



Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Dipl.-Ing.

CHEMISCHE UND RHEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN VON MEHLMISCHUNGEN AUS WEIZEN UND ALTERNATIVGETREIDE

Eingereicht von

Monika Wiesböck, BSc.

Durchgeführt am

Institut für Lebensmitteltechnologie

des Departments für Lebensmittelwissenschaften und -technologie

der Universität für Bodenkultur, Wien

Betreut von

Assoc. Prof. Dr. Regine Schönlechner

und

Rubina Rumler, MSc.

Wien, März 2021

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert sowie durch Quellenangabe kenntlich gemacht.

Ort, Datum, Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	1
2.	Summary	2
3.	Einleitung und Aufgabenstellung.....	3
4.	Theoretischer Hintergrund	6
4.1.	Sorghum	7
4.1.1.	Chemische Zusammensetzung	8
4.1.1.1.	Kohlenhydrate.....	10
4.1.1.2.	Protein.....	11
4.1.1.3.	Fett	12
4.1.1.4.	Mineralstoffe und Vitamine.....	13
4.1.1.5.	Sekundäre Pflanzenstoffe	15
4.2.	Hirse	26
4.2.1.	Chemische Zusammensetzung	27
4.2.1.1.	Kohlenhydrate.....	28
4.2.1.2.	Protein.....	29
4.2.1.3.	Fett	30
4.2.1.4.	Mineralstoffe und Vitamine.....	31
4.2.1.5.	Sekundäre Pflanzenstoffe	33
4.3.	Buchweizen	44
4.3.1.	Chemische Zusammensetzung	44
4.3.1.1.	Kohlenhydrate.....	46
4.3.1.2.	Protein.....	47
4.3.1.3.	Fett	48
4.3.1.4.	Mineralstoffe und Vitamine.....	49
4.3.1.5.	Sekundäre Pflanzenstoffe	50
4.4.	Amaranth	58
4.4.1.	Chemische Zusammensetzung	58
4.4.1.1.	Kohlenhydrate.....	59
4.4.1.2.	Protein.....	60
4.4.1.3.	Fett	62

INHALTSVERZEICHNIS

4.4.1.4.	Mineralstoffe und Vitamine	63
4.4.1.5.	Sekundäre Pflanzenstoffe	64
4.5.	Rheologische (und physikalische) Eigenschaften	70
4.5.1.	Farinograph	72
4.5.1.1.	Sorghum	73
4.5.1.2.	Hirse	76
4.5.1.3.	Buchweizen	79
4.5.1.4.	Amaranth	83
4.5.2.	Extensograph	87
4.5.2.1.	Sorghum	87
4.5.2.2.	Hirse	88
4.5.2.3.	Buchweizen	89
4.5.2.4.	Amaranth	90
4.5.3.	RVA - Rapid visco analyzer	93
4.5.3.1.	Sorghum	94
4.5.3.2.	Hirse	97
4.5.3.3.	Buchweizen	100
4.5.3.4.	Amaranth	101
4.5.4.	Wasserabsorptionsindex	104
4.5.4.1.	Sorghum	104
4.5.4.2.	Hirse	106
4.5.4.3.	Buchweizen	107
4.5.4.4.	Amaranth	107
4.5.5.	Wasserlöslichkeitsindex	109
4.5.5.1.	Sorghum	109
4.5.5.2.	Hirse	112
4.5.5.3.	Buchweizen	113
4.5.5.4.	Amaranth	114
5.	Material und Methoden	117
5.1.	Materialien	117
5.2.	Versuchsdurchführung	117
5.3.	Analytische Methoden	118

5.3.1.	Trockenmassebestimmung	118
5.3.2.	Bestimmung des Aschegehalts	119
5.3.3.	Proteinbestimmung nach Kjeldahl.....	120
5.3.4.	Fettbestimmung nach Soxhlet	122
5.3.5.	Bestimmung der gesamten Stärke.....	124
5.3.6.	Herstellung des Extrakts für TAC, TPC und FRAP	126
5.3.7.	Bestimmung des Gesamtanthocyangehalts (TAC).....	127
5.3.8.	Bestimmung des Gesamtphenolgehalts (TPC).....	128
5.3.9.	Bestimmung der gesamten antioxidativen Kapazität (FRAP-Methode)....	129
5.3.10.	Bestimmung des Wasserabsorptionsindex (WAI), Wasserlöslichkeitsindex (WSI) und der Swelling Power (SP)	131
5.3.11.	Ablauf der Versuche mit dem Haubelt Flourgraph E6.....	132
5.3.12.	Ablauf der Versuche mit dem Haubelt Flourgraph E7	134
5.4.	Statistische Methoden	136
6.	Ergebnisse und Diskussion	137
6.1.	Chemische Zusammensetzung	137
6.1.1.	Sekundäre Pflanzenstoffe	140
6.2.	Physikalische Eigenschaften	146
6.3.	Rheologische Eigenschaften	151
6.3.1.	Haubelt Flourgraph E6 „Farino“	151
6.3.1.1.	Wasseraufnahme korrigiert auf 14 %	151
6.3.1.2.	Teigentwicklungszeit.....	154
6.3.1.3.	Teigstabilität.....	156
6.3.1.4.	Erweichungsgrad 12 Minuten nach dem Maximum.....	159
6.3.2.	Haubelt Flourgraph E7 „Extenso“	162
6.3.2.1.	Energie	162
6.3.2.2.	Dehnwiderstand R50	164
6.3.2.3.	Dehnbarkeit (Dehnlänge).....	166
6.3.2.4.	Maximaler Dehnwiderstand	168
7.	Schlussfolgerung und Ausblick.....	171
8.	Literaturverzeichnis	174

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 - Beispielkurve vom Haubelt Flourgraph E6	134
Abb. 2 - Beispielkurven vom Haubelt Flourgraph E7	136
Abb. 3 - Proteingehalt der Mehlproben.....	139
Abb. 4 - Fettgehalt der Mehlproben	139
Abb. 5 - Aschegehalt der Mehlproben.....	140
Abb. 6 - weißer Sorghum 1 „Ggivry“ (WS1)	144
Abb. 7 - weißer Sorghum 2 „Ggolden“ (WS2).....	144
Abb. 8 - Gesamtanthocyangehalt (TAC) in den Mehlproben (in mg Cyanidin-3-O- Glucosid-Äquivalente/100 g TS)	144
Abb. 9 - Gesamtphenolgehalt (TPC) in den Mehlproben (in mg Ferulasäureäquivalente/100 g TS)	145
Abb. 10 - gesamte antioxidative Kapazität in den Mehlproben, bestimmt mit der FRAP- Methode (ferric reducing antioxidant power) (in $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ Äq./100 g TS)	145
Abb. 11 - Wasserabsorptionsindex (WAI) der Mehlproben	149
Abb. 12 - Wasserlöslichkeitsindex (WSI) der Mehlproben	150
Abb. 13 - Wasseraufnahme der Mehlmischungen, korrigiert auf eine Feuchte von 14 %	153
Abb. 14 - Teigentwicklungszeit aller Proben.....	156
Abb. 15 - Teigstabilität der Mehlmischungen.....	159
Abb. 16 - Erweichungsgrad (12 min nach dem Maximum) aller Proben.....	162
Abb. 17 - Energie aller Proben nach 135 min	164
Abb. 18 - Dehnwiderstand bei 50 mm aller Mehlmischungen	166
Abb. 19 - Dehnbarkeit aller Proben	168
Abb. 20 - Maximaler Dehnwiderstand aller Mehlmischungen.....	170

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 - Chemische Zusammensetzung von verschiedenen Sorghumarten (MW; (Min – Max))	21
Tab. 2 - Mineralstoffkonzentrationen in verschiedenen Sorghumarten (MW; (Min – Max))	21
Tab. 3 - Proteingehalt in verschiedenfarbigen Sorghumkörnern nach MOTLHAODI et al. (2018)	22
Tab. 4 - Proteinfraktionen in Sorghum nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)	22
Tab. 5 - Eisen- und Zink-Gehalt in Sorghum nach ARE et al. (2019)	22
Tab. 6 - Übersicht einiger Mineralstoffe und Vitamine in Sorghum nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) und Mineralstoffgehalte von zwei am Markt verfügbaren Sorghumsorten verglichen mit Wildtypsorten nach ABDELHALIM et al. (2019)	23
Tab. 7 - Vergleich verschiedenfarbiger Sorghumkörner hinsichtlich ihrer Mineralstoffzusammensetzung nach MOTLHAODI et al. (2018)	24
Tab. 8 - Mineralstoffe in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2019)	24
Tab. 9 - Phenolsäuren in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009)	24
Tab. 10 - Übersicht sekundärer Pflanzenstoffe bei Sorghum nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)	25
Tab. 11 - Flavonoide in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009)	25
Tab. 12 - Konzentration einiger Carotinoide in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009)	25
Tab. 13 - Chemische Zusammensetzung verschiedener Hirsearten (MW; (Min – Max))	37
Tab. 14 - Mineralstoffkonzentration in verschiedenen Hirsearten (MW; (Min – Max))	37
Tab. 15 - Vergleich verschiedener Hirsearten in ihrem Ballaststoffgehalt nach BORA et al. (2019)	38
Tab. 16 - Zusammensetzung der Stärke verschiedener Hirsearten nach BORA et al. (2019)	38
Tab. 17 - Proteinfraktionen in Perlhirse nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)	39
Tab. 18 - Aminosäureprofil von Hirse nach GABROVSKÁ et al. (2002)	39
Tab. 19 - Fettsäureprofil von mehreren Hirsearten nach BORA et al. (2019)	39

Tab. 20 - Fettgehalt und Fettsäurezusammensetzung von Hirse nach HORAK (2012) ..	40
Tab. 21 - Fettsäurekonzentration in Hirse nach GABROVSKÁ et al. (2002).....	40
Tab. 22 - Übersicht einiger Vitamine in Perlhirse nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019).....	40
Tab. 23 - Vitamine in Hirsekörnern nach OVSIANNYKOVA et al. (2019)	41
Tab. 24 - Übersicht sekundärer Pflanzenstoffe bei Perlhirse nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019).....	41
Tab. 25 - Freie und gebundene phenolische Verbindungen verschiedener Hirsearten nach BORA et al. (2019)	41
Tab. 26 - Konzentrationen einzelner freier Phenolsäuren in Kleiner Hirse, Fuchsschwanzhirse und Barnyard-Hirse nach BORA et al. (2019)	42
Tab. 27 - Konzentrationen einzelner freier Phenolsäuren in Kodo-,Rispen-, Perl- und Fingerhirse nach BORA et al. (2019)	42
Tab. 28 - Konzentrationen einzelner gebundener Phenolsäuren in Kleiner Hirse, Fuchsschwanzhirse und Barnyard-Hirse nach BORA et al. (2019)	43
Tab. 29 - Konzentrationen einzelner gebundener Phenolsäuren in Kodo-,Rispen-, Perl- und Fingerhirse nach BORA et al. (2019).....	43
Tab. 30 - Chemische Zusammensetzung verschiedener Buchweizenarten (MW; (Min – Max))	52
Tab. 31 - Mineralstoffkonzentration in verschiedenen Buchweizenarten (MW; (Min – Max))	53
Tab. 32 - Aminosäureprofil von gekeimtem Buchweizenmehl nach GABROVSKÁ et al. (2002).....	54
Tab. 33 - Fettsäureprofil von gekeimtem Buchweizenmehl nach GABROVSKÁ et al. (2002).....	55
Tab. 34 - Fettsäurekonzentrationen in einzelnen Buchweizenfraktionen nach DZIADEK et al. (2016).....	55
Tab. 35 - Übersicht einiger Vitamine in Buchweizen nach WIJNGAARD und ARENDT (2006) bzw. BOBKOV (2016)	56
Tab. 36 - Vitaminkonzentrationen in gekeimtem Buchweizenmehl nach GABROVSKÁ et al. (2002)	56
Tab. 37 - Konzentration verschiedener bioaktiver Verbindungen in den unterschiedlichen Fraktionen von Buchweizenkörnern nach DZIADEK et al. (2016).....	56
Tab. 38 - Übersicht sekundärer Pflanzenstoffe bei Buchweizen nach TIEN et al. (2018)	57

Tab. 39 - Chemische Zusammensetzung verschiedener Amarantharten (MW; (Min – Max))	67
Tab. 40 - Mineralstoffkonzentration in verschiedenen Amarantharten (MW; (Min – Max))	67
Tab. 41 - Aminosäureprofil von Amaranthmehl (<i>Amaranthus caudatus</i>) und Empfehlung der FAO/WHO/UNU (2007) nach GUARDIANELLI et al. (2019).....	68
Tab. 42 - Fettsäureprofil von Amaranthmehl (<i>Amaranthus caudatus</i>) nach GUARDIANELLI et al. (2019)	69
Tab. 43 - Gesamtphenol-, Phytat- und Tanningehalt in unbehandeltem Amaranthmehl (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) nach SIWATCH et al. (2019)	69
Tab. 44 - Farinographdaten Sorghum-Weizen-Mischung nach TORBICA et al. (2019) ..	75
Tab. 45 - Optimale Wasserzugabe zu den Mehlmischungen aus Weizen und weißem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)	76
Tab. 46 - Optimale Wasserzugabe zu den Mehlmischungen aus Weizen und rotem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)	76
Tab. 47 - Farinographparameter von Mehlmischungen aus Weizen und weißem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)	76
Tab. 48 - Farinographparameter von Mehlmischungen aus Weizen und rotem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012).....	76
Tab. 49 - Farinographdaten Hirse-Weizen-Mischung nach TORBICA et al. (2019).....	78
Tab. 50 - Farinographparameter von Weizen-Hirse-Mischmehlen nach GAVURNÍKOVÁ et al. (2011)	79
Tab. 51 - Farinograph Daten von Weizen-Buchweizen-Mischmehlen nach BONAFACCIA und KREFT (1994)	82
Tab. 52 - Farinographparameter von Weizen-Buchweizen-Mischmehlen nach GAVURNÍKOVÁ et al. (2011)	82
Tab. 53 - Farinographdaten von Weizen-Buchweizenmischungen nach ÖZER et al. (2010)	83
Tab. 54 - Einfluss von Amaranthzugabe zu Weizenteig auf die Parameter einer Farinographmessung nach BANERJI et al. (2017)	85
Tab. 55 - Farinographdaten von Weizen-Amaranth-Mischungen nach GROBELNIK MLAKAR et al. (2009)	86
Tab. 56 - rheologische Eigenschaften von Weizenmehl und Weizen-Sorghum-Mischmehl nach VÁSQUEZ et al. (2016)	88
Tab. 57 - Einfluss von Weizen-Fingerhirse-Mischungen auf Dehnlänge und Dehnwiderstand von Keksteig nach SAHA et al. (2011)	89

Tab. 58 - Daten der Extensograph-Messungen von Weizen-Buchweizen-Mischungen nach ÖZER et al. (2010).....	90
Tab. 59 - Extensograph-Daten von Amaranth-Weizen-Mischungen nach GROBELNIK MLAKAR et al. (2009)	92
Tab. 60 - Verkleisterungseigenschaften von 100 % Sorghum-Vollkornmehl nach MARSTON et al. (2016)	97
Tab. 61 - Verkleisterungs- und Quelleigenschaften von Hirse-Weizen-Mischungen nach WU et al. (2016).....	100
Tab. 62 - Verkleisterungseigenschaften von Prosohirse und Kleiner Hirse nach KUMAR et al. (2020).....	100
Tab. 63 - Verkleisterungs- und Quelleigenschaften von Buchweizen-Weizen-Mischungen nach WU et al. (2016)	101
Tab. 64 - Verkleisterungsprofil von Weizen-Amaranth-Mischungen nach CHAUHAN et al. (2016)	103
Tab. 65 - Verkleisterungseigenschaften von reinem, unbehandeltem Amaranthmehl (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>) nach SIWATCH et al. (2019)	103
Tab. 66 - Wasserabsorptionsindex (90 °C) von Sorghummehl mit verschiedenen Partikelgrößen und Mühlen nach RAO et al. (2016).....	106
Tab. 67 - Partikelgröße, Stärkegehalt und Wasserabsorptionsindex (30 °C) von Sorghum nach Al-RABADI et al. (2012)	106
Tab. 68 - Wasserabsorptionsindex von Prosohirse und Kleiner Hirse nach KUMAR et al. (2020).....	107
Tab. 69 - Wasserlöslichkeitsindex von Weizenmehl, Sorghumkleie und einer Mischung beider nach MOUNJOUENPOU et al. (2020)	111
Tab. 70 - Chemische Zusammensetzung und Wasserlöslichkeitsindex von Weizen und Sorghum nach ROBIN et al. (2015)	111
Tab. 71 - Wasserlöslichkeitsindex von Sorghummehl mit verschiedenen Partikelgrößen und Mühlen nach RAO et al. (2016)	112
Tab. 72 - Partikelgröße, Stärkegehalt und Wasserlöslichkeitsindex von Sorghum nach Al-RABADI et al. (2012)	112
Tab. 73 - Chemische Zusammensetzung und Wasserlöslichkeitsindex von Weizen, Prosohirse und Teff nach ROBIN et al. (2015)	113
Tab. 74 - Wasserlöslichkeitsindex von Prosohirse und Kleiner Hirse nach KUMAR et al. (2020).....	113
Tab. 75 - Chemische Zusammensetzung und Wasserlöslichkeitsindex von Weizen und Amaranth nach ROBIN et al. (2015)	115
Tab. 76 - Amylosegehalt und Wasserlöslichkeitsindex verschiedener Amarantharten nach KONG et al. (2009)	116

Tab. 77 - Konzentrationen der Kalibrationsgerade aus C-3-O-G zur Quantifizierung des TAC	128
Tab. 78 - Konzentrationen der Kalibrationsgerade aus Ferulasäure zur Quantifizierung des TPC.....	129
Tab. 79 - Konzentrationen der Kalibrationsgerade aus Eisensulfat-Heptahydrat zur Quantifizierung der gesamten antioxidativen Kapazität	131
Tab. 80 - Übersicht der chemischen Zusammensetzung der Mehle (alle Ergebnisse in [% i.d. TS]; unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	138
Tab. 81 - Übersicht der sekundären Pflanzenstoffe der Mehle (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	143
Tab. 82 - Übersicht der physikalischen Eigenschaften der Mehle (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	149
Tab. 83 - Übersicht der Wasseraufnahme [%] der Mehlmischungen, korrigiert auf eine Feuchte von 14 % (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)	153
Tab. 84 - Übersicht der Teigentwicklungszeit [min] der Mehlmischungen (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	156
Tab. 85 - Übersicht der Teigstabilität [min] der Mehlmischungen (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	159
Tab. 86 - Übersicht des Erweichungsgrads der Mehlmischungen 12 Minuten nach dem Maximum [HE] (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)	161
Tab. 87 - Übersicht der Energie [cm ²] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	163
Tab. 88 - Übersicht des Dehnwiderstands nach 50 mm [HE] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)	165
Tab. 89 - Übersicht der Dehnbarkeit [mm] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte).....	167
Tab. 90 - Übersicht des maximalen Dehnwiderstands [HE] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)	169

Abkürzungsverzeichnis

A	-	Amaranthmehl	N	-	Newton
Äq.	-	Äquivalente	RS	-	rotes Sorghummehl
BU	-	brabender units	RVA	-	Rapid Visco Analyzer
BW	-	Buchweizenmehl	RVU	-	Rapid Visco Units
cP	-	Centipoise	S	-	Sorghummehl (allg.)
d.b.	-	Dry basis	SP	-	Swelling Power
FAE	-	ferulic acid equivalent (Ferulasäureäquivalente)	TAC	-	total anthocyan content (Gesamtanthocyangehalt)
FAO	-	Food and Agriculture Organization	TPC	-	total phenolic content (Gesamtphenolgehalt)
FE	-	Farinographeinheiten	UNU	-	United Nations University
FRAO	-	ferric reducing antioxidant power	WAI	-	water absorption index (Wasserabsorptionsindex)
GAE	-	gallic acid equivalent (Gallensäureäquivalente)	WHO	-	World health organization
H	-	Hirsemehl	WS	-	weißes Sorghummehl
HE	-	Haubelteinheiten	WSI	-	water solubility index (Wasserlöslichkeitsindex)
MeOH	-	Methanol	WZ	-	Weizenmehl

%...Prozentangaben sind immer m/m, wenn nicht anders angegeben

1. Zusammenfassung

Diese Masterarbeit befasste sich mit zwei Themengebieten. Einerseits erfolgte eine chemische Analyse der Inhaltsstoffe von sieben Mehlen (Weizen, roter Sorghum, zwei weiße Sorghumsorten, Hirse, Buchweizen und Amaranth) und andererseits, darauf lag auch das Hauptaugenmerk dieser Arbeit, wurden die rheologischen Eigenschaften von Mehlmischungen aus Weizen und den oben genannten alternativen Körnerfrüchten in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen ermittelt. Dazu zählten unter anderem die Dehnbarkeit, Wasseraufnahme, Teigentwicklungszeit und Teigerweichung.

Besonders auffällig bei den chemischen Analysen war, dass Amaranth und Weizen sich hinsichtlich des Protein-, Fett- und Aschegehalts signifikant von allen anderen Proben und auch voneinander unterschieden. Diese einzigartige chemische Zusammensetzung von Amaranth spiegelte sich auch bei den physikalischen Messgrößen und den rheologischen Eigenschaften, besonders den Extensographversuchen, wider. Von den alternativen Körnerfrüchten war Buchweizen hinsichtlich des Protein- und Aschegehalts noch am ähnlichsten zu Amaranth. Auch bei einigen rheologischen Messgrößen zeigten diese beiden Proben ein ähnliches, und oft genau konträres bzw. stärker ausgeprägtes Verhalten zu den restlichen Proben. So stieg beispielsweise die Wasseraufnahme bei Amaranth an und blieb bei Buchweizen bei den Farinographversuchen konstant. Bei Hirse und allen untersuchten Sorghumsorten war bei einem Anstieg dieser alternativen Körnerfrüchte in der Mischung eine Abnahme der Wasseraufnahme zu beobachten. Darüber hinaus zeigte sich bei Amaranth und Buchweizen schon ab niedrigen Konzentrationen, dass bei einer Beimischung dieser Mehle, und in weiterer Folge Erhöhung des Anteils, zu einer Verkürzung der Teigentwicklungszeit, Teigstabilität, Abnahme des Dehnwiderstands nach 50 mm und einer Erhöhung des Erweichungsgrads 12 min nach dem Maximum führt. Bei den anderen Proben bewirkte, wenn überhaupt, erst eine höhere Konzentration in der Mehlmischung eine klar erkennbare Veränderung mit konstanter Trendrichtung.

Durch ein Beimischen von Mehlen alternativer Körnerfrüchte zu klassischem Weizenmehl können diverse Teigeigenschaften maßgeblich verändert werden, jedoch gilt es genau im Auge zu behalten, ob diese tatsächlich Vorteile für den industriellen Einsatz mit sich bringen und wie sich diese Mehlmischungen dann bei Backversuchen verhalten.

2. Summary

This master thesis dealt with two thematic areas. On the one hand the seven samples (wheat, red sorghum, two white sorghum varieties, millet, buckwheat and amaranth) were chemically characterised and on the other hand, which was the main focus of this work, the rheological properties of flour blends made from wheat and different ratios of alternative grains were determined. These included, among other parameters, the extensibility, water absorption, dough development time and the degree of softening. In the chemical analyses it was particularly noticeable that amaranth and wheat differed significantly in terms of protein, fat and ash content from all other samples and from each other. This unique chemical composition of amaranth was also reflected in the physical parameters and the rheological properties, especially in the extensograph trials. Of the alternative grains, buckwheat was, considering the protein and ash content, closest to amaranth. Also in some rheological parameters these two samples showed a similar behaviour, which was more pronounced or exactly the opposite to the rest of the samples. For example, the water uptake of blends with amaranth increased and remained constant in the case of buckwheat in the farinograph tests, while a decrease in water uptake was observed in all of the examined sorghum varieties and millet, with an increase of these alternative grains in the mixture. Furthermore it was found, that an increasing addition of amaranth and buckwheat flour, even at low concentrations, lead to a shorter dough development time, dough stability, decrease of the resistance to elongation after 50 mm and an increase in the degree of softening 12 minutes after maximum. Within the sorghum and millet blends, if at all, only a higher concentration in the flour mixture resulted in a clearly recognizable change with a constant trend direction.

