75 % eingestuft.

Grundsätzlich erzielten Landsorten die höchsten Grießausbeuten, während Hybridsorten die niedrigsten Werte aufwiesen. Populationen nahmen eine Zwischenstellung ein. Ursache hierfür ist vor allem die unterschiedliche Kornstruktur. Nahezu alle Landsorten gehörten dem reinen Hartmaistyp an und besaßen kurze, breite sowie glasige Körner, die bei der Vermahlung bevorzugt größere Grießpartikel bildeten. Die für Deutschland geeigneten Hybridsorten bestanden dagegen überwiegend aus einer Kreuzung zwischen Hart- und Zahnmaistypen. Sie sind i. d. R. für die Futternutzung und auf hohe Kornerträge und nicht für die Speisemaisverarbeitung gezüchtet worden.

Die erhebliche Variabilität innerhalb der Sorten und Korntypen offenbarte, dass diese Merkmale alleine kein ausreichendes Kriterium für die Auswahl grießstarker Sorten darstellten. Damit ist die Bestimmung der Grießausbeute für Sortenwahl und Vermarktung unverzichtbar.

Erschwerend hinzu kommt allerdings, dass das Merkmal stark umweltabhängig ist.

7.6 Sensorik

Die sensorischen Untersuchungen ergaben eine überraschend große geschmackliche Vielfalt. Entgegen der häufigen Wahrnehmung von Mais als geschmacklich eher neutral konnten zahlreiche unterschiedliche Aroma- und Geschmacksattribute identifiziert werden. Demnach besitzt Mais ein deutlich größeres sensorisches Potenzial als bisher angenommen. Für die Entwicklung hochwertiger Speisemaisprodukte erscheint es daher sinnvoll, sensorische Eigenschaften künftig stärker in die Sortenbewertung einzubeziehen.

7.7 Verarbeitung und Vermarktung

Speisemais besitzt großes Potenzial als gesundes Lebensmittel, wird jedoch bislang vor allem nach Kriterien wie Grießausbeute, Ertrag und Mykotoxinbelastung bewertet. Weitere Qualitätsmerkmale wie Inhaltsstoffe, andere Kornfarben oder Sensorik werden bisher nur begrenzt berücksichtigt. Eine stärkere Vernetzung von Forschung und Verarbeitung könnte helfen, dieses Potenzial besser zu nutzen. Ziel sollte sein, auch über Grundnahrungsmittel eine möglichst hohe ernährungsphysiologische Wertigkeit in die Ernährung zu integrieren. Für die Verarbeitung eigneten sich insbesondere hartmaisbetonte Sorten mit hoher Grießausbeute und großen, runden, rissarmen, sattgelben Körnern.

7.8 Züchtung

Die Ergebnisse zeigen, dass für Speisemais eine gezielte züchterische Selektion erforderlich ist, da Futtermaissorten die Anforderungen hochwertiger Lebensmittel nur eingeschränkt erfüllen. Besonders Landsorten erwiesen sich durch ihre hohe Vielfalt an Inhaltsstoffen, Farbvariabilität und hohe Grießausbeuten als wertvolle genetische Ressource. Erforderlich ist daher eine gezielte Züchtung hartmaisbetonter Speisemaissorten mit Fokus auf wertgebende Inhaltsstoffe. Die erzielten Ergebnisse bilden eine wichtige Grundlage für den Aufbau neuer Zuchtprogramme und eröffnen insbesondere der ökologischen Pflanzenzüchtung sowie kleinen und mittleren Zuchtunternehmen neue Entwicklungsmöglichkeiten.