By adding flours of alternative grains to classic wheat flour, various dough properties can be changed significantly, but it is important to keep an eye on whether these actually lead to advantages for industrial use and how these flour blends then behave in baking trials.

3. Einleitung und Aufgabenstellung

Getreide spielt in der Ernährung jeder Kultur eine wichtige Rolle. Die dominierende Getreideart und Zubereitungsmethode variiert jedoch, abhängig von den kulturellen Einflüssen und den klimatischen (Anbau-) Bedingungen des Landes.

2017 wurden in Österreich 1,35 Millionen Tonnen Weichweizen (inklusive Dinkel) geerntet, wobei nur ein Teil davon als Brotgetreide verwendet und der Rest als Futtergetreide eingesetzt wurde (DIE REPUBLIK ÖSTERREICH, 2018). Dennoch gelten ÖsterreicherInnen als Brotesser, da sie jeden Monat etwa 3 kg pro Kopf konsumieren. Außerdem spiegelt sich das in einer großen Vielfalt an verschiedenen Brotsorten (rund 150) wider. Zu den beliebtesten für Brot und andere Backwaren verwendeten Mehlsorten zählen Roggen-, Dinkel- und Weizenmehl. Besonders Weizen nimmt einen hohen Stellenwert in der Ernährung der ÖsterreicherInnen ein (RUDOLPH, 2018).

Allerdings kämpfen besonders Hersteller von Feinbackwaren in den letzten Jahren vermehrt mit Problemen, da sich die chemische Zusammensetzung des Weizens aufgrund des Klimawandels verändert. Im Fokus der Aufmerksamkeit stehen die Protein- und Glutenskonzentration.

Die Menge und Qualität von Gluten im Mehl spielt eine entscheidende Rolle, für welche Backwaren oder andere Produkte dieses Mehl verwendet werden kann, denn Gluten beeinflusst die Qualität des Teiges maßgeblich. Gliadin bestimmt die viskoelastischen Eigenschaften des Teiges wie Zähigkeit und Dehnbarkeit, während Glutenin die Elastizität und Dehnungsbeständigkeit des Teiges beeinflusst. Hat das Mehl nun einen zu hohen Glutengehalt kann es nicht mehr für (Fein-) Backwaren, wie z.B. Waffeln, in gewohnter Art und Weise verwendet werden, da es die üblichen Eigenschaften der Produkte, wie Maschinengängigkeit, negativ beeinflusst und somit die Qualität der Backwaren verringert (KRAUJUTENÉ und GAILEVIČIENÉ, 2017).

Mehle mit hohem Glutengehalt sollen laut KRAUJUTENÉ und GAILEVIČIENÉ (2017) für Hefeteige verwendet werden, während ein niedriger Glutengehalt bei empfindlichen Teigen (delicate dough), also zum Beispiel Muffins, Cupcakes, Waffeln, Kuchen, Kekse, erforderlich ist.

Standardmäßig wird für einen Großteil der Backwaren bzw. Feinbackwaren in Österreich Weizen verwendet. Aufgrund der sich ändernden klimatischen Verhältnisse

im Zuge des Klimawandels, welcher trendmäßig zu wärmeren und trockeneren Sommern in Österreich führt, hat sich auch die Zusammensetzung des normalerweise verwendeten Weizens verändert. Zu besonderen Problemen hat in den letzten Jahren häufig ein, für (Fein-) Backwaren, zu hoher Gluten- bzw. Klebergehalt der Weizenmehle geführt. Um weiterhin die gewohnten Produkte herstellen zu können, wird deshalb Mehl in „schlechterer Qualität“, also mit einem niedrigeren Glutengehalt, importiert.

Um dieses Problem zu umgehen und dennoch nicht auf die gewohnten sensorischen Eigenschaften und beliebten Produkte verzichten zu müssen (oder nur geringfügige Änderungen in Kauf zu nehmen), ist ein möglicher Ansatz einen gewissen Teil des Weizenmehls in der Rezeptur durch ein anderes Mehl, eines nicht glutenhaltigen Getreides bzw. von alternativen Körnerfrüchten zu ersetzen und so das Gluten zu „verdünnen“.

Als weitere Motivation für den Einsatz von Alternativgetreidearten in der Backindustrie kann die zu Weizenmehl vergleichsweise hohe biologische Wertigkeit dieser Körnerfrüchte gesehen werden. Viele dieser Pseudogetreide zeichnen sich durch ein ausbalanciertes Aminosäurenprofil (mit einem relativ hohen Anteil an essentiellen Aminosäuren), hohen Mineralstoff- und Vitamingehalten und das Vorhandensein sekundärer Pflanzenstoffe, welche einen positiven Effekt auf die menschliche Gesundheit haben, aus. Darüber hinaus verfügen sie in Anbetracht der Erderwärmung aufgrund ihrer Trockenheits- und Hitzeresistenz über durchaus wertvolle Eigenschaften für einen zukünftigen Anbau in Österreich.

Diese Masterarbeit beschäftigte sich mit der Charakterisierung der verschiedenen Rohstoffe (Vollkornmehle) hinsichtlich der chemischen sowie physikalischen Eigenschaften. Dazu wurden Versuche zur Bestimmung des Fett-, Protein-, Trockenmasse-, Stärke- und Aschegehalts durchgeführt. Des Weiteren erfolgte die Ermittlung des Gesamtanthocyan- und Gesamtphenolgehalts, sowie der gesamten antioxidativen Kapazität. Im Zuge der physikalischen Eigenschaften wurden die Swelling Power, sowie der Wasserabsorptions- und Wasserlöslichkeitsindex bestimmt. Darüber hinaus wurde das rheologische Verhalten von Teigen aus Mehlmischungen, in verschiedenen Mischungsverhältnissen, untersucht. Ausgangsmaterial dabei war immer Weizenmehl, welchem jeweils Mehl einer alternativen Körnerfrucht (Sorghum,

Hirse, Amaranth und Buchweizen) beigemischt wurde. Alle hierbei erhaltenen Ergebnisse dienen als Basis für weitere Forschungsschritte in Backversuchen, um letztendlich Informationen für die Verarbeitung solcher Mehlmischungen, vor allem für Bäckereien, zu erhalten.

4. Theoretischer Hintergrund

Die Hauptgetreideart, welche Europäer bzw. Österreicher zu sich nehmen, ist Weizen. Weizen dominiert die Getreide- und Backindustrie und somit sind fast alle Rezepturen auf diese Getreideart ausgelegt und optimiert.

Weizen bevorzugt eine spezielle Zusammensetzung der Erde, mit bestimmtem Nährstoffvorkommen, und hat hohe klimatische Anforderungen, weshalb er nur in gemäßigtem Klima ergiebig wachsen kann. Aus diesem Grund kann in Afrika beispielsweise kein Weizen angebaut werden, weshalb diese ärmeren Länder ihn von anderen Regionen wie den USA oder Europa importieren müssten, was sehr teuer wäre. Deshalb sind diese wärmeren und trockenen Regionen gänzlich auf andere Getreide- bzw. Pseudogetreidearten umgestiegen oder es hat zumindest eine teilweise Substitution des Weizens (weizenreduzierte Produkte) stattgefunden. Nun wächst aber auch in Europa das Interesse an diesen, in z.B. Afrika angebauten hitzetoleranteren Arten, weil aufgrund der Klimaerwärmung längere Trockenheitsperioden und wärmere Temperaturen zunehmen. Durch diese klimatischen Änderungen verändert sich auch die Zusammensetzung der Getreideinhaltsstoffe, welche in weiterer Folge zu Veränderungen in der Verarbeitung bzw. dem Endprodukt führen. Des Weiteren liegt in den letzten Jahren nun ein vermehrtes Augenmerk auf glutenfreien Weizenalternativen, aufgrund der weitverbreiteten Glutenunverträglichkeit (Zölliakie) (OHIMAIN, 2015).

Darüber hinaus bringen andere (Pseudo-) Getreidearten einzigartige Nährstoffkomponenten, wie beispielsweise einen hohen Ballaststoffgehalt, β -Glucan, eine Vielfalt an Mineralstoffen und phenolischen Verbindungen mit. Ein teilweiser oder gänzlicher Ersatz von Weizenmehl mit anderen Mehlen kann deshalb zu einer erheblichen Verbesserung der Nährstoffqualität von Backwaren führen (TORBICA et al., 2019).

Vorab ist anzumerken, dass bei den alternativen Körnerfrüchten in den meisten in dieser Arbeit zitierten Quellen keine exakte taxonomische Bezeichnung vorgefunden wurde, weshalb nicht immer eindeutig nachvollziehbar war, ob es sich um unterschiedliche Arten oder Sorten handelte.

4.1. Sorghum

Sorghum und Hirse gehören, wie auch Weizen, zur Familie der Süßgräser, Poaceae oder auch Graminae. Bisher machen diese beiden Getreidearten nur einen relativ kleinen Anteil an der weltweiten Gesamtgetreideproduktion aus. Dies könnte sich jedoch in Zukunft ändern, da sie schon bisher in ihren Ursprungsanbaugebieten Afrika und Indien, aufgrund ihrer geringen Wassermanforderungen und besonders ausgeprägten Trockenheitstoleranz, von großer Bedeutung sind. Auch in Österreich und Europa wird die Landwirtschaft mit immer wärmeren Temperaturen und längeren Trockenperioden zu kämpfen haben, was zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe sowie Ernteausfällen unserer bisher verwendeten Standardgetreidearten führen wird. Infolgedessen steigen die Herausforderungen für Lebensmittelproduktionsbetriebe, da eine Veränderung der Inhaltsstoffe meist die Bearbeitungs- und Endprodukteigenschaften beeinflusst (TAYLOR, 2019).

Der kultivierte Sorghum ist hauptsächlich *Sorghum bicolor* (TAYLOR, 2019). *Sorghum bicolor* (L.) Moench ist das fünft wichtigste Getreide weltweit und stellt aufgrund des hohen Nährwerts, besonders in trockenen und halb-trockenen Gebieten, eine wichtige Nahrungsquelle dar (ABDELHALIM et al., 2019; PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2019). In den südlichen Ländern Afrikas ist es sogar die zweitwichtigste Getreidepflanze. Einkommensschwache Menschen kommen durch Sorghum zu den notwendigen Kalorien und Mikronährstoffen. Bei einer auf Getreide und Hülsenfrüchten basierten Ernährung hat die WHO festgestellt, dass Protein- und Mineralstoffdefizite ein zunehmendes Problem werden. Das liegt unter anderem an den niedrigen Konzentrationen und der geringen Bioverfügbarkeit von essentiellen Mineralstoffen, wie Calcium, Eisen, Kalium, Phosphor und Zink in diesen Rohstoffen (MOTLHAODI et al., 2018). Obwohl Sorghum und Hirse einen ähnlichen Nährwert und potentiellen Gesundheitswert wie die anderen Hauptgetreidearten haben und deren Verwendung sogar den Genusswert, wie zum Beispiel Geschmack von Lebensmitteln verbessern kann, werden diese bisher kaum im großen industriellen Maßstab eingesetzt (CHISI und PETERSON, 2019). Sorghum und Hirse stellen in den Produkten ein ausgeglichenes Nährstoffangebot zur Verfügung. Sie sind reich an essentiellen Vitaminen (Vitamin B-Komplex) und Mineralstoffen, wie zum Beispiel Magnesium, Kalium, Eisen und Zink.

Beide Getreidearten sind zusätzlich glutenfrei und haben einen niedrigen glykämischen Index. Außerdem weisen beide einen hohen Gehalt an Polyphenolen auf, welche ein starkes antioxidatives Potential haben (ARE et al., 2019). Aufgrund dieser wertvollen Eigenschaften kann der ernährungsphysiologische Nährwert von Bäckereiprodukten durch Supplementierung von Weizenmehl mit Sorghum, Hirse, Buchweizen, Amaranth etc. gesteigert werden (NIETO-MAZZOCCO et al., 2019).

Bei der Ernte haben Sorghum- und Hirsekörner in etwa einen Feuchtigkeitsgehalt von 15 – 20 %, welcher durch Trocknen auf maximal 10 – 12 % reduziert wird. Die Körner werden in der Regel geschält, um deren sensorischen Eigenschaften zu verbessern (BETA und NDOLO, 2019). Besitzt das einzelne Sorghumkorn ein dickes, farbloses Perikarp (Schale), so erscheint es weiß. Ganz allgemein besteht ein Korn zu 84 % aus Endosperm, 9 % Keimling und 7 % Perikarp (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

4.1.1. Chemische Zusammensetzung

Sorghum ist hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung ähnlich zu Mais und Hirse. Die Hauptbestandteile sind Stärke, Fett, Protein, Nicht-Stärke-Polysaccharide, genauso wie Phytosterole und phenolische Verbindungen (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2019). Allerdings zeigen sowohl die Makro- als auch Mikronährstoffe eine große Variabilität, möglicherweise aufgrund der Anpassung der Pflanzen an verschiedene klimatische Verhältnisse während des Wachstums in den verschiedenen Anbaugebieten (ARE et al., 2019).

In Tab. 1 ist die chemische Zusammensetzung von Sorghum aufgelistet und gibt einen groben Überblick über die Spannweite einzelner Makronährstoffe basierend auf den Informationen und Ergebnissen verschiedener Studien. ARE et al. (2019) sowie SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) veröffentlichten ähnliche Ergebnisse; ungefähr 12 % Protein, 3 % Fett und 73 % Kohlenhydrate.

NIETO-MAZZOCCO et al. (2019) erhielten, bei einer chemischen Analyse von *Sorghum vulgare* (= *Sorghum bicolor* (L.) Moench), ähnliche Fettwerte, allerdings etwas höhere Kohlenhydratkonzentrationen (79,83 %). Die im Zuge ihrer Studie ermittelten Proteinwerte beliefen sich jedoch nur auf etwas mehr als die Hälfte (6,85 %) der von

ARE et al. (2019) und SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) präsentierten Ergebnisse.

Bei der Untersuchung eines kommerziell erhältlichen Sorghummehls, ohne Angabe der konkreten Sorte, erhielten VÁSQUEZ et al. (2016) ähnliche Ergebnisse der übrigen Makronährstoffe, jedoch mit nur 1,7 % einen geringeren Fettgehalt.

ABDELHALIM et al. (2019) analysierten den Proteingehalt von zehn Wildtypen und zwei am Markt verfügbaren Sorghumsorten. Die erhaltenen Ergebnisse lagen zwischen 10,2 und 14,6 %, wobei die Wildtypen tendenziell einen höheren Proteingehalt aufwiesen (ABDELHALIM et al., 2019).

Ein Vergleich von weißem und rotem Sorghummehl mit dem am meisten verwendeten Getreidemehl, Weizenmehl, zeigte in der Studie von YOUSIF et al. (2012) bei Auszugsmehl von Weizen einen höheren Proteingehalt als bei Sorghummehlen. Aber auch weißes Sorghummehl enthielt in dieser Studie signifikant mehr Protein als rotes Sorghummehl. Obwohl YOUSIF et al. (2012) Unterschiede (bei der Untersuchung von jeweils einer Sorte) gefunden haben, konnten diese von MOTLHAODI et al. (2018) nicht bestätigt werden. Das könnte daran liegen, dass YOUSIF et al. (2012) nur ein Mehl jeder Sorte untersuchten, während MOTLHAODI et al. (2018) mehrere Proben aus verschiedenen Ländern chemisch analysierten.

Beim Fettgehalt gab es mit 1,69 g/100 g bei weißem und 1,58 g/100 g bei rotem Sorghummehl bei den Ergebnissen von YOUSIF et al. (2012) keine signifikanten Unterschiede. Ähnliches spiegelte sich beim hohen Niveau an frei verfügbaren Kohlenhydraten wider (weißer Sorghum 81 %, roter Sorghum 84 %). Diese liegen in überwiegender Form als Stärke vor. Weizenmehl lag beim Aschegehalt, in der Studie von YOUSIF et al. (2012), hinter den beiden Sorghummehlen. Während der Gesamtballaststoffgehalt bei Weizenmehl und rotem Sorghummehl in etwa gleich (3,44 – 3,50 g/100 g) war, verfügte weißes Sorghummehl (4,09 g/100 g) über einen signifikant höheren Gehalt (YOUSIF et al., 2012).

4.1.1.1. Kohlenhydrate

Die in Sorghum vorhandenen Kohlenhydrate (Stärke und Ballaststoffe) werden im Allgemeinen langsam verdaut, sorgen für ein Völlegefühl und verzögern das Hungergefühl (ARE et al., 2019).

Stärke und Zucker

Das Endosperm beinhaltet beinahe die gesamte Stärke und den Großteil des Proteins, während der Keimling den Hauptteil des Fetts beinhaltet. Im nativen Zustand liegen die Stärkekörner in Sorghum und Hirse, wie die meisten Stärkekörner, in einer pseudokristallinen (auch semikristallin genannt) Form vor. Das bedeutet, dass sowohl kristalline als auch amorphe Teilbereiche vorzufinden sind. Sie sind in kaltem Wasser nicht löslich, können reversibel anschwellen und sind relativ unzugänglich für Enzymangriffe. Der durchschnittliche prozentuelle Anteil an Zuckern (löslichen Kohlenhydraten) liegt bei 1,3 %, wobei Saccharose den Hauptanteil ausmacht. Während der Reifung steigt der Gehalt auf 2,2 – 3,8 % an (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Die Stärke setzt sich bei Sorghum und Hirse aus zwei Arten von α -Glucanen zusammen, nämlich Amylose und Amylopektin. Amylose ist im Wesentlichen linear aus α -(1,4)-D-Glucopyranose mit einem sehr geringen Verzweigungsgrad aufgebaut. Amylopektin ist wesentlich größer. Es besteht aus Monomeren der D-Glucose, welche durch α -(1,4)- und α -(1,6)-Bindungen miteinander verknüpft sind. Den Hauptanteil der amorphen Bereiche, der semikristallinen Stärkekörner, macht die Amylose aus. Etwa 20 – 30 % des Gesamtstärkegehalts lassen sich auf Amylose zurückführen, was als durchschnittlich für ein Getreidekorn gilt (BEAN et al., 2019).

Ballaststoffe

Generell gelten Sorghum und Hirse als gute Quelle von Ballaststoffen. Der größte Teil befindet sich im Perikarp (Schale) und den Zellwänden des Endosperms, weshalb ein Schälen der Körner zu einer deutlichen Reduktion der Ballaststoffe führt. Der Gesamtballaststoffgehalt kann in die löslichen und unlöslichen Fraktionen aufgeteilt werden. Zu den unlöslichen Ballaststoffen zählen hauptsächlich Cellulose und Lignin, während die löslichen Ballaststoffe (Gluco-) Arabinoxylane (das sind Pentosane), β -

Glucan und andere lösliche Hemicellulosen beinhalten. Glucoarabinoxylane sind Arabinoxylane, welche aufgrund ihres hohen Anteils an Glucose diesen Zusatz in ihrem Namen tragen. Sie sind abhängig vom Verzweigungsgrad, Länge und Anzahl der Seitenketten löslich oder unlöslich. Eine der Hauptaufgaben dieser Zellwandbestandteile ist die Interaktion mit phenolischen Substanzen, wo sie strukturelle und schützende Funktionen ausüben. In Sorghum und Hirse überwiegt der unlösliche Anteil an Ballaststoffen. Er führt aufgrund eines hohen Niveaus von Antioxidantien, wie Phenolsäure und Polyphenolen, zu einer Verkürzung der Verdauungszeit. Des Weiteren helfen Ballaststoffe gastrointestinalen Problemen vorzubeugen und geben die Glucose nur langsam ins Blut ab. Bei Sorghum schwankt der Gesamtballaststoffgehalt zwischen 7,5 und 12,1 %, wovon etwa 85 % unlöslich sind (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

4.1.1.2. Protein

Die Proteinkonzentration und -zusammensetzung variieren aufgrund des Genotyps, landwirtschaftlicher Produktions- und Umweltbedingungen, wie Wasserverfügbarkeit, Boden, Düngung und Temperatur (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Bei einer Untersuchung 23 verschiedener Sorghumsorten von *Sorghum bicolor* (L.) Moench (sieben weiße, acht rote, sechs braune und jeweils eine lila und gelbbraune) wurde kein signifikanter Unterschied des Proteingehalts, siehe Tab. 3, zwischen den Sorten gefunden (MOTLHAODI et al., 2018).

In Tab. 4 sind die Anteile der einzelnen Proteinfractionen am Gesamtproteingehalt zu sehen (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Der Nährwert des Proteins wird bei allen Getreidearten immer an der vorhandenen Menge der Aminosäure Lysin gemessen, da diese (fast) immer die limitierende essentielle Aminosäure ist (ARE et al., 2019). So wie in anderen Getreidearten liegt auch bei Sorghum und Hirse ein Mangel an der essentiellen Aminosäure Lysin vor, obwohl die Albumin-, Globulin- und Glutelin-Fractionen reich an Lysin und anderen essentiellen Aminosäuren sind. Als Grund für den niedrigen Lysingehalt können der hohe Anteil (ungefähr 50 – 70 % des Gesamtproteingehalts) der Prolamine (Kafirine) und der verhältnismäßig kleine Keimling gesehen werden. Ungefähr 80 % des Proteins

befinden sich im Endosperm, 16 % im Keimling und 3 % im Perikarp. Im Keimling und den äußeren Schichten überwiegen Albumine und Globuline, wohingegen Prolamine (Speicherproteine) und Gluteline den größten Teil des Proteins im Endosperm ausmachen (BEAN et al., 2019).

Die Prolamine des Sorghums werden Kafirine genannt und in vier Untergruppen eingeteilt: α -, β -, γ -, δ -Kafirine. Sie haben eine niedrige Proteinqualität und sind eher schlecht verdaulich. Außerdem weisen sie hohe Ähnlichkeiten zu den Prolaminen des Mais, den Zeinen, auf. Kafirine sind Speicherproteine in Sorghum, welche sehr hydrophob, reich an den Aminosäuren Prolin, Asparagin und Glutamin, aber arm an Lysin sind. γ -Kafirine sind, eventuell aufgrund ihres hohen Cysteingehalts, durch Disulfidbrücken stark mit anderen Kafirinen verknüpft, weshalb sie nicht mit dem Enzym Protease verdaut werden können. Nach dem Kochen sind sie noch schlechter verdaulich, da zusätzliche inter- und intramolekulare Verknüpfungen entstehen (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Laut einer Studie von BEAN et al. (2019) befinden sich im Inneren der Proteinkörper hauptsächlich α -Kafirine, während am Rand vorwiegend β - und γ -Kafirine anzutreffen sind.

Grundsätzlich spielen die Proteine, weder in Sorghum noch in Hirse eine große Rolle in der Lebensmittelfunktionalität des Mehls, da der Großteil in Proteinkörper eingeschlossen und somit nicht als funktioneller Inhaltsstoff frei verfügbar ist. Wird Sorghum nass gekocht, so nimmt die Proteinverdaulichkeit und auch Löslichkeit der Kafirine ab. Im Gegensatz dazu verbessert das Kochen unter Anwesenheit eines reduzierenden Agens die Verdaulichkeit der Proteine (BEAN et al., 2019).

4.1.1.3. Fett

Fette machen einen eher geringen Anteil der Nährstoffe von Sorghum und Hirse aus. Die typische Zusammensetzung der Fettsäuren in Sorghumöl (extrahiert aus Sorghum) ist dominiert von Linolsäure (18:2), gefolgt von Ölsäure (18:1) und Palmitinsäure (16:0); ähnlich zu Mais (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

4.1.1.4. Mineralstoffe und Vitamine

Sorghum und Hirse gelten als wichtige Quelle von Mineralstoffen, wie zum Beispiel Magnesium, Eisen, Zink und Kupfer. Allerdings ist die Bioverfügbarkeit dieser Stoffe sehr niedrig und wird durch Nacherntebehandlungen, wie Schälen und Raffination, noch weiter reduziert (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Die am meisten vorhandenen Mineralstoffe in Sorghum sind, basierend auf den Ergebnissen von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) und Tab. 2, welche die Resultate mehrere wissenschaftlicher Artikel zusammenfasst, Kalium und Phosphor. Phosphor ist kaum verfügbar, da dieser gebunden in Form von Phytaten vorliegt. Mälzen und Fermentieren kann allerdings die Bioverfügbarkeit von Phosphor und anderen essentiellen Mineralstoffen deutlich steigern (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

ABDELHALIM et al. (2019) veröffentlichten jedoch im Gegensatz zu SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) zum Teil höhere Calcium- als Phosphorwerte. Dies könnte daran liegen, dass sich ABDELHALIM et al. (2019) mit anderen Sorghumsorten und vor allem mehreren Wildtypsorten beschäftigten. Die von ARE et al. (2019) (Tab. 5), ABDELHALIM et al. (2019) und SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) (Tab. 6) publizierten Eisen- und Zinkgehalte zeigen zum Teil deutliche Unterschiede auf, wobei ABDELHALIM et al. (2019) mit 0,45 – 0,87 mg/100 g die niedrigsten Eisen- und Zinkwerte anführten. Im Gegensatz zu den anderen Mineralstoffen ist die Bioverfügbarkeit bei Eisen und Zink, mit ca. 35 – 90 %, jedoch sehr hoch (ABDELHALIM et al., 2019).

Der Vergleich von Wildtypsorghumsorten und am Markt verfügbaren Sorten zeigte, dass im Falle von ABDELHALIM et al. (2019) die ermittelten Anteile der Mineralstoffe der am Markt verfügbaren Sorten, meist zwischen den Minima und Maxima der Wildtypsorten lagen. Die Zinkkonzentration der beiden am Markt verfügbaren Sorten lag jedoch unter allen Werten der zehn untersuchten Wildtypsorten. In Summe betrachtet haben laut der von ABDELHALIM et al. (2019) durchgeführten Studie Wildtypen eine höhere Konzentration an Makro- und Mikronährstoffen als konventionelle Sorghumsorten.

Bei allen in Tab. 7 von MOTLHAODI et al. (2018) angeführten Mineralstoffen gab es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen untersuchten Sorten der verschiedenfarbigen Sorghumkörner mit Ausnahme von Mangan und Natrium.

Ein Vergleich der von ABDELHALIM et al. (2019) und SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) ermittelten Mineralstoffgehalte zeigt große Unterschiede auf, die sich auch in Tab. 2 widerspiegeln.

Die Kalium- und Natriumwerte von MOTLHAODI et al. (2018) (K: 238,7 – 353,6 mg/100 g, Na: 0,8 – 1,7 mg/100 g) sind (deutlich) niedriger als von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) (K: 380 mg/100 g, Na: 50 mg/100 g). Dagegen liegt der Magnesium-, Phosphor- und Eisengehalt von MOTLHAODI et al. (2018) etwas niedriger als von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019), aber im gleichen Größenordnungsbereich. Die von MOTLHAODI et al. (2018) bestimmte Mangan- und Zinkkonzentration ist ca. gleich bzw. etwas höher als von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019). Verglichen mit ABDELHALIM et al. (2019) sind die von MOTLHAODI et al. (2018) ermittelten Eisen-, Zink- und Phosphorwerte höher. Der Calciumgehalt von MOTLHAODI et al. (2018) hingegen ist deutlich niedriger als bei ABDELHALIM et al. (2019) und auch geringer als bei SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019).

PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2019) (siehe Tab. 8) fanden sogar noch höhere Eisenwerte (bis zu 8,26 mg/100 g) als SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019). Die Konzentrationen der anderen analysierten Mineralstoffe bewegen sich in etwa im gleichen Bereich oder geringfügig darunter wie die Ergebnisse der anderen, bereits aufgelisteten AutorInnen. Eine Betrachtung der Ergebnisse von PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2019) zeigt, dass Eisen in beiden Sorten der mengenmäßig überwiegende Mineralstoff ist, bei rotem Sorghum jedoch signifikant mehr vorhanden ist als in weißem. Bei den restlichen Mineralstoffen kann kein wesentlicher Unterschied zwischen rotem und weißem Sorghum erkannt werden.

Zusammenfassend kann, wie bereits vorher erwähnt, festgestellt werden, dass die Zusammensetzung der Sorghumkörner sehr stark schwanken kann, da diese von vielen Faktoren beeinflusst werden; unter anderem von klimatischen Bedingungen, wie Trockenheit und Hitze, den im Boden verfügbaren Nährstoffen, dem Anbaugebiet, aber natürlich auch der Art bzw. Sorte.

Zink, Kupfer und Mangan sind die wichtigsten in Sorghum vorkommenden Spurenelemente, welche eine antioxidative Aktivität aufweisen, da sie freie Radikale fangen und so deren schädliche Wirkung unterbinden (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2019).

Sorghum und Hirse sind wichtige Quellen für die meiste B-Vitamine, mit Ausnahme von Vitamin B12, welches nur in tierischen Produkten und Hefen vorkommt. Die Vitamine sind hauptsächlich in der Aleuronschicht, zwischen Endosperm und Samenschalen, und dem Keimling konzentriert und werden zum Teil durch das Abtrennen dieser Schichten beim Schälen entfernt. Alkalische Behandlung, Mälzen und Fermentation hingegen erhöhen die Menge und Bioverfügbarkeit der B-Vitamine (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Darüber hinaus sind sie wertvolle Lieferanten für die fettlöslichen Vitamine D, E und K (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2019).

4.1.1.5. Sekundäre Pflanzenstoffe

Die Konzentration der Antioxidantien in Sorghum ist, wie die aller anderen Inhaltsstoffe auch, abhängig von Art bzw. Sorte, klimatischen Bedingungen und biotischen Stressoren (PRZYBYLSKA-BALCEREK, 2009).

Phenolische Verbindungen

Phenolische Verbindungen gelten als natürliche Abwehr gegen Schädlinge und Pflanzenkrankheiten, weisen antioxidative Wirkungen auf und haben möglicherweise einen gesundheitlichen Nutzen. Sorghum und Hirse bringen ein großes Potential an gesundheitlichem Nutzen für den Menschen, da beide große Mengen an Phenolen, Flavonoiden und manche Sorten auch kondensierte Tannine enthalten. Da sich auch hier der Großteil in den äußeren Schichten, also im Perikarp, Testa (Samenschale) und der Aleuronschicht befindet, führt Schälen zu einer Reduktion dieser antioxidativen sekundären Pflanzenstoffe. Phenolsäuren kommen aber auch in geringeren Konzentrationen im Endosperm vor (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019; PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Allerdings kann eine niedrigere Gesamtphenolkonzentration die Bioverfügbarkeit von Spurenelementen verbessern (ABDELHALIM et al., 2019).

ABDELHALIM et al. (2019) hatte mit 1,3 – 6,7 mg/g einen ziemlich ähnlichen Gesamtphenolgehalt zu den Werten in Tab. 10 gefunden, jedoch eine viel größere Streuung, was an der Untersuchung zahlreicher Wildtypen lag, welche höhere Werte als kultivierte Sorghumarten zeigten.

Der Gesamtphenolgehalt von Sorghum variiert in Abhängigkeit von Sorte und Perikarfarbe. Ganz allgemein lässt sich sagen, dass farbiger Sorghum einen höheren Phenolgehalt hat. Die dominierende Phenolsäure in Sorghum ist Ferulasäure, gefolgt von *p*-Cumarsäure, Hydroxybenzoesäure und Syringasäure. Die meisten kommen in an Zellwandpolymeren gebundener Form vor (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Freie Phenolsäuren sind vorwiegend in den äußeren Kernschichten (dem Perikarp und Aleuronschicht) zu finden (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Von den elf detektierten Phenolsäuren hatte in der Studie von PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009) sowohl roter als auch weißer Sorghum mit Abstand die höchsten Werte bei Ferulasäure, *p*-Cumarsäure und Protocatechusäure gezeigt (siehe Tab. 9) (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009). SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) haben als dominierende Phenolsäuren zwar auch die Ferula- und *p*-Cumarsäure genannt, jedoch nicht Protocatechusäure.

Der Ferulasäuregehalt war in weißem Sorghum um mehr als das Dreifache höher als in rotem. Bei der *p*-Cumarsäure und Protocatechusäure war der Gehalt in weißem Sorghum etwa doppelt so groß wie in rotem. Gegenteiliges Bild zeigte sich bei Kaffee- und Gallussäure, welche etwa in der doppelten Menge in rotem Sorghum, im Vergleich zu weißem, auftreten (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Darüber hinaus beobachteten PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009) beobachtet, dass Gallussäure nur in gebundener und Zimtsäure ausschließlich in freier Form vorkommen.

YOUSIF et al. (2012) beschäftigten sich in ihrer Studie mit dem Gesamtphenolgehalt und den Konzentrationen freier und gebundener Phenole von rotem und weißem Sorghum, verglichen mit Weizenmehl. Der bestimmte Gesamtphenolgehalt von rotem Sorghum war am höchsten und lag bei 3,70 mg GAE/g Probe (d.b.), gefolgt von weißem Sorghum mit 2,30 mg GAE/g Probe (d.b.). Diese beiden Werte stimmen etwa mit den von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) gefundenen Werten (Tab. 10)

überein. Weizenmehl erreichte einen deutlich geringeren Gesamtphenolgehalt von 0,59 mg GAE/g Probe (d.b.), weshalb es folglich auch bei den freien und gebundenen Phenolen nicht die Werte von Sorghum erreichen kann. Roter Sorghum erzielte sowohl beim freien, als auch gebundenen Phenolgehalt die höchsten Ergebnisse, mit 2,26 mg GAE/g Probe (d.b.) und 1,44 mg GAE/g Probe (d.b.). In weißem Sorghum wurden 1,08 mg GAE/g Probe (d.b.) freie Phenolsäuren und 1,22 mg GAE/g Probe (d.b.) bestimmt (YOUSIF et al., 2012).

In pigmentierten (farbigen) Sorghumsorten kommen neben Flavonen und Flavanonen auch Anthocyane vor, wobei auch hier der Gehalt abnimmt, je heller die Farbe ist (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Im Zuge der Untersuchung von rotem und weißem Sorghum hatten PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009) acht Flavonoide bestimmt, welche in Tab. 11 mit ihrer gefundenen Konzentration angegeben sind. Bei der Berechnung des Gesamtflavonoidgehalts in weißem Sorghum ergibt sich ein Wert von 13,06 mg/kg, welcher fast doppelt so hoch wie jener von rotem Sorghum (7,49 mg/kg) ist. In beiden Sorten wurde am meisten Katechin gefunden; in weiße Sorghum 4,57 mg/kg und in rotem 3,61 mg/kg. Der höhere Gesamtflavonoidgehalt von weißem Sorghum lässt sich auf etwa dreimal höhere Gehalte von Luteolin und Rutin sowie doppelte Mengen an Naringenin und Vitexin, im Vergleich zum untersuchten roten Sorghum, zurückführen (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Der Gesamtphenolgehalt, berechnet auf die Mehlbasis, steigt durch thermische Belastung im Zuge des Backens von z.B. Keksen an (TAYLOR und KRUGER, 2019).

PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009) fassten zusammen, dass weißer Sorghum eine reichere Quelle an Phenolsäuren (im Speziellen Ferulasäure), Flavonoiden und Lutein darstellt, während roter Sorghum über mehr Zeaxanthin und Mineralstoffe, wie Mangan und Eisen, verfügt.

Kondensierte Tannine

Sorghum ist unter den wichtigsten Getreidearten einzigartig, da manche Sorten signifikante Mengen an kondensierten Tanninen enthalten. Tannine schützen die Körner gegen Insekten, Vögel und Verwitterung. Sie werden als starkes Antioxidans betrachtet, welche einen positiven Einfluss auf die menschliche Gesundheit haben.

Diese positiven Effekte werden jedoch leider von negativen Nebenwirkungen begleitet. Zum einen verringern sie die Proteinverdaulichkeit, zum anderen reduzieren sie die Aktivität der Verdauungsenzyme. Kondensierte Tannine, auch Proanthocyanidine oder Procyanidine genannt, sind chemisch gesehen Polymere von Flavan-3-ol und/oder Flavan-3,4-diol Einheiten in glykosylierter oder nicht-glykosylierter Form. Sorghumsorten mit pigmentiertem Testa enthalten signifikante Mengen von kondensierten Tanninen, während nicht pigmentierte Körner keine kondensierten Tannine enthalten (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Eine Reduktion der Verdaulichkeit lässt sich auf die Fähigkeit von Tanninen der Bildung von Verknüpfungen (cross-linkages) zwischen Proteinen und anderen Makromolekülen zurückführen, weshalb sie für die Verdauung nicht mehr frei verfügbar sind (ABDELHALIM et al., 2019).

Die häufigsten Vorgehensweisen die schädliche Wirkung hoher Gehalte an Tanninen in Sorghum zu unterbinden, sind Schälen und Mälzen, obwohl dies keinen 100 % igen Erfolg bringt. Sorghumsorten mit einem hohen Tanningehalt werden durch eine Behandlung mit basischen Materialien entgiftet (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Der Tanningehalt von Sorghum liegt bei 2,3 – 8,8 mg/g (ABDELHALIM et al., 2019). SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) hingegen berichteten über einen kondensierten Tanningehalt in rotem Sorghum von ungefähr 12 – 16 mg Katechinäquivalente/g.

Carotinoide

Carotinoide sind gelb-orange lipophile Pflanzenfarbstoffe mit verschiedenen gesundheitlichen Vorteilen (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Sie zählen unter anderem zu den bioaktiven Komponenten, da sie die Wirkung von freien Radikalen inhibieren und so die Pflanzenzellen, besonders die Chloroplasten, vor Schäden schützen (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Unterteilt werden die Carotinoide in Carotine und Xanthophylle. Die Farbe des Endosperms von Sorghum hängt von der Konzentration der einzelnen Carotinoide ab. Zeaxanthin und Lutein stellen innerhalb der Untergruppe der Xanthophylle die wichtigsten Vertreter dar, da sie die am meisten in Sorghum vorkommenden Carotinoide sind und zusammen mehr als 60 % der Carotinoide ausmachen

(PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009; SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Ungefähr 20 % der Carotinoide gehen auf (Z)–Isomere von Lutein, Zeaxanthin und β -Carotinoide zurück. In geringen Mengen sind daneben noch α -Cryptoxanthin, β -Cryptoxanthin und α -Carotin vorhanden. Das Endosperm von Sorghum ist entweder gelb oder weiß, wobei das gelbe Endosperm laut der Studie von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) dreimal so viele Carotinoide ($61,6 \mu\text{g}/100 \text{ g}$) enthält. β -Carotine konnten nur in gelbem Endosperm nachgewiesen werden. Die Bioverfügbarkeit der Carotinoide in Sorghum ist zu anderen Inhaltsstoffen vergleichsweise gut (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Die Luteinkonzentration in weißem Sorghum ist ca. fünfmal so hoch wie in rotem, siehe Tab. 12, da dieses Carotinoid für eine hellere Farbe des Sorghumkorns verantwortlich ist. Bei Zeaxanthin zeigt sich ein konträres Bild, da dort die Konzentration bei rotem Sorghum fünfmal größer ist als bei weißen. Kein großer Unterschied lässt sich beim β -Carotingehalt zwischen rotem und weißem Sorghum feststellen. Aufgrund der zum Teil gravierenden Unterschiede kamen PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009) zu dem Schluss, dass die rote und weiße Farbe der Sorghumkörner sich auf die Zusammensetzung und die Gehalte der einzelnen Carotinoide zurückführen lässt (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Darüber hinaus enthalten die Körner Flavonolverbindungen, wie z. B. Naringenin (siehe Tab. 11), welches eine Vorstufe von Anthocyanen sein kann, die in weiterer Folge ebenfalls die Kornfarbe beeinflussen (PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2009).

Phospholipide

Phosphatidylcholin (Lecithin), Inositol, Ethanolamin und Serin zählen zu den in Sorghum und Hirse vorkommenden Phospholipiden, welche als Teil der Zellmembranen zum Erhalt ihrer Integrität (Funktion) beitragen und als „nutraceuticals“, aufgrund ihrer gesundheitsfördernden Wirkung, betrachtet werden. In Sorghum machen die Phospholipide ungefähr 0,9 % der Trockenmasse aus (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Phytosterole

Phytosterole sind cholesterinähnliche sekundäre Pflanzenstoffe mit einer cholesterinsenkenden Wirkung, welche strukturelle Bausteine der Pflanzenzellmembran sind. Der Gesamtphytosterolgehalt liegt bei 50 mg/100 g Sorghum. Die dabei überwiegende Form ist Sitosterol, gefolgt von Campesterol und Stigmasterol (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Phytate

Phytinsäure oder Phytate komplexieren für den Menschen essentielle Mineralstoffe, wie Calcium, Zink, Eisen und Magnesium und Proteine, und verhindern so die Möglichkeit einer Aufnahme dieser im Körper (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019; ABDELHALIM et al., 2019). Mälzen, Fermentation, Raffination des Mehls und Schälen reduziert den Phytatgehalt deutlich (bis zu 50 %) (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Insgesamt wurden in 30 von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) untersuchten Sorghumsorten 0,17 – 0,38 % Phytat-Phosphor, was 80 – 87 % des gesamten Phosphors ausmacht, gefunden. ABDELHALIM et al. (2019) hatten bei zwölf analysierten Sorghumsorten Phytinsäuregehalte zwischen 0,2 und 2,4 mg/g bestimmt.

Oxalate

Oxalate werden als antinutritive Inhaltsstoffe gesehen, weil sie das mit der Nahrung aufgenommene Calcium binden. Sorghum und Perlhirse wiesen bei SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) 4,5 mg Oxalat/100 g auf.

Cyanogene Glykoside

In den meisten Sorghumsorten kommen cyanogene Glykoside vor, allerdings ist die Menge von der Sorte und Umwelt abhängig. Das dominierende cyanogene Glykosid ist Dhurrin. Das einfache Korn hat einen niedrigen Gehalt an cyanogenen Glykosiden (1 – 29 ppm), drei Tage gekeimte Samen enthalten schon 258 – 1.030 ppm und das Maximum an Dhurrin wird zehn Tage nach der Keimung erreicht, wo es 3 – 4 % der Trockenmasse ausmacht. Bier, hergestellt aus gemälztem Sorghum, enthält keine oder nur eine sehr geringe und somit nicht giftige Menge an Cyaniden, sodass vermutet

wird, dass diese während dem Herstellungsprozess komplett abgebaut werden (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Tab. 1 - Chemische Zusammensetzung von verschiedenen Sorghumarten (MW; (Min – Max))

Inhaltsstoff [g/100 g d.b.]	Rot¹	Weiß²	Sorghum (allg. bzw. keine Angabe der Farbe bzw. Sorte)³
Kohlenhydrate	70,8; (57,9 – 84,0)	66,6; (55,1 – 81,0)	74,9; (70,0 – 79,8)
Stärke	65,5; (57,0 – 75,5)	66,1; (59,6 – 74,0)	72,1; (55,6 – 79,6)
Protein	11,0; (9,1 – 16,1)	11,2; (8,5 – 14,5)	10,0; (6,0 – 14,6)
Fett	3,0; (1,6 – 3,9)	3,0; (1,3 – 4,1)	3,9; (1,7 – 10,5)
Ballaststoffe	8,9; (3,5 – 16,4)	13,2; (4,1 – 19,7)	10,9; (7,5 – 14,2)
Rohfaser	2,4	1,8; (1,5 – 2,4)	2,4; (0,2 – 4,0)
Asche	1,6; (1,1 – 2,0)	1,6; (1,2 – 2,1)	1,5; (1,0 – 1,8)

Tab. 2 - Mineralstoffkonzentrationen in verschiedenen Sorghumarten (MW; (Min – Max))

Mineralstoff	Gehalt [mg/100 g]⁴
Calcium Ca	51,7; (9,2 – 270,0)
Phosphor P	246,1; (113,0 – 353,4)
Kalium K	291,3; (238,7 – 380,0)
Natrium Na	3,3; (0,8 – 50,0)
Magnesium Mg	151,3; (125,7 – 190,0)
Eisen Fe	3,4; (1,2 – 8,3)
Kupfer Cu	0,5; (0,2 – 1,1)
Mangan Mn	1,4; (0,8 – 2,0)
Zink Zn	2,1; (0,5 – 3,0)

¹ Quellen: AL-RABADI et al., 2012; BERNARDO et al., 2019; BOUDRIES et al., 2009; CHUCK-HERNÁNDEZ et al., 2013; EBURUCHE et al., 2019; ESPINOSA-RAMÍREZ und SERNA-SALDÍVAR, 2016; LLOPART und DRAGO, 2016; MOTLHAODI et al., 2018; NATHAKATTUR SARAVANABAVAN et al., 2013; ROCHETTI et al., 2020; YOUSIF et al., 2012

² Quellen: AFIFY et al., 2012; BERNARDO et al., 2019; BOUDRIES et al., 2009; CHUCK-HERNÁNDEZ et al., 2013; EBURUCHE et al., 2019; ESPINOSA-RAMÍREZ und SERNA-SALDÍVAR, 2016; LLOPART und DRAGO, 2016; MOTLHAODI et al., 2018; ROCHETTI et al., 2020; YOUSIF et al., 2012

³ Quellen: ABDELHALIM et al., 2019; ARE et al., 2019; BOUDRIES et al., 2009; DAS et al., 2019; MARSTON et al., 2016; MOTLHAODI et al., 2018; NIETO-MAZZOCCO et al., 2019; ROBIN et al., 2015; SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019; VÁSQUEZ et al., 2016

⁴ Quellen: ABDELHALIM et al., 2019; ARE et al., 2019; MOTLHAODI et al., 2018; PRZYBYLSKA-BALCEREK et al., 2019; SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019

Tab. 3 - Proteingehalt in verschiedenfarbigen Sorghumkörnern nach MOTLHAODI et al. (2018)

Kornfarbe	Protein [%]
Weiß	12
Rot	10 – 12
Braun	11 – 13
Lila	11
Gelbbraun	11

Tab. 4 - Proteinfractionen in Sorghum nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)

Albumin [%]	Globuline [%]	Prolamine (Kafirine) [%]	Gluteline [%]
2,7 – 11,5	7,1 – 16,3	23,2 – 43,1	26,2 – 41,8

Tab. 5 - Eisen- und Zink-Gehalt in Sorghum nach ARE et al. (2019)

Mineralstoff	Gehalt [mg/100 g]
Eisen	2,0 – 4,0
Zink	2,0 – 3,0

Tab. 6 - Übersicht einiger Mineralstoffe und Vitamine in Sorghum nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) und Mineralstoffgehalte von zwei am Markt verfügbaren Sorghumsorten verglichen mit Wildtypsorten nach ABDELHALIM et al. (2019)