7.9 NIRS/NIT-Kalibration

Es wurde eine NIRS/NIT-Kalibration zur Vorhersage der Grießausbeute am ganzen Korn entwickelt. Kornproben und die zugehörigen Daten der Analysen werden der Verarbeitung auf Anfrage für die Berechnung eines Kalibrationsmodells bereitgestellt. Die Messung erfolgte direkt am ganzen Maiskorn, ohne vorherige Vermahlung. Damit steht erstmals eine schnelle, kostengünstige und praxisnahe Methode zur Bestimmung der Grießausbeute zur Verfügung.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Etablierung von Speisemais in Deutschland weniger an seinem grundsätzlichen Potenzial scheitert, sondern vielmehr an strukturellen (keine Mühlen, keine Analysemöglichkeiten) und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (schlechtes Image, fehlende Esstradition), die durch Forschung, Züchtung, Verarbeitung und Verbraucherkommunikation adressiert werden können.

7.10 Ausblick

Insgesamt wurde deutlich, dass Speisemais als Lebensmittel in Deutschland bislang nur in begrenztem Umfang genutzt wurde, obwohl er sowohl aus ernährungsphysiologischer als auch aus agronomischer Sicht ein großes Potenzial besitzt. Als glutenfreie Kultur mit wertvollen Inhaltsstoffen und vielfältigen Verarbeitungsmöglichkeiten kann Speisemais einen Beitrag zu einer diversifizierten, regionalen und ökologischen Ernährung leisten. Gleichzeitig eröffnet die Kultur neue Perspektiven für die Wertschöpfungskette und kann die Fruchtfolge im ökologischen Landbau erweitern. Das im Projekt entwickelte Anforderungsprofil bildet hierfür eine wichtige Grundlage und schafft die Voraussetzung für die Bewertung bestehender Sorten sowie für die zukünftige Züchtung und Entwicklung spezialisierter Speisemaissorten für Deutschland.

Mehrere Aspekte der Speisemaisqualität wurden im Projekt nicht untersucht und stellen wichtige Ansatzpunkte für zukünftige Forschung und Züchtung dar:

Ein zentraler Forschungsbedarf besteht beim Verhältnis von Amylose zu Amylopektin, da diese Stärkefraktionen die Eignung von Sorten für Frischprodukte, Verarbeitung und Frischhaltevermögen maßgeblich beeinflussen könnten. Sortenspezifische Unterschiede sind bislang nur unzureichend bekannt.

An farblich abgestimmten Sortimenten (orange, rot, blau-violett) sowie an Sorten mit vollständig gefärbtem Endosperm (für Deutschland geeignete Sorten) sollten die Inhaltsstoffe *Carotinoide*, *Anthocyane* und *Zeaxanthin* detaillierter untersucht werden. Von Interesse sind Zusammenhänge zwischen Gehalt, Pigmentierung, sensorischen Eigenschaften, Pflanzengesundheit und Marktakzeptanz. Insbesondere für Nischenprodukte und innovative Lebensmittel ergeben sich hier interessante Potenziale.

Auch die gezielte Selektion und Einkreuzung von Genotypen mit hohen Gehalten an Zeaxanthin sowie an Mineralstoffen wie Calcium und Eisen erscheint vielversprechend. Angesichts veränderter Ernährungsgewohnheiten gewinnt die Anreicherung pflanzlicher Grundnahrungsmittel mit diesen Nährstoffen zunehmend an Bedeutung.

Weitere Potenziale bieten High-Protein-Sorten sowie Sorten mit hohen Anteilen an resistenter Stärke, die gesundheitliche Vorteile insbesondere für Darmgesundheit und Blutzuckerregulation haben könnten.

Für eine erfolgreiche Marktetablierung sind zudem innovative Maisprodukte, neue Verwendungsformen sowie eine stärkere Berücksichtigung von Vollkornprodukten einschließlich Keimling erforderlich.

Langfristig wäre zudem eine bundesweite amtliche Sortenbewertung für Speisemais wünschenswert, vergleichbar mit den bestehenden Landessortenversuchen im Bereich der Tierernährung.