Mineralstoff	Gehalt [mg/100 g]			
	Sorghum (SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019)	AG8 (ABDELHALIM et al., 2019)	Tabat (ABDELHALIM et al., 2019)	Wildtypsorten (ABDELHALIM et al., 2019)
Calcium Ca	34	220	150	50 – 270
Phosphor P	350	166	146	113 – 198
Kalium K	380	-	-	-
Natrium Na	50	-	-	-
Magnesium Mg	190	-	-	-
Eisen Fe	5,6	1,2	1,3	1,2 – 1,9
Kupfer Cu	1,1	-	-	-
Mangan Mn	1,6	-	-	-
Zink Zn	1,5	0,5	0,5	0,6 – 0,9
Vitamin	Gehalt [mg/100 g]			
	Sorghum (SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019)			
Thiamin (Vitamin B1)	0,45			
Riboflavin (Vitamin B2)	0,16			
Niacin (Vitamin B3)	4,88			
Pyridoxine (Vitamin B6)	0,59			
Folsäure (Vitamin B9)	0,02			
Tocopherol (Vitamin E)	1,38			

Tab. 7 - Vergleich verschiedenfarbiger Sorghumkörner hinsichtlich ihrer Mineralstoffzusammensetzung nach MOTLHAODI et al. (2018)

Mineralstoff [mg/100 g]	Rot	Weiß	Lila	Braun	Gelb- braun
Calcium Ca	10,6 – 17,5	9,2 – 15,8	20,9	11,4 – 16,1	13,5
Eisen Fe	2,5 – 4,2	2,5 – 3,8	3,2	2,9 – 3,6	3,3
Kalium K	273,6 – 320,9	238,7 – 330,7	353,6	266,9 – 293,1	287,4
Magnesium Mg	125,7 – 163,3	137,6 – 164,2	153,8	139,8 – 173,4	149,6
Mangan Mn	1,2 – 2,0	0,8 – 1,8	1,0	0,9 – 1,8	1,4
Phosphor P	228,3 – 304,3	251,2 – 333,6	329,2	261,9 – 353,4	286,5
Natrium Na	0,8 – 1,7	1,0 – 1,6	1,6	1,1 – 1,5	1,2
Zink Zn	1,8 – 3,0	2,0 – 2,9	2,4	2,2 – 2,8	2,5

Tab. 8 - Mineralstoffe in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2019)

Mineralstoff [mg/100 g]	Rot	Weiß
Zink Zn	1,43	1,54
Kupfer Cu	0,17	0,17
Mangan Mn	0,89	0,80
Eisen Fe	8,26	7,31

Tab. 9 - Phenolsäuren in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009)

Phenolsäure im Sorghumkorn [mg/kg]	Rot	Weiß
4-Hydroxybenzoesäure	19,0	11,5
Kaffeesäure	51,5	21,5
Chlorogensäure	11,5	25,0
Ferulasäure	91,5	293,0
Gallussäure	59,0	16,5
<i>p</i> -Cumarsäure	71,0	149,0
Protocatechusäure	83,5	142,5
Sinapinsäure	10,5	17,5
Syringasäure	5,5	25,0
<i>t</i> -Zimtsäure	-	11,5
Vanillinsäure	23,0	-

Tab. 10 - Übersicht sekundärer Pflanzenstoffe bei Sorghum nach SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)

Sekundärer Pflanzenstoff	Rot	Weiß
Gesamtphenolgehalt [mg GAE/g]	2,3 – 3,6	1,5 – 2,6
Flavonoide [mg Katechinäquivalente/g]	-	0,3 – 1,0
Anthocyane [mg Luteolindinäquivalente/g]	0,7	-

Tab. 11 - Flavonoide in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009)

Falvonoid [mg/kg]	Rot	Weiß
Apigenin	0,54	-
Katechin	3,61	4,57
Kaempferol	0,33	0,43
Luteolin	1,34	3,95
Naringenin	0,58	1,11
Quercetin	0,17	0,49
Rutin	0,42	1,61
Vitexin	0,50	0,90

Tab. 12 - Konzentration einiger Carotinoide in rotem und weißem Sorghum nach PRZYBYLSKA-BALCEREK et al. (2009)

Carotinoid [mg/kg]	Rot	Weiß
Lutein	24,6	122,3
Zeaxanthin	73,0	25,3
β-Carotin	34,3	27,0

4.2. Hirse

Hirse ist nicht eine einzelne Spezies, sondern eine Sammelbezeichnung mehrerer Gattungen verschiedener Unterfamilien. Die meisten Arten gehören zur gleichen Subfamilie wie Sorghum und Mais, nämlich den Panicoideae, aber es gibt zwei Hirsearten, welche zur Subfamilie der Chloridoideae gehören. Sorghum und die meisten Hirsearten werden generell in tropischen und subtropischen (halb-) trockenen Zonen kultiviert, wo andere Pflanzen normalerweise kaum überleben. Fuchsschwanzhirse (Kolbenhirse) und Rispenhirse werden normalerweise in höheren Lagen angebaut. Hirse hat wie Sorghum geringe Wasseranforderungen und toleriert sehr hohe Temperaturen. Aufgrund dieser Faktoren ist Hirse somit das sechst wichtigste Getreide weltweit (TAYLOR, 2019; BORA et al., 2019).

Bei der Ernte weisen Hirsekörner einen Feuchtigkeitsgehalt von 15 – 20 % auf, welcher für die optimale Lagerung durch Trocknen auf mindestens 10 – 13,5 % gesenkt werden muss (BETA und NDOLO, 2019; OVSIANNIKOVA et al., 2019).

Hirse bringt aufgrund der Zusammensetzung seiner Inhaltsstoffe die Möglichkeit mit sich den Ernährungsstatus der Bevölkerung zu verbessern. Eine Option hierfür wäre komplett neue Produkte auf den Markt zu bringen. Dabei stellt sich jedoch die Frage, wer sich für z.B. eine Hirsesemmel oder Hirsekekse entscheiden würde, wenn daneben weiterhin die gewohnten Weizenprodukte angeboten werden. Deshalb würde eine Beimengung von Hirse in Massenprodukten, insbesondere Backwaren, eventuell die wirkungsvollere Alternative darstellen (OVSIANNIKOVA et al., 2019).

Da, wie bereits erwähnt, das Klima in Europa von Jahr zu Jahr trockener und wärmer wird, was einen negativen Einfluss auf den Weizenanbau hat, würde sich Hirse (*Panicum miliaceum* L.) - aufgrund ihrer Trockenheitsresistenz, dem Wachstum unter schlechten klimatischen Bedingungen bzw. der Fähigkeit sich an eine weite Bandbreite von klimatischen Bedingungen zu adaptieren und der Resistenz gegenüber Schädlingen und Krankheiten - als Alternative anbieten (OVSIANNIKOVA et al., 2019; SRINIVASAN et al., 2019; BORA et al., 2019).

Im Vergleich zu Weizen und Reis erfordert der Hirseanbau einen geringeren Aufwand hinsichtlich Zeit und Ressourcen (BORA et al., 2019). So gesehen ist Hirse ein relativ pflegeleichtes Getreide.

4.2.1. Chemische Zusammensetzung

In Abhängigkeit vom Boden und klimatischen Bedingungen enthalten Hirsekörner im Durchschnitt 8,8 – 19,3 % Protein, 80 – 82 % Stärke und 2 – 3 % Fett und stellen somit eine gute Quelle für Kohlenhydrate, Proteine und Fette dar (SRINIVASAN et al., 2019; OVSIANNIKOVA et al., 2019). Diese Richtwerte decken sich in etwa mit jenen von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019), wobei die von ihnen untersuchte Perlhirse einen in etwa doppelt so hohen Fettgehalt, dafür geringeren Stärkegehalt aufwies. GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) verwendeten in ihrer Studie Hirsemehl von *Panicum miliaceum* L. (Rispenhirse oder auch Proso millet genannt). Der dabei ermittelte Protein- und Fettgehalt, 11,6 und 3,6 %, stimmen mit jenen der Rispenhirse von BORA et al. (2019) und OVSIANNIKOVA et al. (2019) in etwa überein. Mit nur 63,4 % Stärke lag der von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) bestimmte Wert jedoch deutlich unter jenem von OVSIANNIKOVA et al. (2019) und auch SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) (71,6 % Stärke).

Lysin ist bei den meisten Getreidearten die limitierende Aminosäure. Perlhirse enthält im Gegensatz zu den restlichen Hirsearten einen hohen Anteil an Lysin. Er wurde gezeigt, dass Perlhirse eine ungefähr 30 % höhere Konzentration an essentiellen Aminosäuren als Mais, Sorghum und Weizen hat. Der Fettgehalt, welcher sich hauptsächlich auf Triglyceride zurückführen lässt, gilt als einer der Hauptfaktoren für das Ranzigwerden des Mehls. Es hat sich jedoch gezeigt, dass auch die verschiedenen Genotypen einen Einfluss auf das Ranzigwerden haben. Die Ballaststoffkonzentration in Hirse, bewegte sich bei ARE et al. (2019), zwischen 7 und 8,5 %. In Perlhirse wurde sogar ein Ballaststoffgehalt von 20,4 % nachgewiesen. Dieser Wert ist höher als in Sorghum, Weizen und Reis (ARE et al., 2019).

Die von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) ermittelte Aschekonzentration von Perlhirse mit 1,7 g/100 g, entspricht in etwa jener von BORA et al. (2019); 2,1 g/100 g. Eine Gegenüberstellung mit den Aschewerten anderer von BORA et al. (2019) untersuchten Hirsearten zeigt allerdings auf, dass Perlhirse hier das Schlusslicht ist und Fingerhirse sogar einen Spitzenwert von 8,0 g/100 g erreicht.

4.2.1.1. Kohlenhydrate

Stärke und Zucker

Mit 52,9 – 64,5 % Gesamtstärkegehalt lagen die von BORA et al. (2019) ermittelten Werte zum Teil deutlich unter jenen von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) (71,6 %) und OVSIANNIKOVA et al. (2019) (80 – 82 %).

Bei Perlhirsesorten betrug der Anteil an löslichen Zuckern in etwa 1,4 – 2,8 %. Der Anteil an Saccharose war im Vergleich zu Sorghum allerdings geringer (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Der kristalline Anteil an Stärke belief sich bei Perlhirse auf ungefähr 24 %. Der Amylosegehalt in Perlhirse wies mit 4 – 38 % eine große Bandbreite auf (BEAN et al., 2019).

Neben den Konzentrationen an schnell und langsam verdaulicher und resistenter Stärke sind in Tab. 16 auch Werte des berechneten glykämischen Index angegeben. Dieser könnte laut BORA et al. (2019) niedriger sein als bei anderen Studien, aufgrund von Stärke-Protein-Fett-Interaktionen und anderen Komponenten wie Ballaststoffen und Phenolen in Hirse-Vollkornmehl. Den höchsten glykämischen Index weist Perlhirse mit 58,3 auf. Laut Definition von BORA et al. (2019) ist Perlhirse somit kein Lebensmittel mit einem niedrigen glykämischen Index, denn dafür müsste er ≤ 55 sein. Bei den in der Studie von BORA et al. (2019) untersuchten Hirsearten hat Kodohirse den niedrigsten glykämischen Index während es die höchsten Werte von resistenter Stärke hat.

Ballaststoffe

GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) haben in ihrem Artikel einen Gesamtballaststoffgehalt von 19,9 % angegeben. Auch bei Hirse überwiegen die unlöslichen Ballaststoffe deutlich mit 58 – 95 % - abhängig von der Art bzw. Sorte - des Gesamtballaststoffgehalts (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Diese Aussage unterstreichen die Daten von BORA et al. (2019), die bei allen untersuchten Arten eine vielfach höhere Konzentration von unlöslichen Ballaststoffen, verglichen mit den löslichen, fanden. Den höchsten Anteil an löslichen Ballaststoffen hat, SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) zufolge, wahrscheinlich Fingerhirse mit ungefähr 42 %, weshalb vorgeschlagen wurde, sie für die Produktion von funktionellen Lebensmitteln im

Bereich des Managements von Diabetes zu verwenden. Dieser extrem hohe Prozentsatz wurde von BORA et al. (2019) nicht gefunden. Sie ermittelten bei Perlhirse im Vergleich zu den anderen untersuchten Arten mit 2,6 g/100 g lediglich im Mittelfeld liegende Werte. Der Gesamtballaststoffgehalt befand sich in Abhängigkeit von der Sorte zwischen 1,32 und 37,8 %, siehe Tab. 13. Resultierend daraus gibt es auch unterschiedliche Mengen an löslichen und unlöslichen Ballaststoffen. Allerdings machten, wie bei Sorghum auch, Pentosane (Arabinoxylane) den Hauptbestandteil der Hemicellulosen aus (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

4.2.1.2. Protein

Der Vergleich mehrerer Hirsearten von BORA et al. (2019) zeigte hinsichtlich der Perlhirse ähnliche Werte wie SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) (13,3 g/100 g). Die restlichen Proteinwerte (6,2 – 14,1 %) der übrigen von BORA et al. (2019) untersuchten Hirsearten liegen etwas unter dem von OVSIANNIKOVA et al. (2019) angegebenen Bereich (8,8 – 19,3 %). OVSIANNIKOVA et al. (2019) haben jedoch nicht angegeben, um welche Hirsesorten es sich hierbei handelt. Bei BORA et al. (2019) kann hingegen nachvollzogen werden, dass Kodohirse für die untere Grenze und Fingerhirse für den höchsten Proteingehalt verantwortlich ist.

Im Hirseprotein sind verhältnismäßig große Mengen an essentiellen Aminosäuren, wie Lysin, Methionin, Tryptophan und anderen zu finden (OVSIANNIKOVA et al., 2019). BORA et al. (2019) hingegen vertreten die Meinung, dass Hirseprotein, wie das Protein anderer Getreidearten auch, einen niedrigen Lysingehalt im Vergleich zu anderen essentiellen Aminosäuren aufweist. Den in Tab. 18 aufgelisteten Werte zufolge stellt jedoch Methionin die limitierende essentielle Aminosäure dar (GABROVSKÁ et al., 2002).

Unter den Hirsearten, zählt Perlhirse zu jenen mit einem höheren Proteingehalt und besseren Verhältnis an essentiellen Aminosäuren, als Sorghum. Als möglicher Grund dafür kommt das größere Verhältnis von Keimling zu Endosperm in Frage. Sorghum enthält beispielsweise 0,7 – 3,9 g Lysin pro g Protein, wohingegen Perlhirse 1,7 – 6,5 g Lysin pro g Protein aufweist (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). BORA et al. (2019) verweisen darauf, dass die Proteinkonzentration von Perlhirse,

Rispenhirse, Fuchsschwanzhirse und Hühnerhirse ähnlich jenen von Weizen, Mais, Hafer und Gerste ist.

Der überwiegende Anteil am Gesamtprotein sind Prolamine, welche unglücklicherweise einen geringen Anteil an Lysin haben (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). In seiner Arbeit berichtete HORAK (2012) eine Proteinverteilung auf die Osborne-Fractionen bei Hirse, ohne konkrete Angabe der Sorte, welche dennoch innerhalb der in Tab. 17 angeführten Bereiche von Perlhirse liegen.

Perlhirse zeigte keine Veränderungen in der Proteinverdaulichkeit durch Kochen. Bei anderen Hirsearten führte dieser Prozessschritt aber zu einem Anstieg oder einer Abnahme der Verdaulichkeit, je nach Art (BEAN et al., 2019).

4.2.1.3. Fett

Der Gesamtfettgehalt von Perlhirse ist ungefähr 6,3 % (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Bei Betrachtung der Werte von BORA et al. (2019) hinsichtlich der freien Fette liegt Perlhirse mit 5,67 g/100 g an erster und Fingerhirse mit 0,93 g/100 g an letzter Stelle (BORA et al., 2019).

Wie auch bei Sorghum sind Linolsäure (18:2), Ölsäure (18:1) und Palmitinsäure (16:0) bei den meisten Hirsearten die Hauptfettsäuren; mit Ausnahme von Fingerhirse (BORA et al., 2019; SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Die von BORA et al. (2019) analysierte Zusammensetzung der Fettsäuren deckt sich mit jener von HORAK (2019) (siehe Tab. 20) und GABROVSKÁ et al. (2002) (siehe Tab. 21). Fingerhirse unterschied sich in ihrem Fettsäureprofil von jenem der anderen Arten, denn sie hat am meisten Ölsäure, gefolgt von Palmitinsäure und Linolsäure an dritter Stelle. Bei Kodohirse war das Verhältnis an Ölsäure und Linolsäure fast ausgeglichen (BORA et al., 2019).

Zusätzlich zu den in Tab. 19 aufgelisteten Fettsäuren kommen in allen Hirsearten langkettige Fettsäuren wie Arachidonsäure (20:0), Gadolsäure (20:1), Behensäure (22:0) und Lignocerinsäure (24:0) vor. In Summe machen die ungesättigten Fettsäuren (Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure) mehr als 75 % bei allen Arten aus.

Ein Nachteil von Perlhirse ist, dass sie nach dem Mahlen vermehrt Fehlgerüche entwickelt. Gründe hierfür können hohe Fettkonzentrationen, bedeutsame Mengen an ungesättigte Fettsäuren und wenig antioxidative Wirkungen in Perlhirse sein (SERNASALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Die meisten Hirsearten, z.B. Perlhirse, Barnyard (Hühner; *Echinochloa*), Fuchsschwanzhirse und kleine Hirse (Kutkihirse, *Panicum miliare*), haben einen höheren Fettgehalt als die meisten anderen Getreidearten. Gleichzeitig stellen diese Getreidefette durch ihren verhältnismäßig hohen Anteil eine gute Quelle für ungesättigte Fettsäuren dar, welche gleich mehrere positive Effekte auf die menschliche Gesundheit haben. Dazu zählt die Reduktion des Risikos einer Herzkreislauferkrankung, Verbesserung der kognitiven Funktionen und die Fähigkeit den glykämischen Index zu senken (BORA et al., 2019).

4.2.1.4. Mineralstoffe und Vitamine

In Tab. 14 ist unter anderem der Aschegehalt verschiedener Hirsearten angegeben, welcher eine Schätzung über den Gesamtmineralstoffgehalt einer Probe zulässt. Die von BORA et al. (2019) analysierten Aschegehalte reichen von 2,1 % bei Perlhirse bis zu 8,0 % bei Fingerhirse. Im Vergleich zu anderen Getreidearten liegen diese Werte in der Regel über dem Durchschnitt, weshalb Hirse eine gute Quelle darstellt, um den Körper mit essentiellen Mineralstoffen zu versorgen (BORA et al., 2019). Ebenso wie Sorghum ist auch Hirse reich an essentiellen Vitaminen und Mineralstoffen, wie Magnesium, Kalium, Eisen und Zink (ARE et al., 2019). Da Hirse neben der Trockenheitsresistenz den Vitamin- und Mineralstoffgehalt von Weizen bei weitem übertrifft und kostengünstiger ist, erscheint ein Zusatz von Hirse zu Backwaren ratsam (OVSIANNYKOVA et al., 2019).

Perlhirse ist eine gute Quelle für B-Vitamine. Die relativ hohen Konzentrationen der Mikronährstoffe Eisen und Zink sind vorwiegend im Keimling zu finden. Die von ARE et al. (2019) in ihrem Artikel angeführten Eisen und Zink-Konzentrationen von Perlhirse (Fe: 24,2 – 48,7 mg/100 g; Zn: 19,8 – 43,3 mg/100 g) zeigen große Variationen auf, welche noch größer werden, wenn verschiedene Arten miteinander verglichen werden. Diese Schwankungen werden durch die unterschiedlichen klimatischen

Bedingungen in den verschiedenen Anbaugebieten beeinflusst, aber auch die Züchtung kann die Gehalte erheblich verändern (ARE et al., 2019).

Die meisten Hirsearten enthalten signifikante Mengen von Phosphor, Kalium und Magnesium, wie GABROVSKÁ et al. (2002), OVSIANNYKOVA et al. (2019) und SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) zeigten. Das Eisenvorkommen ist in den meisten Getreidearten relativ niedrig, aber in Hirse etwas höher. Obwohl der Hauptanteil der Mineralstoffe Phosphor ist, ist seine Bioverfügbarkeit niedrig, da der Hauptteil als Phytate gebunden ist. Schälen führt zwar zu einer Verringerung des Gesamtmineralstoffgehalts, erhöht aber, wie Mälzen auch, die Bioverfügbarkeit der Mineralstoffe (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

OVSIANNYKOVA et al. (2019) berichteten über eine viel höhere Calcium- und Natriumkonzentration (51 und 28 mg/100 g) in den Hirsekörnern von *Panicum miliaceum* L. als SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) in Perlhirse (Ca: 29 mg/100 g; Na: 10 mg/100 g).

Eine Gegenüberstellung der Vitaminkonzentrationen in Tab. 22 und Tab. 23 zeigt im Großen und Ganzen relativ ähnliche Ergebnisse, mit Ausnahme einer erheblich geringeren Riboflavinkonzentration bei OVSIANNYKOVA et al. (2019). GABROVSKÁ et al. (2002) haben ähnliche Werte für Thiamin und Riboflavin gefunden, allerdings mit 5,1 mg/100 g eine deutlich höhere Niacinkonzentration. Es ist jedoch nicht eindeutig nachvollziehbar, welche Hirseart von GABROVSKÁ et al. (2002) untersucht wurde.

Charakteristisch für Hirse ist der mit 0,519 mg/100 g hohe Gehalt an Vitamin B6 (OVSIANNYKOVA et al., 2019; HORAK, 2012; GABROVSKÁ et al., 2002).

Mälzen beeinflusst den Riboflavin- und Niacin-Gehalt positiv, während das Mahlen der Hirsekörner zu signifikanten Verlusten der B-Vitamine führt (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Das Mahlen der Hirsekörner führt neben Vitaminverlusten zu einer signifikanten Reduktion des Protein- und Stärkegehalts, aber auch der Mineralstoffe, besonders von Phosphor (OVSIANNYKOVA et al., 2019).

Ferner sind in Tab. 15 die Werte der löslichen und unlöslichen Ballaststoffe angegeben. Während lösliche Ballaststoffe die Glucoseabsorption verlangsamen und so helfen das Blutinsulinniveau zu regulieren, verbessern unlösliche Ballaststoffe den Stuhlgang und die Ausscheidung von Gallensäure. Bei den unlöslichen Ballaststoffen herrscht eine

große Varianz der Konzentrationen (11,5 – 31,7 %) zwischen den verschiedenen Arten, wohingegen die Werte der löslichen relativ eng zusammenliegen (2,0 – 3,7 %). Da Hirse einen gleich hohen oder höheren Gehalt an löslichen und unlöslichen Ballaststoffen als die meisten anderen Getreidearten hat, könnte Hirse als funktionelle Zutat verwendet werden, um den Ballaststoffgehalt in Lebensmitteln zu erhöhen und so nährstoffreichere Produkte zu produzieren (BORA et al., 2019).

4.2.1.5. Sekundäre Pflanzenstoffe

SRINIVASAN et al. (2019) berichteten über Anwendungen von Fuchsschwanzhirse (*Setaria italica*) als Diuretikum und bei äußerlicher Anwendung als Antirheumatikum, während Barnyard Hirse (*Echinochloa frumentacea*) bei Verstopfung und zur Behandlung der Gallenblase zum Einsatz kommt.

Zu den positiven Eigenschaften von Hirse zählt, dass sie glutenfrei ist und einen niedrigen glykämischen Index hat (BORA et al., 2019). Des Weiteren besitzt Hirse einen hohen Polyphenolgehalt mit starker antioxidativer Wirkung (BEAN et al., 2019; REYES-MORENO et al., 2019; TAYLOR und KRUGER, 2019; SRINIVASAN et al., 2019; BORA et al., 2019). Im Allgemeinen ist Hirse eine gute Quelle von sogenannten „Phytochemicals“. Dazu zählen Phenolsäuren, Flavonoide, Katechine, Phytosterole etc. (SRINIVASAN et al., 2019).

Phenolische Verbindungen

Hirse gilt als gute Quelle für Phenolsäuren und Flavonoide, aber nur ein paar Sorten der Fingerhirse enthalten Tannine. Hirsesorten mit pigmentiertem (farbigem) Testa und Perikarp haben einen höheren Gehalt an Phenolen im Vergleich zu weißen oder gelben Sorten. Bei den meisten Hirsesorten überwiegen, wie auch bei Sorghum, die unlöslichen Phenole (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Flavonoide sind eine der meist untersuchten Gruppen der phenolischen Substanzen, aufgrund deren bestätigten positiven Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, wie antioxidative, gegen Krebs (kanzerogen), entzündungshemmende und den Verdauungstrakt schützende Eigenschaften. Der überwiegende Anteil der Flavonoide kommt in freier Form vor. Fingerhirse gilt als einzige Hirseart, in welcher sich eine signifikante Menge von Tanninen nachweisen lässt. Hydroxyzimtsäure und ihre

Derivate sind die dominierende Klasse von Phenolen in den löslichen und unlöslichen Fraktionen der Perlhirse. In Fingerhirse hingegen zählen die Flavonoide zu den dominierenden Substanzen (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Allgemein sind Ferulasäure, *p*-Cumarsäure und Kaffeesäure die Hauptkomponenten der Phenole, welche hauptsächlich in den äußeren Schichten der Körner anzutreffen sind, weshalb Schälen zu einem Verlust von bis zu 80 % dieser Inhaltsstoffe führt (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Hirse ist für seinen hohen Anteil von an Arabinoxylane gebundenen Phenolsäuren bekannt. Die mit Arabinoxylan verbundene, aus Fingerhirse isolierte, Ferulasäure besitzt SRINIVASAN et al. (2019) zufolge immunstimulatorische Eigenschaften.

In Tab. 25 sind die Konzentrationen freier und gebundener phenolischer Verbindungen verschiedener Hirsearten aufgelistet, welche eine große Bandbreite aufzeigen. Bei Perlhirse ergibt die Addition dieser beiden Werte rund 2.177 µg/g und liegt somit unter dem Gesamtphenolgehalt von 2,6 mg GAE/g aus Tab. 24, allerdings können diese beiden Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Einheiten nicht direkt miteinander verglichen werden. Bei Betrachtung der restlichen Werte fällt auf, dass Kodohirse mit großem Abstand über die höchsten Konzentrationen an freien (2.518 µg/g) und gebundenen phenolischen Verbindungen (7.570 µg/g) verfügt. Fingerhirse besticht durch sein beinahe ausgewogenes Verhältnis der beiden Kategorien, wohingegen bei allen anderen Arten die gebundenen phenolischen Verbindungen deutlich überwiegen. Rispenhirse hat sowohl am wenigsten freie (87 µg/g), als auch gebundene phenolische Verbindungen (1.414 µg/g) (BORA et al., 2019).

Tab. 26 und Tab. 27 zeigt die Zusammensetzung der Extrakte der sieben von BORA et al. (2019) untersuchten Hirsearten hinsichtlich der freien phenolischen Verbindungen. Gallussäure ist die Hauptphenolsäure in beispielsweise Finger- und Perlhirse, während in Kodohirse Sinapinsäure den überwiegenden Teil ausmacht. Diese drei Arten haben von den sieben untersuchten Arten auch in Summe den höchsten Gehalt an freien phenolischen Verbindungen, wobei Kodo- und Fingerhirse um etwa den Faktor zehn mehr haben als Perlhirse. Vanillinsäure war die einzige freie Phenolsäure, die in den Extrakten aller sieben Hirsearten nachgewiesen werden konnte. In Abhängigkeit der untersuchten Arten, Wachstumsbedingungen und Extraktionsmethoden kann sich das Verhältnis der Phenolsäuren in einzelnen Untersuchungen sehr unterschiedlich

darstellen. So gab es BORA et al. (2019) zufolge bereits Studien die zeigten, dass die Protocatechusäure in Fingerhirse dominiert, während Ferulasäure den größten Teil in Fuchsschwanz- und Perlhirse ausmacht. Es ist daher schwierig generell gültige Aussagen zu treffen (BORA et al., 2019).

1.107 – 7.570 µg/g gebundene Phenolsäuren kommen in den sieben, von BORA et al. (2019), untersuchten Hirsearten vor. Den höchsten Gesamtgehalt an gebundenen Phenolsäuren erlangte Kodohirse, wohingegen Kleine Hirse (auch Kutkihirse bzw. *Panicum miliare* genannt) den niedrigsten Gehalt aufwies. Ferulasäure war in den meisten Hirsearten, siehe Tab. 28 und Tab. 29, die dominierende Phenolsäure, welche in gebundener Form vorkommt. Bei den freien Phenolsäuren, siehe Tab. 26 und Tab. 27, hingegen spielte die Ferulasäure nur eine untergeordnete Rolle. Einzig und allein in Fuchsschwanz- und Rispenhirse ist die *p*-Cumarsäure die vorherrschende gebundene Phenolsäure. Aber auch in vielen anderen Arten kommt der *p*-Cumarsäure eine bedeutende Rolle zu, da sie häufig an zweiter Stelle, mengenmäßig direkt der Ferulasäure, nachfolgt. In Kodohirse erreichen neben Ferula- und *p*-Cumarsäure auch noch Syringa-, Gentisin- und Sinapinsäure Konzentrationen über 100 µg/g. Verglichen mit den freien Phenolsäuren, wo ausschließlich Vanillinsäure in allen Hirsearten frei vorkommt, sind mehrere Phenolsäuren (Syringasäure, *p*-Hydroxybenzoesäure, Ferulasäure und *p*-Cumarsäure) in gebundener Form in allen untersuchten Hirsearten präsent (BORA et al., 2019).

Überblicksmäßig betrachtet haben die meisten Hirsearten einen höheren Gehalt an Phenolsäuren, als andere in großen Mengen konsumierte Getreidearten wie beispielsweise Weizen. Diese höhere Phenolsäurenkonzentration macht Hirse in der Lebensmittelindustrie als funktionelle Zutat interessant, jedoch könnte die Stabilität der Phenolsäuren durch verschiedene Prozessierungsschritte, wie Backen, Frittieren, Dämpfen, Extrudieren etc., negativ beeinflusst werden (BORA et al., 2019).

Kondensierte Tannine

Nur bestimmte Hirsearten, wie Fingerhirse, enthalten signifikante Mengen an kondensierten Tanninen, aber auch hier führt das Schälen zu einer Reduktion und damit verbundenen besseren Verdaubarkeit der Proteine (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Carotinoide

Die Zusammensetzung der Carotinoide bei Hirse variiert von Art zu Art. Perlhirse zeigt einen Gesamtcarotinoidgehalt von etwa 227 – 229 µg/100 g (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Eine etwas höhere Carotinoidkonzentration, zwischen 200 und 300 µg/100 g, berichteten OVSIANNYKOVA et al. (2019), allerdings ohne Bezug auf eine konkrete Sorte zu nehmen. Die dominierenden Xanthophylle in Hirse sind Lutein und Zeaxanthin. Der β -Carotingehalt in Perlhirse liegt bei 36 – 38 µg/100 g (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Phospholipide

In Hirse machen Phospholipide zwischen 0,5 und 0,8 g/100 g Trockenmasse aus. Der größte Teil lässt sich auf Lysophosphatidylcholine und Phosphatidylcholine zurückführen (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Phytosterole

β -Sitosterol ist, unabhängig von der Hirseart, das am meisten vorkommende Sterol. In einigen Hirseart konnten neben den Sterolen auch Stanole, das sind Phytosterole, denen an Position fünf eine Doppelbindung fehlt, die aber ähnliche gesundheitsfördernde Wirkungen haben, nachgewiesen werden (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Phytate

In Perlhirse liegt der Phytatgehalt bei 0,57 – 0,78 g/100 g. Auch hier kann Schälen und Kochen zu einer Reduktion des Phytatgehalts beitragen (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019). Der niedrige Phytinsäuregehalt und glykämische Index von Hirse hilft Typ-2-Diabetes zu verhindern, Gewicht zu verlieren und das Risiko einer Herzerkrankung zu senken (SRINIVASAN et al., 2019).

Cyanogene Glykoside

Perlhirse beinhaltet etwa 15 ppm Cyanid. Einweichen reduziert die Cyanidkonzentration drastisch auf 2,5 ppm, wohingegen Keimen für mehr als 72 Stunden die Konzentration auf mehr als 100 ppm anhebt. Eine Kombination von

Fermentation und Kochen führt ebenfalls zu einer erheblichen Reduktion des Cyanidgehalts (SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019).

Tab. 13 - Chemische Zusammensetzung verschiedener Hirsearten (MW; (Min – Max))

Inhaltsstoff [g/100 g d.b.]	Hirse (allg., keine Artangabe bzw. seltener Arten)⁵	<i>Panicum miliaceum</i> L. (Rispenhirse oder auch Proso millet)⁶	Perlhirse⁷
Stärke	63,4; (52,9 – 82,0)	73,9; (56,1 – 80,1)	65,2; (60,5 – 71,6)
Protein	10,6; (6,2 – 19,3)	11,5; (8,0 – 14,1)	12,8; (9,0 – 14,5)
Fett	3,3; (0,9 – 5,0)	2,8; (1,5 – 4,5)	5,7; (5,1 – 6,3)
Ballaststoffe	19,9; (2,2 – 37,8)	5,1; (1,3 – 19,9)	11,4; (7,0 – 20,4)
Rohfaser	7,2; (3,6 – 11,9)	9,0	2,2; (2,0-2,3)
Asche	3,2; (1,2 – 8,0)	1,3; (0,7 – 3,6)	1,9; (1,7 – 2,1)

Tab. 14 - Mineralstoffkonzentration in verschiedenen Hirsearten (MW; (Min – Max))

Mineralstoff	Gehalt [mg/100 g]⁸
Calcium Ca	65,9; (6,5 – 397,0)
Phosphor P	279,8; (150,0 – 350,0)
Kalium K	287,6; (170,0 – 470,0)
Natrium Na	13,4; (2,5 – 28,0)
Magnesium Mg	145,5; (120,0 – 253,0)
Eisen Fe	5,5; (1,3 – 15,6)
Kupfer Cu	1,5; (0,1 – 4,9)
Mangan Mn	4,0; (0,7 – 15,0)
Zink Zn	3,3; (1,4 – 8,2)

⁵ Quellen: ARE et al., 2019; BORA et al., 2019; DAS et al., 2019; GABROVSKÁ et al., 2002; HORAK, 2012; ROBIN et al., 2015; SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019; OVSIANNIKOVA et al., 2019

⁶ Quellen: BORA et al., 2019; DAS et al., 2019; GAVURNÍKOVÁ et al., 2011; ROBIN et al., 2015; SHEN et al., 2018; TYL et al., 2017

⁷ Quellen: ARE et al., 2019; BORA et al., 2019; DAS et al., 2019; SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019

⁸ Quellen: OVSIANNIKOVA et al., (2019); SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ, 2019; ARE et al., 2019; GABROVSKÁ et al., 2002

Tab. 15 - Vergleich verschiedener Hirsearten in ihrem Ballaststoffgehalt nach BORA et al. (2019)

	Ballaststoffe [g/100 g]	
	Unlösliche Ballaststoffe	Lösliche Ballaststoffe
Kleine Hirse bzw. Kutkihirse <i>(Panicum miliare)</i>	21,8	3,5
Fuchsschwanz	23,0	2,7
Barnyard (Hühner; Echinochloa)	26,1	2,0
Kodo	31,7	2,2
Proso (Rispen)	16,1	2,4
Perl	11,5	2,6
Finger	20,4	3,7

Tab. 16 - Zusammensetzung der Stärke verschiedener Hirsearten nach BORA et al. (2019)

	Gesamt- stärke [%]	Schnellver- dauliche Stärke [%]	Langsam- verdauliche Stärke [%]	resistente Stärke RES [%] (nach 120 min Verdauung)	berechneter glykämischer Index
Kleine Hirse <i>(Panicum miliare)</i>	55,6	20,2	32,1	47,7	44,8
Fuchsschwanz	55,1	22,4	36,9	40,7	45,8
Barnyard (Hühner; <i>Echinochloa)</i>	55,8	24,8	30,7	44,6	50,2
Kodo	52,9	19,2	29,6	51,2	42,7
Proso (Rispen)	64,5	27,3	36,4	36,4	55,1
Perl	60,6	28,7	40,3	31,0	58,3
Finger	63,1	25,3	39,2	35,5	56,1

Tab. 17 - Proteinfractionen in Perlhirse nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)

Albumin [%]	Globuline [%]	Prolamine [%]	Gluteline [%]
6,1 – 26,5	3,5 – 16,8	21,3 – 49,5	16,0 – 45,3

Tab. 18 - Aminosäureprofil von Hirse nach GABROVSKÁ et al. (2002)

Aminosäuren	Gehalt [g/100 g Probe]
Asparaginsäure	0,99
Threonin	0,43
Serin	0,72
Glutaminsäure	2,95
Prolin	1,07
Glycin	0,31
Alanin	1,64
Valin	0,66
Methionin	0,15
Isoleucin	0,61
Leucin	1,89
Tyrosin	0,65
Phenylalanin	0,72
Histidin	0,29
Lysin	0,19
Arginin	0,51
Cystein	0,24

Tab. 19 - Fettsäureprofil von mehreren Hirsearten nach BORA et al. (2019)

Fettsäure	Gehalt [% am Gesamtfettsäuregehalt]
Palmitinsäure (16:0)	8,2 – 18,4
Stearinsäure (18:0)	1,7 – 5,5
Ölsäure (18:1)	19,4 – 37,8
Linolsäure (18:2)	38,2 – 65,8
Linolensäure (18:3)	0,7 – 3,2

Tab. 20 - Fettgehalt und Fettsäurezusammensetzung von Hirse nach HORAK (2012)

Fett/Fettsäure	Gehalt [% am Gesamtfettgehalt]
Gesamtfett	3,90 g/100 g
Palmitinsäure (16:0)	19,48
Stearinsäure (18:0)	4,87
Ölsäure (18:1)	23,85
Linolsäure (18:2)	45,38
Linolensäure (18:3)	3,33

Tab. 21 - Fettsäurekonzentration in Hirse nach GABROVSKÁ et al. (2002)

Fettsäure	Gehalt [% am Gesamtfettgehalt]
Myristinsäure (14:0)	0,10
Myristolsäure (14:1)	0,04
Palmitinsäure (16:0)	9,4
Palmitoleinsäure (16:1)	0,22
Stearinsäure (18:0)	1,62
Ölsäure (18:1)	20,8
Linolsäure (18:2)	64,4
Linolensäure (18:3)	1,59
Arachinsäure (20:0)	0,53
Cis-11-Eicosensäure (20:1)	0,66
Behensäure (22:0)	0,48
Erucasäure (22:1)	0,23

Tab. 22 - Übersicht einiger Vitamine in Perlhirse nach SERENA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)

Vitamin	Gehalt [mg/100 g]
Thiamin (Vitamin B1)	0,42
Riboflavin (Vitamin B2)	0,23
Niacin (Vitamin B3)	2,95
Tocopherol (Vitamin E)	1,9

Tab. 23 - Vitamine in Hirsekörnern nach OVSIANNYKOVA et al. (2019)

Vitamin	Gehalt [mg/100 g Hirsekorn]
β-Carotin (Provitamin A)	0,01
Thiamin (Vitamin B1)	0,32
Riboflavin (Vitamin B2)	0,07
Niacin (Vitamin B3)	2,85
Tocopherol (Vitamin E)	2,3

Tab. 24 - Übersicht sekundärer Pflanzenstoffe bei Perlhirse nach SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019)

Sekundärer Pflanzenstoff	Gehalt
Gesamtphenolgehalt [mg GAE/g]	2,6
Flavonoide [mg Katechinäquivalente/g]	0,6

Tab. 25 - Freie und gebundene phenolische Verbindungen verschiedener Hirsearten nach BORA et al. (2019)

	Gehalt [µg/g]	
	Freie phenolische Verbindungen	Gebundene phenolische Verbindungen
Kleine Hirse bzw. Kutkihirse (<i>Panicum miliare</i>)	187	1.107
Fuchsschwanz	122	2.774
Barnyard (Hühner; <i>Echinochloa</i>)	127	2.324
Kodo	2.518	7.570
Proso (Rispen)	87	1.414
Perl	228	1.949
Finger	2.229	2.778

Tab. 26 - Konzentrationen einzelner freier Phenolsäuren in Kleiner Hirse, Fuchsschwanzhirse und Barnyard-Hirse nach BORA et al. (2019)

Freie Phenolsäure [µg/g]	Kleine Hirse (<i>Panicum miliare</i>)	Fuchsschwanz	Barnyard (Hühner; <i>Echinochloa</i>)
Protocatechusäure	6,0	3,8	8,2
Vanillinsäure	4,5	5,6	4,9
Syringasäure	-	8,8	5,4
Gentisinsäure	-	-	-
Gallussäure	-	-	22,2
<i>p</i> -Hydroxybenzoesäure	1,3	2,1	2,1
Ferulasäure	-	4,1	-
Sinapinsäure	-	-	-
Kaffeesäure	-	3,1	-
<i>p</i> -Cumarsäure	-	3,6	3,7

Tab. 27 - Konzentrationen einzelner freier Phenolsäuren in Kodo-,Rispen-, Perl- und Fingerhirse nach BORA et al. (2019)

Freie Phenolsäure [µg/g]	Kodo	Rispen	Perl	Finger
Protocatechusäure	9,0	-	26,6	25,0
Vanillinsäure	20,8	2,2	1,5	56,5
Syringasäure	38,9	-	27,5	-
Gentisinsäure	30,3	-	-	6,1
Gallussäure	6,7	-	78,3	100,0
<i>p</i> -Hydroxybenzoesäure	8,3	0,8	4,5	-
Ferulasäure	4,9	-	2,4	1,5
Sinapinsäure	73,4	-	1,9	-
Kaffeesäure	14,3	-	-	-
<i>p</i> -Cumarsäure	40,9	1,8	17,5	-

Tab. 28 - Konzentrationen einzelner gebundener Phenolsäuren in Kleiner Hirse, Fuchsschwanzhirse und Barnyard-Hirse nach BORA et al. (2019)

Gebundene Phenolsäure [µg/g]	Kleine Hirse (<i>Panicum miliare</i>)	Fuchsschwanz	Barnyard (Hühner; <i>Echinochloa</i>)
Protocatechusäure	-	10,4	-
Vanillinsäure	14,2	77,7	47,1
Syringasäure	11,2	47,9	33,6
Gentisinsäure	-	-	-
Gallussäure	4,2	9,6	-
<i>p</i> -Hydroxybenzoesäure	17,8	11,9	3,7
Ferulasäure	424	812	896
Sinapinsäure	6,2	-	9,6
Kaffeesäure	116,0	4,6	-
<i>p</i> -Cumarsäure	144	1.353	62

Tab. 29 - Konzentrationen einzelner gebundener Phenolsäuren in Kodo-, Rispen-, Perl- und Fingerhirse nach BORA et al. (2019)

Gebundene Phenolsäure [µg/g]	Kodo	Rispen	Perl	Finger
Protocatechusäure	17,3	31,3	4,2	22,9
Vanillinsäure	42,7	23,3	12,3	-
Syringasäure	713,5	31,0	11,4	8,9
Gentisinsäure	178,5	-	-	45,7
Gallussäure	27,0	-	16,0	66,2
<i>p</i> -Hydroxybenzoesäure	12,4	3,2	8,2	85,4
Ferulasäure	4.268	505	1.385	717
Sinapinsäure	190,3	-	12,3	8,5
Kaffeesäure	94,8	2,3	28,3	85,1
<i>p</i> -Cumarsäure	1.588	810	272	45

4.3. Buchweizen

Buchweizen, *Fagopyrum esculentum*, gehört zur Familie der Polygonaceae und zählt neben Amaranth und Quinoa zu den Alternativ-/Pseudogetreiden. Die sogenannten Pseudogetreide zählen botanisch gesehen nicht zu den Getreiden, da sie keine Gräser, sondern sogenannte Körnerfrüchte sind, haben aber bezogen auf ihre Zusammensetzung viele Ähnlichkeiten mit Getreide (TIEN et al., 2018; HORAK, 2012). Ein großer und wichtiger Unterschied dieser Pseudogetreide im Vergleich zu Weizen ist die Tatsache, dass sie nicht das Kleberprotein Gluten enthalten, somit glutenfrei und für ZöliakiepatientInnen geeignet sind (DZIADEK et al., 2016).

Neben einem niedrigen Kaloriengehalt, einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren und einem für die menschliche Ernährung ausgewogenen Profil an essentiellen Aminosäuren mit hohem Lysingehalt verfügt Buchweizen auch über ein hohes antioxidatives Potential. In letzter Zeit erweckte er aufgrund des hohen Nährwerts und der gesundheitsfördernden Eigenschaften das Interesse der Wissenschaft als funktionelles Lebensmittel (TIEN et al., 2018; HORAK, 2012; BONAFACCIA und KREFT, 1994).

Eine Einsatzmöglichkeit wäre zum Beispiel als Ergänzungsmittel in Teigen, um die Bildung von Nitrosaminen im Verdauungstrakt zu verhindern. Des Weiteren soll Buchweizen in der Ernährung helfen die Kapillarwände zu stärken und positive Effekte für Patienten mit Bluthochdruck und Typ-2-Diabetes haben (TIEN et al., 2018).

4.3.1. Chemische Zusammensetzung

DZIADEK et al. (2016) stellten fest, dass die chemische Zusammensetzung der Buchweizensamen von anderen Literaturquellen abweichen kann, in Abhängigkeit der untersuchten Art, den klimatischen Bedingungen, den vorhandenen Nährstoffen im Boden und den Lagerungsbedingungen der Proben.

Allgemein wird Buchweizen aufgrund der Zusammensetzung seiner Makronährstoffe als sehr nahrhaft eingestuft (ÖZER et al., 2010). Buchweizensamen sind eine gute Protein- und Kohlenhydratquelle (DZIADEK et al., 2016). Tab. 30 gibt einen groben Überblick über die chemische Zusammensetzung von Buchweizen.

HORAK (2012) und TIEN et al. (2018) berichteten ähnliche Proteinkonzentrationen bei Buchweizenmehl (11,31 bzw. 11,0 g/100 g), wohingegen der Fettgehalt bei TIEN et al. (2018) mit 3,4 g/100 g etwas höher war. In gekeimtem Buchweizenmehl ist der Fettgehalt zu HORAK (2012) unverändert (etwa 2,4 %), allerdings steigt die Proteinkonzentration durch diesen Prozessierungsschritt scheinbar an, denn GABROVSKÁ et al. (2002) stellten 14,4 g Protein/100 g Mehl fest. Eine ähnlich hohe Proteinkonzentration wie GABROVSKÁ et al. (2002) ermittelten DZIADEK et al. (2016) in ganzen und geschälten Samen.

Der von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) in Buchweizenmehl bestimmte Fettgehalt von lediglich 1,7 % liegt deutlich unter jenen von TIEN et al. (2018), HORAK (2012) und GABROVSKÁ et al. (2002) ermittelten Werten. Viel eher befindet sich dieser im Bereich des Fettgehalts eines ganzen Samens, wie es DZIADEK et al. (2016) analysiert hat. Der Fettgehalt ist DZIADEK et al. (2016) zufolge in ganzen Buchweizensamen, ohne Angabe darüber ob diese geschält sind oder nicht, mehr als doppelt so hoch als in Buchweizenmehl, obwohl aus ganzen Samen für die Analyse der chemischen Zusammensetzung natürlich Mehl gemahlen werden muss. DZIADEK et al. (2016) untersuchten in ihrer Studie verschiedene Fraktionen von Buchweizen. Der prozentuelle Anteil an Fett war bei DZIADEK et al. (2016) bei geschälten Samen zwar höher als bei ganzen Samen (Vollkorn), allerdings ging auch dort der Fettgehalt nicht über den von HORAK (2012) in Buchweizenmehl gefundenen Wert von 2,48 % hinaus.