8 Literaturverzeichnis

2014/150/EU (2015): EU-Experiment: Verordnung über das Inverkehrbringen von Saatgut von Populationen der Arten Hafer, Gerste, Weizen und Mais (2014/150/EU). HaGeWeMaSaatVerkV, vom BGBl. I S. 1418. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/hagewemasaatverk/BJNR141800015.html>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.

2018/848 (30.05.2018): Neue EU-Bio-Verordnung: Über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates, vom (EU)2018/848, S. 1–92. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848&from=EN>.

Abiose, S. A.; Ikujenlola, V. A. (2014): Comparison of chemical composition, functional properties and amino acids composition of quality protein maize and common maize (*Zea mays* L). In: *African Journal of Food Science and Technology* 05 (03), S. 81–89. DOI: 10.14303/ajfst.2014.024.

Ackermann, A. (2014): Verarbeitungsmöglichkeiten, Qualitätsansprüche und Marktpotentiale für bayerischen Speisemais. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan, Triesdorf. Fakultät Landwirtschaft - Lebensmitteltechnologie.

Almeida Rios, S. de; Dias Paes, M. C.; Cardoso, W. S.; Borém, A.; Teixeira, F. F. (2014): Color of Corn Grains and Carotenoid Profile of Importance for Human Health. In: *American Journal of Plant Sciences* 05 (06), S. 857–862. DOI: 10.4236/ajps.2014.56099.

AMI (2018): Importanteile entwickeln sich verschieden. Hg. v. Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. Online verfügbar unter <https://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/maerkte/ami-maerkte-oekolandbau/meldungen>, zuletzt geprüft am 05.02.2019.

Arnold, J. M.; Piovarci, A.; Bauman, L. F.; Poneleit, C. G. (1974): Weight, oil, and fatty acid composition of components of normal, opaque-2 and flourey-2 maize kernels. In: *Crop science* (14), S. 598–599.

Bänziger, M.; Long, J. (2000): The Potential for Increasing the Iron and Zinc Density of Maize through Plant-breeding. In: *Food and Nutrition Bulletin* 21 (4), S. 397–400. DOI: 10.1177/156482650002100410.

Baye, Tesfaye M.; Pearson, Tom C.; Settles, A. Mark (2006): Development of a calibration to predict maize seed composition using single kernel near infrared spectroscopy. In: *Journal of Cereal Science* 43 (2), S. 236–243. DOI: 10.1016/j.jcs.2005.11.003.

Blume, Katrin (Hg.) (2010): Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel (Cadmium, Blei, Quecksilber, Dioxine und PCB). Ergebnisse des Forschungsprojektes LExUKon. Bundesinstitut für Risikobewertung. Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR Information).

BMLEH (2025): Versorgung mit Getreide in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Heimat (BMLEH) (BMEL-Statistik), zuletzt geprüft am 25.06.2026.

Boyer, C. D.; Hannah, C. L. (1994): Kernel mutants of corn. In: A.R Hallauer (Hg.): Specialty corns. Ames, Iowa: CRC Press, S. 1–28.

Bressani, R.; Benavides, V.; Acevedo, E.; Ortiz, M. A. (1990): Changes in Selected Nutrient Contents and in Protein Quality of Common and Quality-Protein Maize During Rural Tortilla Preparation. In: *Cereal Chemistry* 67 (6), S. 515–518.