Der Kohlenhydratgehalt der sechs untersuchten Buchweizensorten von DZIADEK et al. (2016) liegt mit 77,36 – 81,38 g/100 g im ganzen Samen, über dem von TIEN et al. (2018) ermittelten Wert in Buchweizenmehl (73,7 g/100 g). KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ (2017) fanden bei ihren Untersuchungen in Buchweizenmehl sehr ähnliche Konzentrationen von Kohlenhydraten (72 %) und Protein (10 %) wie TIEN et al. (2018); 73,7 und 11 %. Darüber hinaus liegt auch die von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) ermittelte Proteinkonzentration, mit 11 g/100 g, im selben Bereich.

Eine Betrachtung der Ergebnisse von DZIADEK et al. (2016) zeigt, dass der Gesamtkohlenhydratgehalt in der Schale (über 90 %) anteilmäßig am höchsten ist. Diese Kohlenhydrate werden wahrscheinlich aber zum Hauptteil Ballaststoffe sein, denn in der Schale (0,31 – 2,26 g/100 g) ist der Stärkegehalt sehr gering. Die Stärkekonzentration im geschälten bzw. ganzen Samenkorn liegt zwischen 38,41 und

52,11 g/100 g (DZIADEK et al., 2016). GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) berichteten in Buchweizenmehl mit 68,1 % von einer deutlich höheren Stärkekonzentration.

Der Analyse der Buchweizenfraktionen von DZIADEK et al. (2016) zufolge ist die Verwendung von geschälten Samen empfehlenswert, wenn das Ziel möglichst hohe Konzentrationen von Protein, Fett und Stärke sind. Mit über 4 g/100 g ist der Aschegehalt in ganzen Samen am höchsten. Wie bereits erwähnt ist in der Samenschale fast keine Stärke, aber auch kaum Fett zu finden (DZIADEK et al., 2016).

4.3.1.1. Kohlenhydrate

Stärke und Zucker

Das Hauptpolysaccharid in Buchweizen ist Stärke (DZIADEK et al., 2016). Ein Viertel der Stärke ist Amylose, die anderen drei Viertel sind Amylopektin (BOBKOV, 2016). Der Anteil an resistenter Stärke ist in Buchweizen, im Vergleich zu anderen Getreidearten, relativ hoch (PEREZ-REA und ANTEZANA-GOMEZ, 2018). Deshalb gilt Buchweizen auch als hervorragende Quelle von Ballaststoffen (DZIADEK et al., 2016).

In geringeren Mengen kommen auch Dextrin und Saccharose als Vertreter von Kohlenhydraten vor (DZIADEK et al., 2016).

Ballaststoffe

Besonders Buchweizenkleie ist reich an Ballaststoffen. Hauptsächlich setzen sich die Ballaststoffe des Buchweizens aus Cellulose, Nicht-Stärke-Polysacchariden und Lignin zusammen. Der unlösliche Ballaststoffgehalt reduziert die Verweilzeit der Nahrung im Magen und Dünndarm. Die löslichen Ballaststoffe hingegen reduzieren die Aufnahme bestimmter Nährstoffe, aber erhöhen durch Reduktion der Glucoseabsorption die Verweilzeit im Dünndarm. Weiters senken sie den Cholesterinspiegel im Blut (AHMED et al., 2014; BOBKOV, 2016).

Der Gesamtballaststoffgehalt in Buchweizenmehl, aus geschälten Samen, liegt bei 5,6 %, jener von klassischem Weizenmehl zum Vergleich bei 3,8 %. Dieser von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) publizierte Gesamtballaststoffgehalt, fällt in den von DZIADEK et al. (2016) angegebenen Bereich (1,16 – 6,69 g/100 g geschälte Samen),

welcher durch die Untersuchung von sechs Sorten zustande kam. In ganzen Samen lag der Ballaststoffgehalt bei DZIADEK et al. (2016) zwischen 20 und 25 %.

4.3.1.2. Protein

Im Vergleich zu anderen Getreidearten ist Buchweizen ziemlich reich an Lysin, Arginin und Asparaginsäure (BOBKOV, 2016). Als eine reiche Quelle an den Aminosäuren Lysin und Tryptophan hingegen bezeichnen KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ (2017), das für den Körper gut verfügbare (bis zu 78 %), Buchweizenprotein. Der Anteil an der essentiellen Aminosäure Lysin am Gesamtproteingehalt, welcher selbstverständlich abhängig von der Art ist, belief sich bei TIEN et al. (2018) auf etwa 6,2 %. Da Lysin in den meisten Getreidearten die limitierende Aminosäure ist, kommt ihr ein besonderes Augenmerk zu (TIEN et al., 2018; DZIADEK et al., 2016). Doch mit dem von TIEN et al. (2018) ermittelten Prozentsatz sind in Buchweizen im Vergleich zu anderen Getreidearten relativ große Mengen an Lysin vorhanden.

Die Betrachtung von Tab. 32 zeigt die Konzentrationen verschiedener Aminosäuren in gekeimtem Buchweizenmehl. Daraus geht hervor, dass in diesem Fall mengenmäßig nicht Lysin, sondern Methionin am seltensten vorkommt und deshalb die limitierende essentielle Aminosäure darstellt. Den größten Anteil am Gesamtgehalt aller Aminosäuren (12 g/100 g) macht die Glutaminsäure mit 2,082 g/100 g Probe aus (GABROVSKÁ et al., 2002).

Gegenteilig zu vielen anderen Getreidearten, setzt sich der Proteingehalt bei Buchweizen überwiegend aus Globulinen und Albuminen zusammen. Folglich haben diese nur einen sehr geringen Anteil an Prolaminen, den Speicherproteinen, und Glutelinen. Buchweizen hat ein sehr ausbalanciertes Aminosäurenprofil, mit einem höheren essentiellen und Gesamtaminosäuregehalt als gewöhnliches Getreide. Deshalb erreicht das Buchweizenprotein sogar eine biologische Wertigkeit von 92,3 % und kommt somit sehr nahe an die 100 % des Ei-Proteins heran (DZIADEK et al., 2016; SYTAR et al., 2018; ÖZER et al., 2010). Die schlechte Proteinverdaulichkeit stellt jedoch einen großen Nachteil dar (AHMED et al., 2014).

Die niedrigen Lysin/Arginin und Methionin/Arginin Verhältnisse könnten der Grund für eine von Buchweizen induzierte cholesterinsenkende Wirkung sein (SYTAR et al., 2018;

BOBKOV, 2016). Die Aminosäuren in Buchweizen regulieren die LDL-Rezeptoren in der Leber und senken so das Serumcholesterin, was indirekt Arteriosklerose vorbeugt (AHMED et al., 2014).

Hinsichtlich des Anteils der einzelnen Proteinfractionen veröffentlichten AHMED et al. (2014) widersprüchliche Werte zu SYTAR et al. (2018), jedoch ohne die untersuchte Buchweizensorte anzugeben. Bei AHMED et al. (2014) machen Globuline mit etwa 430 mg/g Protein den größten Anteil aus, gefolgt von 230 mg/g Glutelinen und 180 mg/g Albuminen. Prolamine kommen nur in einer sehr geringen Menge von 8 mg/g vor (AHMED et al., 2014). HORAK (2012) fasst zusammen, dass Buchweizen als Speicherprotein Albumine und Globuline, jedoch keine Prolamine enthält, da die Pseudocerealien botanisch nicht zu den Gräsern gehören.

Isoliertes Buchweizenprotein kann auch als funktionelle Lebensmittelzutat verwendet werden, um Bluthochdruck, Übergewicht und Verstopfung zu behandeln. Neben Buchweizenprotein unterdrücken Ballaststoffe auch die Entwicklung von Darmkrebs (AHMED et al., 2014). BOBKOV (2016) zeigten unter anderem als Vorteil die blutdrucksenkende Wirkung der kurzkettigen, in Buchweizen vorkommenden, Peptide auf. Ebenso gilt, dass das Pseudogetreide Cholesterin senkend und antikanzerogen ist. Möglicherweise hat es auch eine präventive Wirkung gegen Gallensteine (BOBKOV, 2016).

4.3.1.3. Fett

Buchweizen hat einen hohen Anteil an für den Menschen essentieller Ölsäure; 43,94 % aller vorhandenen Fettsäuren. Die zweite im Buchweizen vorkommende essentielle Fettsäure ist die Linolsäure. Sie erreicht im Durchschnitt 31,81 % des Gesamtfettgehalts. Folglich besteht das in Buchweizen vorkommende Fett zu über 75 % aus essentiellen Fettsäuren (TIEN et al., 2018).

Dennoch ist DZIADEK et al. (2016) zufolge die Zusammensetzung der Fette in Buchweizen ähnlich der anderer Getreidearten.

Der Anteil an Palmitin-, Stearin-, Öl- und Linolsäure am Gesamtfettsäuregehalt ist in den ganzen Buchweizensamen (Tab. 34) etwas höher als in gekeimtem Buchweizenmehl (Tab. 33), aber alle Werte liegen etwa im gleichen Größenbereich. Ein

gegenteiliges Bild zeigt sich bei der Arachidon- und Behensäure, wo die Konzentrationen in gekeimtem Buchweizenmehl höher sind, allerdings liegen auch hier die Konzentrationen in einer ähnlichen Größenordnung. Nicht nachweisbar sind die Arachidonsäure und Behensäure in der Buchweizenschale, aufgrund der geringen Konzentrationen (GABROVSKÁ et al., 2002; DZIADEK et al., 2016).

4.3.1.4. Mineralstoffe und Vitamine

Buchweizen ist eine gute Quelle für essentielle Mineralstoffe, siehe Tab. 31. Basierend auf den Daten von AHMED et al. (2014) und GABROVSKÁ et al. (2002) liegt Calcium in Konzentrationen von mehr als 10 mg/100 g Trockenmasse vor, Phosphor, Kalium und Magnesium sogar mit über 200 mg/100 g. Große Mengen Phosphor sind in Form von Phytinsäure gebunden. Im Vergleich zu Weizen, Reis und Mais enthält Buchweizenmehl signifikant größere Mengen an Kupfer, Zink und Mangan. Eisen und Zink kommen ebenfalls in deutlich größerer Menge als andere Mikronährstoffe vor. Der Großteil von Zink, Kupfer und Kalium kann nach der enzymatischen Verdauung über den Gastrointestinaltrakt aufgenommen werden (BOBKOV, 2016).

Die Mineralstoffkonzentrationen in ganzem Buchweizenschrot, wie sie AHMED et al. (2014) analysiert hat sind sehr ähnlich zu jenen, die GABROVSKÁ et al. (2002) in gekeimtem Buchweizenmehl gefunden haben.

Die Bioverfügbarkeit von Zink, Kupfer und Kalium in Buchweizenmehl ist besonders hoch. Der Calciumgehalt ist im Vergleich zu anderen Mehlsorten etwas geringer (AHMED et al., 2014). Neben zahlreichen Vitaminen des Vitamin B-Komplexes (Thiamin, Riboflavin, Niacin, Pantothersäure, Pyridoxin), enthält Buchweizen noch Vitamin A, C und E, welche allerdings nicht alle quantitativ bestimmt wurden und deshalb nicht in Tab. 35 angeführt sind (BOBKOV, 2016).

Die Niacinkonzentration in gekeimtem Buchweizenmehl, ist Tab. 36 zufolge, mehr als doppelt so hoch, als in ganzen Buchweizensamen, wo BOBKOV (2016) über eine Vitamin B3-Konzentration von 1,8 mg/100 g berichtete. Ebenso scheint es, als ob der Prozessschritt des Keimens der Buchweizensamen zu einem deutlichen Anstieg der Vitamin B6-Konzentrationen führt. Zum großen Unterschied der Tocopherolkonzentrationen könnte es aufgrund unterschiedlicher Analysemethoden

kommen, aber eventuell auch aufgrund der Keimung. In geschälten, geschroteten Buchweizenkörnern befinden sich 667 – 753 mg/kg β -Sitosterol, 89 – 97 mg/kg Campesterol und Spuren von Stigmasterol (BOBKOV, 2016).

4.3.1.5. Sekundäre Pflanzenstoffe

Phenolische Verbindungen

Buchweizenkörner und deren Schale enthalten viele Komponenten, die über eine biologische Aktivität verfügen, z.B. Flavonoide, Flavone, Phenolsäuren, kondensierte Tannine, Phytosterole, Fagopyrine, resistente Stärke, Ballaststoffe, Lignane, Pflanzensterole, Vitamine und Mineralstoffe (AHMED et al., 2014).

Die höchsten Konzentrationen an Nährstoffen und nicht-nährstoffhaltigen bioaktiven Verbindungen sind in der Schale der Buchweizensamen zu finden. Gestützt wird obige Aussage, dass die größten Mengen bioaktiver Verbindungen in der Schale vorkommen durch Tab. 37 und den restlichen von DZIADEK et al. (2016) ermittelten Daten. Daraus geht hervor, dass sowohl der Ballaststoffanteil, als auch der Gesamtpolyphenolanteil in der Schale höher ist als in geschälten bzw. ganzen Samen. Einzig und allein resistente Stärke konnte nicht in der Schale nachgewiesen werden. Dadurch, dass der höchste Gesamtpolyphenolgehalt in den Schalen und der niedrigste in geschälten Samen zu finden ist, siehe Tab. 37, sollten die Schalen unbedingt mitverzehrt werden (DZIADEK et al., 2016).

Buchweizen beinhaltet eine Vielzahl von gesundheitsfördernden Komponenten, wie z.B. polyphenolische Verbindungen (DZIADEK et al., 2016). Flavonoide sind eine Gruppe von mehr als 4.000 polyphenolischen Verbindungen. AHMED et al. (2014) berichteten, dass die Flavonolglykoside Rutin, Quercetin, Kaempferol-3-rutinoside und Spuren von Flavonoltriglycerid im Methanolextrakt von Buchweizen gefunden wurden. Im Vergleich zu anderen Getreiden ist der Rutingehalt in Buchweizen deutlich höher. Rutin besitzt antioxidative, entzündungshemmende und antikanzerogene Eigenschaften. Des Weiteren unterstützen sie die Flexibilität und Stärke der Kapillargefäße und Arterien und reduzieren so das Risiko für Bluthochdruck und Arteriosklerose. Die meisten der phenolischen Verbindungen liegen in freier Form über das gesamte Korn verteilt vor. Der Flavonoidgehalt in den Samen beträgt ca. 10 mg/g

(AHMED et al., 2014). DZIADEK et al. (2016) konnten in der Schale der sechs untersuchten Buchweizensorten folgende phenolische Verbindungen nachweisen: Katechin, Orientin/Isorientin, Quercetin, Rutin, Vitexin, Hyperin, Isoquercitrin. Andere phenolische Verbindungen konnten in den Extrakten ganzer bzw. geschälter Samen bestimmt werden, unter anderem: Kaffeesäurehexose, Katechinglucoside, Procyanidin B2, Epicatechingallat (DZIADEK et al., 2016). Wie AHMED et al. (2014) berichteten, sind Rutin, Quercetin und Hyperin die primären Antioxidantien. Da diese wertvollen Inhaltsstoffe, die die größte Fähigkeit haben freie Radikale abzufangen, hauptsächlich in der Schale von Buchweizen vorkommen, soll diese möglichst mitverwendet werden (DZIADEK et al., 2016).

KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ (2017) gaben an, dass in der Praxis häufig eine Mehlmischung aus 30 % Buchweizenmehl und 70 % Weizenmehl verwendet wird. Doch bereits eine Zugabe von 15 % Buchweizenmehl die antioxidativen Eigenschaften der Backwaren, verglichen mit 100 % Weizen-Vollkornmehl, signifikant verbesserte (KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ, 2017).

Rutin

Rutin ist eine wichtige therapeutische Substanz, welche die Elastizität der Blutgefäße, die Vorbeugung der Arteriosklerose und die Senkung des Blutdrucks positiv beeinflusst. Des Weiteren stimuliert es die Verwendung von Vitamin C im Körper. Generell kommt Rutin gar nicht so selten in Pflanzen vor, doch meist nur in den nicht essbaren Teilen. In anderen Getreidearten und Pseudogetreiden wurde von AHMED et al. (2014) kein Rutin gefunden, mit Ausnahme von Buchweizen. Unter den Früchten zählen Trauben als wichtigstes Rutin-enthaltendes Lebensmittel. Rutin wird eine schützende Wirkung gegen UV-Licht und eine Verbesserung der Sehkraft und des Hörens zugeschrieben (AHMED et al., 2014).

Fagopyrine und Fagopyritole

Die in Buchweizen gefundenen lichtsensitiven Fagopyrine sind einzigartig. Deren Konzentration in den Körnern ist jedoch sehr niedrig und außerdem schwer zu isolieren. Zum Einsatz kommen könnten die Fagopyrine in der Behandlung von Typ-2-Diabetes. Sie sind Bestandteile der Kohlenhydrate (AHMED et al., 2014).

Der Flavonoid- und Rutin-Gehalt in Tartarischem Buchweizen ist signifikant höher als in gewöhnlichem. Rutin zeigt antioxidative und blutgefäßschützende Eigenschaften, weshalb der Gehalt, welcher in Tab. 38 aufgelistet ist, für Forscher interessant ist (TIEN et al., 2018).

Antinutritive Inhaltsstoffe

Eines der Hauptprobleme des ausgesprochen gut ausbalancierten Aminosäurenprofils von Buchweizen ist die schlechte Verdaubarkeit der Proteine in Mensch und Tier. Diese lässt sich auf in Buchweizen anwesende antinutritive Inhaltsstoffe, einschließlich Proteaseinhibitoren (z.B. Trypsininhibitoren) und Tannine, zurückführen. Diese Trypsininhibitoren können nicht durch thermische Prozessierung, wie zum Beispiel Erhitzen, inaktiviert werden. Keimen hingegen reduziert ihre Aktivität (AHMED et al., 2014).

Allergien

Ein Nachteil von Buchweizen ist eine mögliche schwere allergische Reaktion, ähnlich zu jener von Erdnüssen, die meist durch eine sofortige IgE-vermittelte Reaktion ausgelöst wird. Verantwortlich für diese allergische Reaktion ist das Fag e 1 und/oder Fag e 2 Protein (AHMED et al., 2014).

Tab. 30 - Chemische Zusammensetzung verschiedener Buchweizenarten (MW; (Min – Max))

Inhaltsstoff [g/100 g d.b.]	Buchweizen (alle Arten) ⁹
Kohlenhydrate	77,2; (63,1 – 82,1)
Stärke	50,6; (38,4 – 73,4)
Protein	12,4; (5,7 – 15,8)
Fett	3,2; (0,7 – 7,5)
Ballaststoffe	16,6; (5,6 – 25,5)
Rohfaser	5,0; (2,3 – 10,3)
Asche	3,1; (1,5 – 5,0)

⁹ Quellen: AHMED et al., 2014; DZIADEK et al., 2016; GABROVSKÁ et al., 2002; GAVURNÍKOVÁ et al., 2011; HORAK, 2012; KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ, 2017; MARTÍNEZ-VILLALUENGA et al., 2020; MATTILA et al., 2018; OZYIGIT et al., 2020; TIEN et al., 2018; VOJTIŠKOVÁ et al., 2014; ZHU, 2016

Tab. 31 - Mineralstoffkonzentration in verschiedenen Buchweizenarten (MW; (Min – Max))

Mineralstoff	Gehalt [mg/100 g] ¹⁰
Calcium Ca	34,2; (19,7 – 50,4)
Phosphor P	421,8; (330,0 – 490,0)
Kalium K	490,0; (450,0 – 565,0)
Natrium Na	2,8
Magnesium Mg	287,9; (206,0 – 390,0)
Eisen Fe	8,0; (2,3 – 14,9)
Kupfer Cu	1,1; (0,7 – 1,6)
Mangan Mn	1,6; (1,2 – 1,8)
Zink Zn	2,6; (2,1 – 2,9)
Bor B	0,7

¹⁰ Quellen: AHMED et al., 2014; GABROVSKÁ et al., 2002; MARTÍNEZ-VILLALUENGA et al., 2020

Tab. 32 - Aminosäureprofil von gekeimtem Buchweizenmehl nach GABROVSKÁ et al. (2002)

Aminosäure	Gehalt [g/100 g Probe]
Asparaginsäure	1,03
Threonin	0,48
Serin	0,55
Glutaminsäure	2,08
Prolin	0,30
Glycin	0,65
Alanin	0,53
Valin	0,69
Methionin	0,24
Isoleucin	0,54
Leucin	1,02
Tyrosin	0,37
Phenylalanin	0,55
Histidin	0,36
Lysin	0,79
Arginin	1,44
Cystein	0,39
Gesamt	12,00

Tab. 33 - Fettsäureprofil von gekeimtem Buchweizenmehl nach GABROVSKÁ et al. (2002)

Fettsäure	Gehalt [g/100 g Fett]
Myristinsäure (14:0)	0,25
Myristolsäure (14:1)	0,11
Palmitinsäure (16:0)	13,2
Palmitoleinsäure (16:1)	0,29
Stearinsäure (18:0)	2,01
Ölsäure (18:1)	37,7
Linolsäure (18:2)	37,5
Linolensäure (18:3)	2,55
Arachidonsäure (20:0)	1,40
Cis-11-Eicosensäure (20:1)	3,44
Behensäure (22:0)	1,60
Erucasäure (22:1)	-

Tab. 34 - Fettsäurekonzentrationen in einzelnen Buchweizenfraktionen nach DZIADEK et al. (2016)

	[%] der gesamten Fettsäuren		
Untersuchte Fraktion	Schale	Geschälter Samen	Ganzer Samen (Vollkorn)
Palmitinsäure (16:0)	20,17 – 27,87	14,74 – 16,55	13,99 – 15,82
Stearinsäure (18:0)	0,34 – 9,28	2,49 – 4,09	3,35 – 4,18
Ölsäure (18:1)	35,37 – 43,32	40,95 – 42,2	39,44 – 41,26
Linolsäure (18:2)	27,54 – 36,74	37,62 – 40,94	38,44 – 39,71
Arachidonsäure (20:0)	-	0,19 – 0,54	0,52 – 1,17
Behensäure (22:0)	-	0,21 – 0,58	0,53 – 0,98

Tab. 35 - Übersicht einiger Vitamine in Buchweizen nach WIJNGAARD und ARENDT (2006) bzw. BOBKOV (2016)

Vitamin	Gehalt in [mg/100 g] (WIJNGAARD und ARENDT, 2006)	Gehalt in [mg/100 g] (BOBKOV, 2016)
β-Carotin (Provitamin A)	0,21	-
Thiamin (Vitamin B1)	0,46	0,22
Riboflavin (Vitamin B2)	0,14	0,1
Niacin (Vitamin B3)	1,80	1,8
Pantothensäure (Vitamin B5)	1,05	1,1
Pyridoxine (Vitamin B6)	0,73	0,17
Ascorbinsäure (Vitamin C)	5,00	-
Tocopherol (Vitamin E)	5,46	1,43 – 5,5

Tab. 36 - Vitaminkonzentrationen in gekeimtem Buchweizenmehl nach GABROVSKÁ et al. (2002)

Vitamin	Gehalt [mg/100 g]
Thiamin (Vitamin B1)	0,46
Riboflavin (Vitamin B2)	0,14
Niacin (Vitamin B3)	4,9
Pantothensäure (Vitamin B5)	1,05
Pyridoxin (Vitamin B6)	0,73
Tocopherol (Vitamin E)	0,66 mg α-Tocopheroläquivalent/100 g Probe

Tab. 37 - Konzentration verschiedener bioaktiver Verbindungen in den unterschiedlichen Fraktionen von Buchweizenkörnern nach DZIADEK et al. (2016)

	Bioaktive Verbindung [g/100 g]		
Untersuchte Fraktion	Schale	Geschälter Samen	Ganzer Samen (Vollkorn)
Resistente Stärke	-	6,13 – 11,04	3,29 – 6,58
Gesamtpolyphenolgehalt	0,43 – 0,53	0,28 – 0,33	0,31 – 0,36

Tab. 38 - Übersicht sekundärer Pflanzenstoffe bei Buchweizen nach TIEN et al. (2018)

Sekundärer Pflanzenstoff	Gehalt
Gesamtphenolgehalt [mg FAE/g]	7,73
Gesamtflavonoidgehalt [mg Rutinäquivalente/g]	1,70
Rutin [mg/g]	0,15

4.4. Amaranth

Amaranth-/*Amaranthus*-Pflanzen, zur Familie der Amaranthaceae gehörend, sind auf der ganzen Welt verbreitet, da sie unter einer Vielzahl von klimatischen Bedingungen angebaut werden können (CHAUHAN et al., 2016).