- Brown, W. L.; Bressani, R.; Glover, D. V.; Hallauer A.R.; Johnson, V. A.; Qualset, C. O. (1988): Quality-protein maize: report of an ad hoc panel of the advisory committee on technology innovation. In: *National Academy Press, Washington, DC*.
- Brown, W. L.; Zuber, M. S.; Darrah, L. L.; Glover, D. Y. (1985): Origin, adaptation and types of corn. In: *Wadsworth HA, National corn handbook*, S. 10.
- Bundessortenamt (2018): Beschreibende Sortenliste 2018. Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hannover.
- Carballido, A.; Lorento, V.; Centeno, M. (1971): Composition of maize. Contribucion al conocimiento de la composicion del maiz. In: *Anales de Bromatologia* 3 (23), S. 291–309.
- Dach, A.; Ebner, J. (2018): Höchstmengenregelungen für Mykotoxine in Lebensmitteln in der Europäischen Union (EU) und in Deutschland. Hg. v. LGL Bayern. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Online verfügbar unter https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/schimmelpilzgifte/et_hoechstmengen_mykotoxine.htm, zuletzt geprüft am 05.02.2019.
- DBV (2019): Der Mais. Anbau und Verwendung. Hg. v. Deutscher Bauernverband e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bauernverband.de/mais>, zuletzt geprüft am 05.02.2019.
- Demeke, K. H. (2018): Nutritional Quality Evaluation of Seven Maize Varieties Grown in Ethiopia. In: *Biochemistry and Molecular Biology* 3 (2), S. 45. DOI: 10.11648/j.bmb.20180302.11.
- DGE (2019): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/>, zuletzt geprüft am 01.02.2019.
- DIN 10967-1:1999-10.
- DIN EN ISO 4120, 2021: DIN EN ISO 4120.
- DMK (2017a): Erntemengen. Hg. v. Deutsches Maiskomitee e.V. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Erntemengen>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- DMK (2017b): Gesamtflächenentwicklung. Hg. v. Deutsches Maiskomitee e.V. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Gesamtfl%C3%A4chenentwicklung>, zuletzt geprüft am 05.02.2019.
- DMK (2026): DMK - Wir geben dem Mais eine Stimme. Hg. v. Deutsches Maiskomitee e.V., zuletzt geprüft am 25.06.2026.
- Duvick, D. N.; Smith, J. S.; Cooper, M. (2004): Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. In: *Plant Breeding* 24, S. 109–151.
- Earll, L.; Earll, J. M.; Naujokaitis, S.; Pyle, S.; McFalls, K.; Altschul, A. M. (1988): Feasibility and metabolic effects of a purified corn food supplement. In: *Journal American Diet Association* (88), S. 950–952.
- East, E. M.; Jones, D. F. (1920): Genetic studies on the protein content of maize. In: *Genetics* 5 (6), S. 543.
- Eckinger, E. (2018): Anbau von Ökomais steigt. Hg. v. agrarheute. Hannover. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/pflanze/mais/anbau-oekomais-steigt-542472>, zuletzt geprüft am 05.02.2019.
- Eder, B. (2015): Mais: Landsorten statt Hybride. In: *BLW Pflanzenbau* (7), S. 44–46, zuletzt geprüft am 26.07.2018.

Eder, B.; Albrecht, T.; Mohler, V.; Büttner, B.; Schwertfirm, G.; Schweitzer, G.; Eder, J.: Development and performance of new maize populations, selection method and progress. In: *Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs (Ed)* (68. Jahrestagung 2017), S. 47–48.

Eder, B.; Büttner, B.; Schweizer, G.; Eder, J. (2014): Maislandsorten in Bayern: Historie, Leistungsvermögen und Züchtungsforschung. Bavarian maize landraces: history, agronomic traits and breeding activities. 65. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. HBLFA. Raumberg-Gumpenstein, 2014, zuletzt geprüft am 21.01.2019.

Eder, B.; Vollenweider, C.; Buhmann, K. (2018): Moderne Maispopulationen – eine Alternative zu Hybriden. In: *Biokreis Nachrichten* (12), S. 34–35.

Eder, B.; Vollenweider, C.; Buhmann, K.; Spieß, H.; Trautwein, F.; Vogt-Kaute, W. et al. (2019): Leistungsprüfung offen-abblühender Maispopulationen. In: *15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel*.

Europäische Kommission (23.05.2023): Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission vom 25. April 2023 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 (Text von Bedeutung für den EWR), 2023/915. In: *Amtsblatt der Europäischen Union*.