Die Familie der Amaranthaceae umfasst 60 verschiedene Arten, aber nur drei Arten der Gattung *Amaranthus*, nämlich *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* und *A. caudatus*, produzieren große Samenköpfe, die mit Körnern beladen und außerdem in der Lage sind wirtschaftliche Erträge zu erzielen (GUARDIANELLI et al., 2019; HORAK, 2012). Dennoch sind die Amaranthsamen, welche hell- und dunkelkörnig vorkommen, sehr kleinkörnig im Gegensatz zu anderen kommerziell weit verbreiteten Getreidearten (HORAK, 2012).

Amaranthsamen ähneln denen von Quinoa, da sie ein zentrales Perisperm haben, welches von einem Embryo und Endosperm umgeben ist. Dieser Aufbau unterscheidet Amaranth maßgeblich von dem eines klassischen Getreidekorns, deshalb wird Amaranth, wie Buchweizen und Quinoa auch, als Pseudogetreide gesehen (SHEWRY, 2002; CHAUHAN et al., 2016; GUARDIANELLI et al., 2019).

Zurzeit wird Amaranth nicht vielseitig eingesetzt. Es zeichnet sich jedoch durch ein schnelles Wachstum und Resistenz gegen trockene Bedingungen aus. Darüber hinaus ist Amaranth eine wertvolle Nährstoffquelle, weil es im Vergleich zu anderen Getreidearten mehr Eiweiß, Fett, Ballaststoffe und Mineralien enthält (BANERJI et al., 2017). So wird Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) von CHÁVEZ-SERVÍN et al. (2017) beispielsweise als eine schnellwachsende einjährige Art mit hoher Adaptationsfähigkeit und Trockenheitsresistenz beschrieben. Darüber hinaus wächst es auch bei hohen Temperaturen und auf salzhaltigen Böden (CHÁVEZ-SERVÍN et al., 2017). Zusätzlich sind Amaranthkörner eine Quelle vieler bioaktiver Verbindungen mit gesundheitsfördernder Wirkung, wie Phytosterole, Polyphenole, Saponine und Squalene (CHAUHAN et al., 2016).

4.4.1. Chemische Zusammensetzung

Die Fett- und Proteinkonzentrationen in unterschiedlichen Amarantharten und Amaranthmehlen einiger Studien sind relativ gut vergleichbar und liegen bei 5,94 –

7,33 und 13,9 – 15,83 g/100 g Probe (MIRANDA-RAMOS et al., 2019; AHMED et al., 2014; HORAK, 2012; SIWATCH et al., 2019). Allerdings zeigt hier Tab. 39 eine noch größere Bandbreite dieser Makronährstoffe und weiterer Bestandteile von Amaranth, da hierfür zusätzlich weitere Quellen herangezogen wurden und es eine Vielzahl von Einflussfaktoren gibt.

Die chemische Analyse des von BANERJI et al. (2017) verwendeten Amaranth- und Weizenmehls zeigte, dass Amaranth einen höheren Asche-, Protein- und Fettgehalt, aber niedrigere Konzentration an Kohlenhydrate als Weizenmehl hat.

4.4.1.1. Kohlenhydrate

Der Gesamtkohlenhydratgehalt von Amaranth beträgt VITALI et al. (2010) zufolge 55,83 g/100 g Trockengewicht, was am unteren Ende des in Tab. 39 angegebenen Bereichs liegt. Davon sind nur etwa 3,95 g/100 g Trockengewicht auf die Einfachzucker Glucose und Fruktose und das Disaccharid Saccharose zurückzuführen (VITALI et al., 2010). NIETO-MAZZOCCO et al. (2019) hingegen ermittelten in Amaranthmehl von *Amaranthus hypochondriacus* einen prozentuellen Anteil von 65,71 % Kohlenhydraten.

Stärke und Zucker

In Tab. 39 fließt auch die von GUARDIANELLI et al. (2019) analysierte chemische Zusammensetzung ein. Sie haben unbehandeltes Amaranthmehl aus *Amaranthus caudatus* untersucht. Die Stärkekonzentration (64,4 g/100 g) ist vergleichbar mit der Menge an Kohlenhydraten (65,71 g/100 g) von *Amaranthus hypochondriacus*, wie sie NIETO-MAZZOCCO et al. (2019) bestimmten. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Betrachtung von Tab. 39, denn die angegebenen Stärke- und Kohlenhydratkonzentrationen bewegen sich in etwa dem gleichen Bereich, was darauf hindeutet, dass der Großteil der Kohlenhydrate in Amaranth in Form von Stärke vorliegt.

Die Summe der verfügbaren Mono- und Disaccharide lag bei GUARDIANELLI et al. (2019) mit 3,22 g/100 g Trockengewicht etwas unterhalb des von VITALI et al. (2010) (3,95 g/100 g) analysierten Werts. Amaranthsamens besitzen geringe Mengen an Mono- und Oligosacchariden, und einen beträchtlichen Anteil an Polysacchariden, wovon Stärke mehr als die Hälfte ausmacht. Obwohl nur sehr geringe Mengen an

Glucose und Fruktose in Amaranth detektiert wurden ($< 0,67\%$), sind diese Werte signifikant höher als in Weizen und Mais (REYES-MORENO et al., 2019).

Der Stärkegehalt von Amaranth, mit $4,7 - 12,5\%$ Amylose, ist einzigartig und beeinflusst die funktionellen Eigenschaften maßgeblich. REYES-MORENO et al. (2019) erklärten, dass die kleineren Stärkekörner von Amaranth Einfluss auf viele rheologischen Eigenschaften haben (REYES-MORENO et al., 2019).

Der Anteil an Amylopektin, aus welcher die Amaranthstärke hauptsächlich besteht, macht $88,9 - 99,9\%$ der Stärke aus (SIWATCH et al., 2019). Die von REYES-MORENO et al. (2019) erwähnten rheologischen Veränderungen, spezifizierten SIWATCH et al. (2019) mit einer hohen Viskosität und pasting temperature der „wachsartigen“ Amaranthstärke. Diese Werte liegen allerdings in Tab. 64 (aus Kapitel 4.5.3.4) unter jenen von reinem Weizenmehl.

Ballaststoffe

Fast der gesamte Ballaststoffgehalt von Amaranth, welcher sich CHÁVEZ-SERVÍN et al. (2017) zufolge auf $9 - 16\%$ beläuft, fällt in die Kategorie der unlöslichen Ballaststoffe (VITALI et al., 2010; CHÁVEZ-SERVÍN et al., 2017). In hellen Amaranthsaamen beläuft sich der durchschnittliche Gesamtballaststoffgehalt auf 8% , wohingegen in schwarzpigmentierten Samen der Gehalt bei 16% liegt. In etwa $30 - 40\%$ der Ballaststoffe sind löslich (REYES-MORENO et al., 2019).

4.4.1.2. Protein

Der Gesamtproteingehalt von Amaranth beläuft sich auf Basis der von MIRANDA-RAMOS et al. (2019) und AHMED et al. (2014) ermittelten Daten auf knapp $14 - 15\%$. Mit etwas über 17% zeigte der von NIETO-MAZZOCCO et al. (2019) untersuchte *Amaranthus hypochondriacus* etwas höhere Werte. Amaranth weist einen sehr hohen Rohproteingehalt von ungefähr $13 - 20,6\%$, gemäß den Ergebnissen von CHÁVEZ-SERVÍN et al. (2017) und GROBELNIK MLAKAR et al. (2009), auf; denn dieser liegt meist über jenem anderer Getreidearten wie Mais, Reis und Weizen (HORAK, 2012; CHÁVEZ-SERVÍN et al., 2017; GROBELNIK MLAKAR et al., 2009).

Amaranth hat mit bis zu 9,38 g/100 g Protein (siehe Tab. 41) einen sehr hohen Gehalt der häufig limitierenden essentiellen Aminosäure Lysin. Dieser Wert liegt im Bereich eines Hühnereies und ist mehr als doppelt so groß wie in Weizen und Mais (AHMED et al., 2014; GUARDIANELLI et al., 2019). Verglichen mit den von der FAO/WHO/UNU 2007 gemeinsam veröffentlichten Richtwerte zur täglichen Aufnahme der verschiedenen Aminosäuren, um die Ernährungsanforderungen des Menschen zu decken, liegt unbehandeltes Amaranthmehl, der Art *Amaranthus caudatus*, deutlich über diesen Anforderungen. Diese höheren Konzentrationen in Amaranthmehl bedeuten aber noch nicht automatisch, dass die Aminosäuren in gleichen Mengen im verarbeiteten Endprodukt vorkommen und für den menschlichen Körper frei verfügbar sind. Besonders hervorzuheben ist jedoch, dass das im Amaranthsamen vorhandene Protein über ein hervorragendes Gleichgewicht der essentiellen Aminosäuren, also jener, die der menschliche Körper nicht herstellen kann, verfügt. Am meisten in Amaranth vorhanden sind die nicht-essentiellen Aminosäuren Glutaminsäure, Asparaginsäure, Arginin und Glycin. Die in größten Mengen vorhanden essentiellen Aminosäuren sind Lysin, Leucin und Phenylalanin. Insgesamt machen 53,76 g/100 g Protein, also in etwa die Hälfte des in Amaranthsamen vorhandenen Proteins, essentielle Aminosäuren aus. Die limitierende Aminosäure ist Methionin (GUARDIANELLI et al., 2019).

Die Speicherproteine vom Globulintyp befinden sich in den Zellen des Embryos und Endosperms, wohingegen die Stärke im Perisperm gespeichert wird. 40 – 80 % der Proteine machen die Albumine und Globuline aus, jedoch ist das Verhältnis der beiden Proteingruppen von Verarbeitungs- und Zubereitungsart extrem verschieden (SHEWRY, 2002; HORAK, 2012).

Der Gesamtproteingehalt von Amaranth liegt nur minimal über dem von traditionellen Getreiden, doch der Vorteil liegt in deren ernährungsphysiologischen Qualität. Im Amaranth liegt nicht nur ein ausgesprochen ausgewogenes Verhältnis der Aminosäuren vor, sondern er besitzt auch einen hohen Gehalt an Lysin und adäquate Mengen von Tryptophan und den schwefelbeihaltenden Aminosäuren (Methionin und Cystein) (REYES-MORENO et al., 2019; SIWATCH et al., 2019). Auch NIETO-MAZZOCCO et al. (2019) sehen die Vorteile von Amaranth und Sorghum in einer guten Proteinquelle mit einer ausbalancierten Zusammensetzung an essentiellen

Aminosäuren, leicht verdaulichen Kohlenhydraten, Mineralstoffen, Vitaminen, Antioxidantien, etc.

Die Hauptproteinfraktionen sind Albumine, Globuline und Gluteline. Prolamine machen nur einen kleinen Anteil aus. Die Speicherproteine von Amaranth verfügen neben guten emulgierenden, schäumenden und gelierenden Eigenschaften über eine gute Wasserhaltekapazität. Zusätzlich haben Amaranthproteine die Fähigkeit Öl-in-Wasser-Emulsionen zu bilden und zu stabilisieren (REYES-MORENO et al., 2019).

4.4.1.3. Fett

Kultivierte Amaranthspezies weisen einen Fettgehalt von 5,4 – 9,0 % auf (REYES-MORENO et al., 2019). In diesen Schwankungsbereich fallen neben den in den Publikationen von MIRANDA-RAMOS et al. (2019) und AHMED et al. (2014) aufgelisteten Werten auch der von NIETO-MAZZOCCO et al. (2019) ermittelte Wert von 8,02 % Fett. Somit liegt der Fettgehalt von Amaranthkörnern über jenen der meisten anderen Getreidekörner (SIWATCH et al., 2019).

76 % des Fettgehalts in Amaranthsamen lassen sich auf ungesättigte Fettsäuren zurückführen (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009). Den Hauptteil machen Triacylglyceride, gefolgt von Phospholipiden und Squalenen aus. Außerdem tragen geringere Mengen von Diacylglyceriden, Phytosterolen, Tocopherolen und Tocotrienolen zum Gesamtfettgehalt bei (REYES-MORENO et al., 2019).

Im aus Amaranthsamen gewonnen Öl fanden GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) 2,2 – 6,9 g Squalen/100 g (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009). Squalen ist ein Triterpen und eine wichtige Vorstufe in der Synthese von physiologisch wichtigen Steroiden. Normalerweise wird Squalen aus Fischölen und Haien extrahiert, doch mit einem Vorkommen von bis zu 8 % in Amaranthsamen stellen diese eine gute Alternative dar (REYES-MORENO et al., 2019).

In Tab. 42 ist neben den Konzentrationen einzelner Fettsäuren auch der Gesamtgehalt gesättigter und ungesättigter Fettsäuren angeführt. Bei Amaranthmehl machen ebenfalls Palmitinsäure, Ölsäure und Linolsäure den größten Teil der Fettsäuren aus. Darüber hinaus wird in Tab. 42 das Verhältnis von $\omega 6/\omega 3$ -Fettsäuren mit 50:1 angegeben. Der ideale Wert für dieses Verhältnis liegt viel niedriger, nämlich bei 5:1.

Durch Keimung lässt sich das in Amaranthmehl bestimmte Verhältnis von 50:1 deutlich senken und somit dem idealen $\omega 6/\omega 3$ -Fettsäurenverhältnis annähern (GUARDIANELLI et al., 2019).

Aus den Ergebnissen der Studie von SINDHUJA et al. (2005) geht noch einmal der signifikant höhere Protein-, Fett-, aber auch Aschegehalt, im Vergleich zu klassischem Weizenmehl, hervor.

4.4.1.4. Mineralstoffe und Vitamine

MIRANDA-RAMOS et al. (2019) veröffentlichten einige Werte ausgewählter Mineralstoffe, die einen Vergleich von Weizenmehl und den Arten *Amaranthus spinosus* und *Amaranthus hypochondriacus* ermöglichen. Der Gehalt weiterer Mineralstoffe ist in dem Artikel von AHMED et al. (2014) aufgelistet, wobei diese um etwa den Faktor Tausend größer sind als in anderen Literaturquellen, weshalb die Vermutung einer Verwechslung der Einheiten (mg/g statt mg/kg) naheliegend ist. Denn wenn dieser mögliche Fehler miteinberechnet wird, liegen die Mineralstoffkonzentrationen in derselben Größenordnung, wie jene von GUARDIANELLI et al. (2019), MIRANDA-RAMOS et al. (2019) und den restlichen Quellen, welche zur Erstellung von Tab. 40 herangezogen wurden.

Neben einem höheren Mineralstoffgehalt von Calcium, Eisen, Zink und Magnesium liegt auch der Gesamtmineralstoffgehalt von Amaranth über jenem von Weizen, weshalb er diesem diesbezüglich ernährungsphysiologisch überlegen ist (SIWATCH et al., 2019; MIRANDA-RAMOS et al., 2019). Die von GUARDIANELLI et al. (2019) bestimmten Eisen- und Natriumkonzentrationen (17,8 und 68,4 mg/100 g) liegen allerdings deutlich über jenen von MIRANDA-RAMNOS et al. (2019) (Fe: 8,34 – 8,39 mg/100 g) und AHMED et al. (2014) (Fe: 7,6 mg/100 g; Na: 4,0 mg/100 g). GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) geben die Schwankungsbreite von Eisen mit 7,2 – 17,4 mg/100 g an und zeigen damit, dass alle der vorhin erwähnten Werte plausibel sind. Des Weiteren streichen sie die hohe Bioverfügbarkeit des Eisens hervor.

Zu den hauptsächlich in Amaranthmehl gefundenen Mineralstoffen zählen Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Natrium (GUARDIANELLI et al., 2019). Calcium,

Phosphor und Eisen zeigen in Amaranth im Vergleich zu anderen Getreidearten überdurchschnittliche Werte (REYES-MORENO et al., 2019).

Amaranth enthält neben einer Vielzahl von Vitaminen des Vitamin B-Komplexes (Riboflavin, Niacin, Folsäure, Thiamin, Biotin) auch Ascorbinsäure, welche alle für eine ausgewogene Ernährung notwendig sind. Der Riboflavingehalt ist normalerweise höher als in Getreidekörnern, während die Gehalte an Thiamin und Niacin im Vergleich zu Getreide niedriger sind (REYES-MORENO et al., 2019; GUARDIANELLI et al., 2019). Der α -Tocopherolgehalt von Amaranth liegt bei 1,7 mg α -Tocopherol/100 g Trockenmasse (REYES et al., 2018).

4.4.1.5. Sekundäre Pflanzenstoffe

Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Samen bzw. einige andere Pflanzenteile von *Amaranthus spinosus* eine große Bandbreite an biologischen Aktivitäten bieten; wie entzündungshemmende, anti-hyperlipidämische und antidiabetische Wirkungen (MIRANDA-RAMOS et al., 2019). Zurückführen lassen sich die positiven Eigenschaften des Amaranths neben seinem guten Nährwert, auf gesundheitsfördernde Verbindungen wie bioaktive Peptide, phenolische Verbindungen und Betacyanine (GUARDIANELLI et al., 2019).

Phenolische Verbindungen

Eine große Vielfalt an phenolischen Verbindungen, welche von speziellem Interesse für die menschliche Gesundheit sind, sind in Amaranth zu finden (REYES-MORENO et al., 2019; REYES et al., 2018).

In verschiedenen Amarantharten wurden die Phenolsäuren Vanillinsäure, 4-Hydroxybenzoesäure, 4-Syringasäure und Caffeoyl-Isocitronensäure sowie die Flavonoide Rutin und Nicotiflorin und Isoquercitrin nachgewiesen. In *A. cruentus* hingegen wurde ein hoher Gehalt an kondensierten Tanninen (2,55 mg/100 g) analysiert (REYES-MORENO et al., 2019). Eine Konzentration von sogar 5.366,06 mg Katechinäquivalente/100 g Trockenmasse wurde in Samen von am offenen Feld gewachsenen Pflanzen der Art *Amaranthus hypochondriacus* von REYES et al. (2018) gefunden. Der absolute Tanningehalt in unbehandeltem Amaranthmehl von *Amaranthus hypochondriacus* betrug bei SIWATCH et al. (2019) 80 mg/100 g.

Als einer der positiven Effekte von Amaranthkonsum gilt die hohe antioxidative Wirkung dieser Polyphenole, durch welche er Weizen überlegen ist (REYES-MORENO et al., 2019; SIWATCH et al., 2019; REYES et al., 2018).

GUARDIANELLI et al. (2019) ermittelten einen Gesamtphenolgehalt von 0,04 mg GAE/g Mehl (d.b.) der Art *Amaranthus caudatus* und REYES et al. (2018) 0,27 mg GAE/g Trockenmasse in *Amaranthus hypochondriacus*. Deutlich höher ist der von SIWATCH et al. (2019) bestimmte Gesamtphenolgehalt in Tab. 43. Diese beiden Ergebnisse wurden zwar durch Anwendung derselben Messmethode ermittelt, aber in unterschiedlichen Einheiten angegeben. Worauf allerdings hingewiesen werden kann, ist, dass der Phenolgehalt im Zuge der Prozessschritte Keimung und Fermentation ansteigt, wohingegen er durch Kochen sinkt (SIWATCH et al., 2019).

Zu den Phenolen zählen auch die Anthocyane, welche für die Pigmentierung des Gewebes verantwortlich sind. REYES et al. (2018) haben in Amaranthsamensamen einen Gesamtanthocyanengehalt von 0,74 mg Cyanidin-3-Glucosid-Äquivalente pro Gramm Trockenmasse gefunden.

Phytate

Bei den meisten Pseudogetreidearten werden Prozessschritte wie Kochen, Keimung und Fermentation angewendet, da dadurch verschiedene antinutritive Faktoren unterdrückt werden und somit der Nährwert erhöht wird. Der Phytat- und Tanningehalt wäre ein Beispiel, welcher durch diese Prozessschritte gesenkt werden kann (SIWATCH et al., 2019).

Neben Phytinsäure und seinen Salzen, welche die überwiegenden antinutritiven Inhaltsstoffe in Getreide sind, enthält Amaranth auch noch andere antinutritive Inhaltsstoffe wie phenolische Verbindungen und Trypsininhibitoren. Phytinsäure bzw. Phytat hemmt die Mineralstoffverfügbarkeit, da es die Mineralien in Form von unlöslichen Komplexen bindet und eine Aufnahme dieser im Körper verhindert und so zu einem Mineralstoffmangel führen kann. Der in verschiedenen Amaranthsubspezies gefundene Phytatgehalt reicht von 4,8 – 21,1 µmol/g. In am Feld angebauten Amaranthsamensamen der Art *Amaranthus hypochondriacus* geben REYES et al. (2018) den Phytinsäuregehalt mit 1,88 g (Natriumphytin)/100 g Trockenmasse an (MIRANDA-RAMOS et al., 2019; REYES et al., 2018).

Auf der anderen Seite schreiben einige Studien dieser Verbindung, oder genauer gesagt deren Hydrolyseprodukten, aber auch vorteilhafte Wirkungen wie eine antioxidative Wirkung, die Vorbeugung von Herzkrankheiten und eine antikanzerogenen Effekt zu (MIRANDA-RAMOS et al., 2019).

Trypsininhibitoren

Trypsinhemmende Stoffe des Amaranthsamens stellen einen weiteren antinutritiven Inhaltsstoff dar, da Trypsin ein an der Verdauung von Proteinen beteiligtes Enzym ist. Ein Trypsininhibitor verringert die biologische Aktivität des Enzyms Trypsin und reduziert so die Proteinverdaulichkeit. Die Konzentration an trypsinhemmenden Sameninhalten kann bei am offenen Feld gewachsenen Amaranthpflanzen so hoch sein, dass bis zu 14,14 mg pures Trypsin pro Gramm Trockenmasse inhibiert werden. Bei in Glashäusern kultivierten Pflanzen ist dieser Gehalt erheblich niedriger (REYES et al., 2018).

β-Glucan

26 g/100 g Trockenmasse unlösliches β-Glucan kommt in Amaranth vor (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009). Diese Komponente der Ballaststoffe kann den Blutzucker regulieren bzw. normalisieren, das Sättigungsgefühl verbessern, die Darmgesundheit positiv beeinflussen, das Immunsystem aktivieren und den Cholesterinspiegel im Blut senken (BEIKZADEH et al., 2019).