Europäische Kommission (2024): Verordnung (EU) 2024/1022 der Kommission vom 8. April 2024 zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/915 hinsichtlich der Höchstgehalte für Deoxynivalenol in Lebensmitteln (Text von Bedeutung für den EWR), 2024/1022. In: *Amtsblatt der Europäischen Union*. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1022/oj>, zuletzt geprüft am 24.06.2026.

Fachmann, W.; Kraut, H.; Senser, F.; Souci, S. W. (2009): *Lebensmitteltabelle für die Praxis. Der kleine Souci-Fachmann-Kraut*. 4. Aufl. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges.

Fecher, P.; Habernegg, R.; Lepper, H.; Steger, U. (2006): *Schwermetalle in Lebensmitteln*. Hg. v. VIS Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter https://www.vis.bayern.de/ernaehrung/lebensmittelsicherheit/unerwunschte_stoffe/schwermetalle.htm, zuletzt geprüft am 05.02.2019.

Flora, L. F.; Wiley, R. C. (1972): Effect of various endosperm mutants on oil content and fatty acid composition of whole kernel corn (*Zea mays* L.). In: *Jornal Am. Soc. Hortic. Sci.* (97), S. 604–607.

FOSS (2026): Infratec Nova. Online verfügbar unter <https://www.fossanalytics.com/de-de/products/infratec-nova>, zuletzt geprüft am 24.06.2026.

Fox, Glen; Manley, Marena (2009): Hardness methods for testing maize kernels. In: *Journal of agricultural and food chemistry* 57 (13), S. 5647–5657. DOI: 10.1021/jf900623w.

Goldstein, W. A.; W. Schmidt; H. Burger; M. Messmer; L. M. Pollak; M. E. Smith et al. (2012): Maize breeding and field testing for organic farmers. Chapter 10. In: Lammerts van Bueren, E. T. und J. R. Myers (Hg.): *Organic crop breeding*. Oxford: Wiley-blackwell, S. 175–189.

Hallauer, A.R (Hg.) (1994): *Specialty corns*. Ames, Iowa: CRC Press.

Hoffmann, P.; Jung, K. (Hg.) (2000): *Lexikon der Lebensmittel. Wegweiser zur gesunden Ernährung ; mit einem herausnehmbaren Übersichtsplan*. München: Herbig (Herbig-Gesundheitsratgeber Ratgeber Ernährung).

Hurrell, R. F. (2004): Phytic acid and degradation as a means of improving iron absorption. In: *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* (74), S. 445–452.

IFOAM (2014): *The IFOAM NORMS for Organic Production and Processing*. Version 2014. Hg. v. IFOAM-Organics International. Online verfügbar unter https://www.ifoam.bio/sites/default/files/ifoam_norms_july_2014_t.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2019.

- Inglett, G. E. (1970): Kernel structure, composition and quality. In: *Corn: culture processing products*, S. 123–137.
- Jakobek, L.; Seruga, M.; Medvidovic-Kusanovic, M.; Novak, I. (2007): Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. In: *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 103 (2), S. 58–64.
- Jellum, M. D. (1970): Plant introductions of maize as a source of oil with unusual fatty acid composition. In: *Journal Agric. Food. Chem.* (18), S. 365–370.
- Jellum, M. D. (1987): Fatty acid composition of maize kernel oil / maize quality traits. In: *Journal of the American Oil Chemists' Society* (64), S. 136–140.
- Karch, I. (2015): Die Nachfrage nach glutenfreien Produkten steigt. Hg. v. Gastgewerbe-Magazin Online. Online verfügbar unter <http://gastgewerbe-magazin.de/v3/die-nachfrage-nach-glutenfreien-produkten-steigt-36593>, zuletzt geprüft am 19.02.2019.
- Kotler, P.; Berger, R.; Bickhoff, N. (2010): The quintessence of strategic management. In: *What You Really Need to Know to Survive in Business*, Berlin.
- KPM Analytics (2026): SpectraStar XT. Online verfügbar unter <https://www.kpmanalytics.com/de/produkte/feuchte-zusammensetzung/spectrastar-xt-serie>, zuletzt geprüft am 24.06.2026.
- Krivanek, A. F.; Groote, H. de; Gunaratna, N.S.; Diallo, A. O.; Friesen, D. (2007): Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. Review. In: *African Journal of Biotechnology* 6 (4), S. 312–324.
- Kurilich, A. C.; Juvik, J. A. (1999): Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in Zea mays. In: *Journal Agric. Food. Chem.* (47), S. 1948–1955.
- Kutka, F. (2011): Open-pollinated vs. hybrid maize cultivars. In: *Sustainability* 3 (9), S. 1531–1554.
- KWS (2018): Körnermais. Unsere Top Körnermais-Sorten. KWS Saat SE. Einbeck. Online verfügbar unter <https://www.kws.com/de/de/produkte/mais/koernermais/>, zuletzt aktualisiert am 20.02.2019.
- Lago, Chiara; Cassani, Elena; Zanzi, Cecilia; Landoni, Michela; Trovato, Riccardo; Pilu, Roberto (2014): Development and study of a maize cultivar rich in anthocyanins. coloured polenta, a new functional food. In: *Plant Breeding* (133(2)), S. 210–217. DOI: 10.1111/pbr.12153.
- Lammerts van Bueren, E. T.; Myers, J. R. (Hg.) (2012): Organic crop breeding. Oxford: Wiley-blackwell.
- Lieberman, S. (2007): The antioxidant power of purple corn. A research review. In: *Alternative & Complementary Therapies* 13 (2), S. 107–110.
- Lopez-Martinez, L. X.; Oliart-Ros, R. M.; Valerio-Alfaro, G.; Lee, C.-H.; Parkin, K. L.; Garcia, H. S. (2009): Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. In: *LWT-Food Science and Technology* 42 (6), S. 1187–1192.
- Lütke Entrup, N.; Schwarz, F. J.; Heilman, H. (Hg.) (2013): Handbuch Mais. Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie. Unter Mitarbeit von Deutsches Maiskomitee e.V. Bonn, Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- LWK NRW (2022): Landessortenversuche Winterweizen 2022 Proteingehalte. Hg. v. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/getreide/winterweizen/lsvarchiv/winterweizen-sv-2022-protein.htm?utm_source=chatgpt.com%20, zuletzt geprüft am 24.06.2026.
- Maissen, S.; Kiss, C. (2013): FODMAP-Konzept: Praktische Umsetzung und Fallbeispiele. Nahrungsmittelunverträglichkeiten. In: *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin* (3), S. 18–24, zuletzt

http://rosenfluh.ch/media/ernaehrungsmedizin/2013/03/FODMAPKonzept__Praktische_Umsetzung_und_Falbeispiele.pdf.

Maziya-Dixon, B.; Kling, J. G.; Menkir, A.; Dixon, A. (2000): Genetic Variation in Total Carotene, Iron, and Zinc Contents of Maize and Cassava Genotypes. In: *Food Nutr Bull* 21 (4), S. 419–422. DOI: 10.1177/156482650002100415.

Menkir, A.; Liu, W.; White, W. S.; Maziya-Dixon, B.; Rocheford, T. (2008): Carotenoid diversity in tropical-adapted yellow maize inbred lines. In: *Food chemistry* 109 (3), S. 521–529.

Ndukwe, O. K.; Edeoga, H. O.; Omosun, G. (2015): Varietal differences in some nutritional composition of ten maize (*Zea mays* L.) varieties grown in Nigeria. In: *International Journal of Academic Research and Reflection* 3 (5), S. 1–11.

Nuss, E. T.; Tanumihardjo, S. A. (2010): Maize. A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9 (4), S. 417–436. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x.

Okai, D. B.; Boateng, M.; Ewool, M. B.; Ankamaa, D.; Osarumwense, S. O. (2015): Nutritional evaluation of some new maize varieties: Effects on growth performance and carcass traits of albino rats. In: *Ajfan* 15 (4), S. 10305–10316.

Paige, Z. (2018): Nutritional Quality and Performance Evaluation of Hybrid and Open-Pollinated Maize. Iowa State University Capstones (Creative Components). Online verfügbar unter <https://lib.dr.iastate.edu/creativecomponents/20>.

Pixley, K. V. (2006): Hybrid and Open-Pollinated Varieties in Modern Agriculture. In: K. R. Lamkey und M. Lee (Hg.): *Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium*: Blackwell Publishing.

Queiroz, V. A. V.; Guimarães, P. de O.E.; Queiroz, L. R.; Guedes, E. de O.; Vasconcelos, V. D. B.; Guimarães, L. J. et al. (2011): Iron and zinc availability in maize lines. In: *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 31 (3), S. 577–583. DOI: 10.1590/S0101-20612011000300005.

Raboy, V. (2003): Myo-ino-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphatesitol. In: *Phytochem.* (64), S. 1033–1043.

Rathna Priya, T. S.; Manickavasagan, A. (2021): Characterising corn grain using infrared imaging and spectroscopic techniques: a review. In: *Food Measure* 15 (4), S. 3234–3249. DOI: 10.1007/s11694-021-00898-7.

Reif, J. C.; Hamrit, S.; Heckenberger, M.; Schipprack, W.; Maurer, H. P.; Bohn, M.; Melchinger, A. E. (2005a): Genetic structure and diversity of European flint maize populations determined with SSR analyses of individuals and bulks. In: *Theoretical and Applied Genetics* 111 (5), S. 906–913.

Reif, J. C.; Hamrit, S.; Heckenberger, M.; Schipprack, W.; Maurer, H. P.; Bohn, M.; Melchinger, A. E. (2005b): Trends in genetic diversity among European maize cultivars and their parental components during the past 50 years. In: *Theoretical and Applied Genetics* 111 (5), S. 838–845.

Reiner, H. (2009): Polenta, Riebel und Maisgrieß - Maisprodukte in Österreich. In: *Mühle + Mischfutter* 146 (13), S. 413–416.

Rouf Shah, Tajamul; Prasad, Kamlesh; Kumar, Pradyuman (2016): MaizeA potential source of human nutrition and health: A review. In: *Cogent Food & Agriculture* 2 (1). DOI: 10.1080/23311932.2016.1166995.

Roundy, T. E.: Effects of the sugary-2 endosperm mutant on kernel characteristics, oil, protein and lysine in *Zea mays* L. Diss. Abstract 37, 1063B-4B. Purdue University, West Lafayette.

- Saini, Ramesh Kumar; Keum, Young-Soo (2018): Significance of Genetic, Environmental, and Pre- and Postharvest Factors Affecting Carotenoid Contents in Crops: A Review. In: *Journal of agricultural and food chemistry* 66 (21), S. 5310–5324. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01613.
- Scott, M. P.; Edwards, J. W.; Bell, C. P., Schussler, J.R.; Smith, J. S. (2006): Grain composition and amino acid content in maize cultivars representing 80 years of commercial maize varieties. In: *Maydica* 51 (2), S. 417–423.
- Sendin, Kate; Manley, Marena; Baeten, Vincent; Fernández Pierna, Juan Antonio; Williams, Paul J. (2019): Near Infrared Hyperspectral Imaging for White Maize Classification According to Grading Regulations. In: *Food Anal. Methods* 12 (7), S. 1612–1624. DOI: 10.1007/s12161-019-01464-0.
- Shull, G. H. (1908): The composition of a field of maize. In: *Journal of Heredity* (1), S. 296–301.
- Smollich, M.; Vogelreuter, A. (2018): Nahrungsmittelunverträglichkeiten. Lactose - Fructose - Histamin - Gluten : mit 45 Abbildungen, 43 Tabellen und einem Arbeitsbogen zur Anamneseerhebung zum Download unter www.Online-PlusBase.de. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: WVG Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Špaleková, A.; Gálová, Z. (2018): Comparison of American and European maize (*Zea mays* L.) protein profiles. In: *j. cent. eur. agric.* 19 (2), S. 453–465. DOI: 10.5513/JCEA01/19.2.2147.
- Uarrota, V. G.; Severino, R. B.; Maraschin, M. (2011): Maize landraces (*Zea mays* L.). A new prospective source for secondary metabolite production. In: *Int. J. Agric. Res* 6, S. 218–226.
- UPOV (2002): Allgemeine Einführung zur Prüfung auf Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit und Erarbeitung harmonisierter Beschreibungen von neuen Pflanzensorten. TG/1/3. Genf. Online verfügbar unter https://www.upov.int/export/sites/upov/resource/de/tg_1_3.pdf.
- Vaswani, S.; Kumar, R.; Kumar, V.; Roy D.; Kumar, M. (2016): Nutritional and mineral composition of different varieties of normal and high quality protein maize fodder at post-cob stage. In: *International Journal of Science, Environment* 5 (5), S. 2719–2727.
- VO (EG) 1881/2006 (19.12.2006): Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 19.02.2019.
- Weber, Christian; Dai Pra, Ana L.; Passoni, Lucía I.; Rabal, Héctor J.; Trivi, Marcelo; Poggio Aguerre, Guillermo J. (2014): Determination of maize hardness by biospeckle and fuzzy granularity. In: *Food science & nutrition* 2 (5), S. 557–564. DOI: 10.1002/fsn3.130.
- Wright, K. N. (1987): Nutritional properties and feeding value of corn and its by-products. In: S. A. Watson und Ramstad, P.E., editors (Hg.): *Corn: Chemistry and technology*. St. Paul Minnesota, S. 447–478.
- Xu, Ahui; Qiu, Jiajing; Yin, Zhitong; Wei, Cunxu (2019): Morphological characteristics of endosperm in different regions of maize kernels with different vitreousness. In: *Journal of Cereal Science* 87, S. 273–279. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.04.010.
- ZEISS (2026): Corona extreme. Online verfügbar unter <https://www.zeiss.de/spectroscopy/produkte/spektrometer-systeme/corona-extreme.html>, zuletzt geprüft am 24.06.2026.
- Zeppa, Giuseppe; Bertolino, Marta; Rolle, Luca (2012): Quantitative descriptive analysis of Italian polenta produced with different corn cultivars. In: *Journal of the science of food and agriculture* 92 (2), S. 412–417. DOI: 10.1002/jsfa.4593.

ZuchtMetPop (2017): Zuchtmethoden, Leistungs- und Adaptionsefähigkeit von Maispopulationen. Projektbeschreibung. Unter Mitarbeit von B. Eder, C. Vollenweider, F. Trautwein, J. Eder und Heiko Becker. Online verfügbar unter <http://orgprints.org/32001/>.

9 Anhang

Weitere Informationen und Daten der einzelnen Teilprojekte können bei der Projektkoordination Dr. Barbara Eder (Barbara.Eder@lfl.bayern.de), Anfragen zur NIRS/NIT-Kalibration bei Kathrin Neubeck (Kathrin.Neubeck@dottenfelderhof.de) angefragt werden.

Alle weiteren Informationen und Veröffentlichungen zu Speisemais und Maispopulationen finden Sie auf unserer Webseite www.maispopulationen.org.

9.1 Anhang 1: Fotodokumentation der Maissorten 2022









W3



Wesley



1502



1507



1511



1512



1513



1520



1528 Foliant



1538



1539



1541



1542



1549



1556



1570



1573



1579



1592



1596



1633



1640



1647



1652



1689



1692



1705



1712



1713



1724



1725



1746



6801-21



6802-21



6803-21



6806-21



6808-21



6809-21



6811-21



8001 x 8002



8301