Tab. 39 - Chemische Zusammensetzung verschiedener Amarantharten (MW; (Min – Max))

Inhaltsstoff [g/100 g d.b.]	Amaranth (verschiedene Arten) ¹¹
Kohlenhydrate	63,9; (55,8 – 70,0)
Stärke	62,5; (51,9 – 75,0)
Protein	15,4; (10,6 – 21,5)
Fett	6,8; (2,0 – 10,9)
Ballaststoffe	12,3; (2,7 – 17,3)
Rohfaser	5,2; (2,0 – 13,5)
Asche	2,9; (2,1 – 4,0)

Tab. 40 - Mineralstoffkonzentration in verschiedenen Amarantharten (MW; (Min – Max))

Mineralstoff	Gehalt [mg/100 g] ¹²
Calcium Ca	212,8; (159,0 – 270,3)
Phosphor P	501,8; (441,0 – 609,4)
Kalium K	455,4; (290,0 – 589,5)
Natrium Na	24,3; (0,6 – 68,4)
Magnesium Mg	270,8; (248,0 – 315,2)
Eisen Fe	12,0; (7,2 – 17,8)
Kupfer Cu	0,7; (0,5 – 0,9)
Mangan Mn	3,7; (3,3 – 4,0)
Zink Zn	3,8; (2,8 – 5,2)

¹¹ Quellen: AHMED et al., 2014; CHÁVEZ-SERVÍN et al., 2017; GROBELNIK MLAKAR et al., 2009; GUARDIANELLI et al., 2019; HORAK, 2012; MARTÍNEZ-VILLALUENGA et al., 2020; MIRANDA-RAMOS et al., 2019; NIETO-MAZZOCCO et al., 2019; REYES-MORENO et al., 2019; ROBIN et al., 2015; SIWATCH et al., 2019; VITALI et al., 2010

¹² Quellen: AHMED et al., 2014; GROBELNIK MLAKAR et al., 2009; GUARDIANELLI et al., 2019; MARTÍNEZ-VILLALUENGA et al., 2020; MIRANDA-RAMOS et al., 2019

Tab. 41 - Aminosäureprofil von Amaranthmehl (*Amaranthus caudatus*) und Empfehlung der FAO/WHO/UNU (2007) nach GUARDIANELLI et al. (2019)

Aminosäure [g/100 g Protein]	Amaranthmehl	FAO/WHO/UNU 2007
Lysin	9,37	4,5
Histidin	3,48	1,5
Valin	4,68	3,9
Isoleucin	4,74	3,0
Leucin	8,76	5,9
Threonin	5,38	2,3
Methionin	2,05	1,6
Cystein	2,78	0,6
Tyrosin	5,25	-
Phenylalanin	6,52	-
Tyrosin + Phenylalanin	11,77	3,8
Tryptophan	0,75	0,6
Serin	8,72	-
Aspartat + Glutamat	19,65	-
Prolin	7,26	-
Glycin	10,67	-
Alanin	5,62	-
Arginin	12,87	-

Tab. 42 - Fettsäureprofil von Amaranthmehl (*Amaranthus caudatus*) nach GUARDIANELLI et al. (2019)

Fettsäure	Gehalt [g/100 g Fett]
Palmitinsäure (C16:0)	23,1
Stearinsäure (C18:0)	5,8
Ölsäure (C18:1)	25,5
Linolsäure (C18:2)	41,1
α -Linolensäure (C18:3)	0,83
Arachidonsäure (C20:0)	0,45
Eicosansäure (C20:1)	0,21
Gesamtgehalt gesättigter Fettsäuren	29,5
Gesamtgehalt ungesättigter Fettsäuren	70,6
ω 6/ ω 3-Fettsäureverhältnis	50:1

Tab. 43 - Gesamtphenol-, Phytat- und Tanningehalt in unbehandeltem Amaranthmehl (*Amaranthus hypochondriacus*) nach SIWATCH et al. (2019)

Sekundärer Pflanzenstoff	Gehalt [mg/g]
Gesamtphenol	3,96
Phytat	2,91
Tannin	0,80

4.5. Rheologische (und physikalische) Eigenschaften

Gluten spielt beim Backen von Brot, aber auch anderen Produkten, eine entscheidende Rolle, da es als das Hauptstrukturprotein in Weizenmehl, für die elastischen Eigenschaften des Teiges, die Entwicklung einer reschen Kruste in Kombination mit einer weichen Krume verantwortlich ist. Deshalb stellt die Produktion von glutenfreien Produkten, aber auch eine Reduktion der relativen Glutenkonzentration, durch den teilweisen Ersatz des Weizenmehls mit glutenfreien Mehlen, eine besondere Herausforderung dar (NIETO-MAZZOCCO et al., 2019).

Die Bildung eines stabilen dreidimensionalen Netzwerks während der Teigbereitung ist sehr wichtig, damit das sich während der Fermentation bildende Gas nicht entweicht und das Brot oder Bäckereiprodukt auch während bzw. nach dem Backen luftig bleibt. Die Ausbildung dieses Netzwerkes kann unter anderem durch die Elastizität, Viskosität und Dehnbarkeit des Teiges bestimmt werden. Bei klassischem Weizenmehl bzw. glutenhaltigen Getreidearten sind genau diese Glutenproteine (Gliadine und Glutenine) dafür verantwortlich. Das Fehlen dieser Proteine führt deshalb in vielen glutenfreien Backwaren zu einer kompakteren Krume, welche aufgrund des nicht vorhandenen dreidimensionalen Netzwerkes weniger Gas zurückhalten kann (NIETO-MAZZOCCO et al., 2019).

Obwohl eine Weizensubstitution durch ein anderes (glutenfreies) Mehl in der Studie von OHIMAIN (2015) zu einer Abnahme der Teigelastizität führte, ergab ein Brot, bei dem 10 – 20 % Weizenmehl durch ein anderes Mehl ersetzt wurden, noch immer eine akzeptable Brotqualität ohne signifikanten Einfluss auf die Brotfarbe, Krumenstruktur, Textur und Haltbarkeit.

Nach umfassender Recherche kann festgestellt werden, dass es nur sehr wenig Literatur und Daten gibt, welche die in dieser Masterarbeit zu behandelnde Aufgabenstellung bereits untersucht haben. Besonders wenige Informationen liegen zu Extensographversuchen vor. Darüber hinaus gibt es auch keine einheitliche Methode zur Bestimmung des Wasserabsorptionsindex, weshalb ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien nur eingeschränkt möglich ist. Außerdem stellten die meisten AutorInnen der gefundenen Studien keine konkreten Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung der Mehle und den rheologischen Eigenschaften her.

Der Fokus dieser Masterarbeit lag auf den physikalischen und besonders den rheologischen Eigenschaften von Sorghum (rot und weiß), Hirse, Buchweizen und Amaranth und Mehlmischungen dieser Rohstoffe in verschiedenen Abstufungen mit Weizenmehl, um eine umfassende, einheitliche und fundierte Basis zur Beurteilung dieser Rohstoffe und Kombinationen hinsichtlich dieser Eigenschaften und Merkmale zu schaffen.

4.5.1. Farinograph

Mit Hilfe eines Farinographs werden die mögliche Wasseraufnahme des Mehls und die Kneteigenschaften des Teiges bestimmt. Nachfolgend werden, die in den meisten Fällen mit einem Farinograph ermittelten Parameter, erläutert.

Je nach Gerätehersteller wird der Widerstand des Teiges, welcher den Knethaken entgegenwirkt, in unterschiedlich benannten Einheiten angegeben. Während diese bei Geräten der Firma Brabender als BU (brabender units) bzw. bei der Firma Haubelt als HE (Haubelteinheiten) bezeichnet werden, ist in der Literatur auch die Einheit FE (Farinographeinheiten) zu finden.

Die Wasseraufnahme, korrigiert auf eine Mehlfuchte von 14 %, ist jene Menge (in mL), die notwendig ist, um eine Teigkonsistenz von 500 HE zu erreichen. Die Teigentwicklungszeit (peak time) umspannt die Zeit von der Wasserzugabe bis zur maximalen Konsistenz des Teiges (Knetwiderstand) und liefert Informationen über die optimale Mixzeit. Jene Zeitspanne zwischen dem Erreichen der Festigkeit von 500 HE und dem Absinken der Teigkonsistenz, während dem weiteren Kneten, wieder zurück unter 500 HE, ist als die Teigstabilität definiert. Als die Differenz der Konsistenz (in HE), am Maximum der Farinographkurve und jener nach zwölf weiteren Minuten des Mixens, wird der Erweichungsgrad (12 Minuten nach dem Maximum) definiert (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 179, 2012).

Die Knettoleranz oder auch Mixing-Tolerance-Index gibt die Differenz zwischen dem Maximum der Teigentwicklung (= Teigentwicklungszeit) und dem Wert der Kurve 5 min nach dem Erreichen des Teigentwicklungsmaximums an und stellt somit ein Indiz für die Teigerweichung dar. Umso größer der Mixing-Tolerance-Index (MTI), desto geringer ist die Toleranz gegenüber zu langem Kneten, da bei diesen Teigen die Teigerweichung schneller eintritt und höher ist (SINDHUJA et al., 2005; YOUSIF et al., 2012).

Die Qualitätszahl ist der in der Grafik gemessene Abstand (in mm) zwischen dem Beginn der Messung und jenem Punkt, an dem die Teigkonsistenz um 30 HE im Vergleich zum Maximum abgesunken ist (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 179, 2012).

4.5.1.1. Sorghum

Der Ersatz von Weizenmehl durch Sorghum-Vollkornmehl, führt zur Bildung eines schwächeren Proteinnetzwerkes. Diese Tatsache führt infolgedessen zu einer höheren/schnelleren Teigerweichung. Allerdings ist diese, wie in Tab. 44 zu sehen, bei einem Zusatz von lediglich 10 % Sorghummehl um ein Vielfaches höher als bei 30 %. Für die Ursache dieses Verhaltens liefern TORBICA et al. (2019) in ihrer Arbeit jedoch keine Erklärung. Möglicherweise hängt diese Beobachtung aber mit der deutlich kürzeren Teigentwicklungszeit der Mehlmischung mit einem Sorghumanteil von 10 % zusammen. Des Weiteren verfügt Sorghummehl im Farinograph über eine geringere Wasserabsorptionskapazität als Weizenmehl, weshalb diese bei höheren Sorghumgehalt noch geringer wird (TORBICA et al., 2019). Außerdem wurden von TORBICA et al. (2019) Zusammenhänge zwischen den einzelnen Farinographparametern und dem gebackenen Produkt (Endprodukt) gesucht. Die höchsten Korrelationskoeffizienten wurden zwischen jenen Parametern, die sich auf die viskoelastischen Eigenschaften des Proteinkomplexes (Teigentwicklungszeit und –stabilität) und dem spezifischen Volumen bzw. der Härte beziehen, gefunden. Diese Messgrößen wurden eine Stunde nach dem Backen bestimmt. So führten höhere Werte der erwähnten Farinographparameter zu einem geringeren spezifischen Volumen und einer höheren Härte. Nach 24 Stunden wurde die Härte erneut gemessen, wobei sich jedoch kein so starker Zusammenhang mehr zeigte, was laut TORBICA et al. (2019) darauf hindeutet, dass die Stärkeretrogradation die unterschiedliche Qualität der Brote teilweise ausgleicht. Diese beobachteten Effekte waren bei der 10 % igen Substitution stärker als bei 30 % Sorghum. Die Substitution mit 30 % Sorghum führte allerdings zu einer erheblichen Verlängerung der Teigentwicklungszeit, möglicherweise aufgrund der niedrigen Wasserabsorptionskapazität von Sorghummehl (TORBICA et al., 2019).

YOUSIF et al. (2012) untersuchten mit Hilfe eines Farinographs Mehlmischungen bestehend aus Weizenmehl, welchem Thiamin zugesetzt war, und 30 – 50 % rotem bzw. weißen Sorghum-Vollkornmehl. Zuerst wurde die optimale Wasserzugabe zum Erreichen von 500 BU ermittelt, bevor im nächsten Durchgang alle weiteren Farinographparameter, nach der AACC-Methode 54-21.01 (2010), bestimmt wurden

(YOUSIF et al., 2012). Um einen Teig mit den gewünschten 500 BU zu bekommen ist beim Beimischen, unabhängig von der Farbe des Sorghums (siehe Tab. 45 und Tab. 46), wie auch TORBICA et al. (2019) zeigten, weniger Wasser notwendig (YOUSIF et al., 2012). Reines Weizenmehl zeigt in Tab. 47 (bzw. Tab. 48) sowohl die höchste Wasserabsorption als auch längste Teigstabilität. Aufgrund der besten Teigstabilität ergab sich auch der niedrigste Mixing-Tolerance-Index bei 100 % Weizenmehl (YOUSIF et al., 2012).

YOUSIF et al. (2012) erklärten die geringere Wasserabsorption von mit Sorghum substituiertem Weizenmehl damit, dass die Wasseraufnahme mit den in der Mischung vorhandenen Proteinen und Kohlenhydraten, also den hydrophilen Komponenten, zusammenhängt. Während die Proteine des Weizenmehls für ihre hohen Wasserbindungseigenschaften bekannt sind, enthält Sorghum kein Gluten, sondern Kafirine, welche die hauptsächlich im Endosperm vorhandenen Proteine darstellen. Allerdings sind diese hydrophob. Weshalb jedoch bei weißem Sorghum die Wasserabsorption durch eine Erhöhung der Sorghumkonzentration von 30 auf 50 % wieder etwas anstieg anstatt weiter zu sinken und auch eine Erhöhung des roten Sorghummehls zu keinem Rückgang der Wasseraufnahme führte, wurde von YOUSIF et al. (2012) nicht erläutert.

Im Zuge der Betrachtung der Teigentwicklungszeit kann festgestellt werden, dass das Zumischen von 30 % Sorghummehl zu einem – bei weißem Sorghum deutlichen (von 5,8 auf 10,0 min) – Anstieg dieser Zeit kommt, weshalb die Teigentwicklungszeit bei diesem Mischungsverhältnis (30 % weißes bzw. rotes Sorghummehl und 70 % Weizenmehl) am längsten war. Wird die Sorghumkonzentration nun weiter auf 40 % und dann auf 50 % erhöht, so verkürzt sich die Zeitdauer, bis sich ein Teig gebildet hat, wieder. Bei 50 % weißem Sorghum und 50 % Weizen beträgt die Teigentwicklungszeit nur noch etwas weniger als ein Fünftel der Zeitspanne, die bei einem Mischungsverhältnis von 30 % weißem Sorghum und 70 % Weizen notwendig war (siehe Tab. 47). Die Teigentwicklungszeit von 40 % weißem Sorghum mit 60 % Weizenmehl und jene von 30 % rotem Sorghum mit 70 % Weizen war in etwa so lange wie von reinem Weizenmehl. Eine Verkürzung der Teigentwicklungszeit führten YOUSIF et al. (2012) auf die Reduktion des Glutengehalts zurück, denn dadurch wird das Glutennetzwerk zerstört bzw. erst gar nicht (so stark) ausgebildet. Dadurch

erklärten sie die generelle Verkürzung der Teigentwicklungszeit bei einer Erhöhung des Sorghumanteils in der Mischung. Für die erheblich längere Teigentwicklungszeit bei der Zugabe von 30 % weißem Sorghummehl konnten die AutorInnen jedoch keine Erklärung liefern (YOUSIF et al., 2012). Anzumerken ist hier nochmals, dass für die Versuche von YOUSIF et al. (2012) ein Weizenmehl, welchem Thiamin zugesetzt war, verwendet wurde. Inwieweit dieser Umstand die Mehleigenschaften beeinflusste, kann anhand allein dieser Daten nicht festgestellt werden.

Wie in Tab. 47 zu sehen ist, erreichte die Mehlmischung mit 30 % weißem Sorghum noch fast die gleiche Teigstabilität wie 100 % Weizenmehl, jedoch verringerte sich mit einer Erhöhung des Anteils an weißem Sorghummehl die Stabilität. Im Vergleich dazu liegen die Werte aller Mischungsverhältnisse, welche rotes Sorghummehl enthalten, sehr niedrig, denn der Teig bleibt nicht einmal halb solange stabil wie der aus reinem Weizenmehl. Auch hier führen YOUSIF et al. (2012) die Verringerung der Teigstabilität auf den niedrigeren Glutengehalt in Mischungen mit Sorghum zurück (YOUSIF et al., 2012).

Der Mixing-Tolerance-Index bzw. breakdown des Teiges war bei YOUSIF et al. (2012) bei einem Teig aus 100 % Weizenmehl am niedrigsten. Durch Zugabe und Erhöhung der Menge von rotem bzw. weißem Sorghum erhöhte sich der Mixing-Tolerance-Index. Erklärt werden kann das wiederum durch den niedrigeren Glutengehalt in Mischungen mit Sorghum, wodurch es zu einer geringeren viskoelastischen Teigbeständigkeit und einem höheren breakdown kommt. Der höhere breakdown (Mixing-Tolerance-Index) von Sorghummischungen im Vergleich zu reinem Weizenmehl bedeutet eine schnellere Teigerweichung beim Kneten über die optimale Zeit hinaus, was sich auch in der kürzeren Teigstabilität mit zunehmendem Sorghumgehalt zeigt (YOUSIF et al., 2012).

Tab. 44 - Farinographdaten Sorghum-Weizen-Mischung nach TORBICA et al. (2019)

	10 % S	30 % S
Wasserabsorption [%]	55,05 – 55,65	49,15 – 49,70
Teigentwicklungszeit [min]	1,20 – 1,40	8,00 – 10,60
Teigstabilität [min]	0,11 – 0,49	0,90 – 1,59
Teigerweichung [BU]	120,00 – 126,00	16,23 – 39,00

Tab. 45 - Optimale Wasserzugabe zu den Mehlmischungen aus Weizen und weißem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)

	100 % WZ	30 % WS	40 % WS	50 % WS
Optimale Wasserzugabe [%]	66,0	62,5	61,2	58,7

Tab. 46 - Optimale Wasserzugabe zu den Mehlmischungen aus Weizen und rotem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)

	100 % WZ	30 % RS	40 % RS	50 % RS
Optimale Wasserzugabe [%]	66,0	62,8	61,7	60,3

Tab. 47 - Farinographparameter von Mehlmischungen aus Weizen und weißem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)

	100 % WZ	30 % WS	40 % WS	50 % WS
Wasserabsorption [%]	66,0	58,7	61,2	62,5
Teigentwicklungszeit [min]	5,8	10,0	5,7	2,4
Teigstabilität [min]	12,7	11,9	9,0	7,9
Mixing-Tolerance-Index [BU]	35	55	75	85

Tab. 48 - Farinographparameter von Mehlmischungen aus Weizen und rotem Sorghum nach YOUSIF et al. (2012)

	100 % WZ	30 % RS	40 % RS	50 % RS
Wasserabsorption [%]	66,0	60,3	62,8	61,7
Teigentwicklungszeit [min]	5,8	6,0	4,2	4,2
Teigstabilität [min]	12,7	5,6	5,9	5,8
Mixing-Tolerance-Index [BU]	35	95	95	100

4.5.1.2. Hirse

OVSIANNYKOVA et al. (2019) sind der Meinung, dass Hirsemehl in reiner bzw. purer Form für das Backen eher unbrauchbar ist. Wird ein Teil des Weizenmehls durch Hirse ersetzt, so führt das ebenfalls zu einem schwächeren Proteinnetzwerk, weshalb die Teigerweichung höher ist und schneller eintritt. Allerdings zeigten auch hier die von TORBICA et al. (2019) ermittelten Daten in Tab. 49, dass dieser Effekt der Teigerweichung bei der Zugabe einer kleineren Menge Hirse größer ist. Die Autorinnen

lieferten hierfür jedoch keine Erklärung. Im Vergleich zu Weizenmehl war die Wasserabsorptionskapazität von Hirsemehl geringer, jedoch zeigte sich kein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Versuchsstufen (TORBICA et al., 2019). Diese geringere Wasserabsorptionskapazität von Hirsemehl zeigte sich TORBICA et al. (2019) zufolge, sowie bei Sorghum auch, in einer deutlich längeren Teigentwicklungszeit bei einem Zusatz von 30 % Hirse.

GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) beschäftigten sich mit den rheologischen Eigenschaften von Teigen aus Mischmehlen von Weizen-Buchweizen und Weizen-Hirse. Dabei wurden die Farinographparameter von klassischem Brotweizen (*Triticum aestivum* L.), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* MOENCH) und der Hirseart *Panicum miliaceum* L. mit einem Brabender Farinograph nach dem ICC-Standard Nr. 115/1 (1992) bestimmt (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011). GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) berichteten, dass die Werte des Farinographs stark vom Proteingehalt und –typ abhängig sind. Generell spielt die Qualität des Rohstoffs eine besonders wichtige Rolle. Ein Augenmerk liegt hier ganz besonders auf der Quantität und Qualität der Proteine, dem Anteil der Glutenproteine, dem Gehalt und den Eigenschaften der Stärke und enzymatischer Komplexe. Wie in Tab. 50 zu sehen, sinkt die Wasserabsorption durch Zugabe bzw. Erhöhung der Hirsekonzentration. Dieser Effekt ist jedoch bis zu einem Anteil von 30 % Hirse laut GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) nicht signifikant ($p < 0,05$). Zu erwähnen ist hier, dass GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) in ihrer veröffentlichten Studie keine Standardabweichungen der Messergebnisse angegeben und auch lediglich eine Doppelbestimmung der Messwerte vorgenommen haben. Aus diesen Gründen sind die Daten schwer einzuschätzen bzw. gilt es sie kritisch zu hinterfragen. Denn die in Tab. 50 angeführten Daten weisen deutlich auf eine Abnahme der Wasserabsorption bei einer Erhöhung des Hirseanteils in der Mehlmischung hin. Möglicherweise führt eine weitere Erhöhung der Hirsekonzentration zu einer Fortsetzung dieses Trends und infolgedessen zu signifikanten Unterschieden in der Wasseraufnahme der Mehlmischungen.

Während ein Zumischen von 5 % Hirse zu einem geringfügigen Ansteigen der Teigentwicklungszeit führte, sank diese ab 10 % Hirse bereits wieder, auch unter den Ausgangswert von 100 % Weizenmehl, ab (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011).

Wurde Hirse Weizenmehl beigemischt, so brachte dies bei niedrigen Hirsekonzentrationen, eine geringere Teigstabilität mit sich. Bei 25 % und 30 %, den höchsten in dieser Studie untersuchten Hirseanteilen, kommt es GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) zufolge zu einer sprunghaften Verbesserung der Teigqualität, aufgrund einer Verlängerung der Teigstabilität über den Wert von 100 % Weizenmehl hinaus (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011). Für eine mögliche Ursache lieferten die AutorInnen in ihrer Arbeit keine Erklärung.

GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) gaben an, dass sich die Werte der Teigerweichung der Mischmehle im Bereich jener von reinem Weizenmehl bewegten.

Die Farinographqualitätszahl wird aus der Form und dem Fortschritt der Farinographkurve bestimmt und hängt mit der Teigstabilität und Teigerweichung zusammen. In Tab. 50 ist ersichtlich, dass die Farinographqualitätszahl von Hirse-Weizen-Mischungen in allen Fällen niedriger ist als jene von 100 % Weizenmehl, außer bei einem Substitutionsgrad von 25 % Hirse (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es offensichtlich einen Trend zur Verringerung der Wasserabsorption bei steigender Hirsekonzentration gibt. Scheinbar stellt ein Anteil von 20 % Hirse in der Mehlmischung eine Grenze bzw. einen Wendepunkt dar, denn die Teigstabilität nimmt bis inklusiver dieser ab, während die Teigerweichung zunimmt. Ab einer Konzentration von 25 % zeigt sich bei diesen beiden Messgrößen eine Kehrtwende, da es zu einem Anstieg der Teigstabilität und einer Abnahme der Teigerweichung kommt (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011).

Tab. 49 - Farinographdaten Hirse-Weizen-Mischung nach TORBICA et al. (2019)

	10 % H	30 % H
Wasserabsorption [%]	54,15 – 54,70	54,70 – 55,45
Teigentwicklungszeit [min]	1,10	4,30 – 13,20
Teigstabilität [min]	0,30 – 0,40	0,00 – 1,80
Teigerweichung [BU]	77,00 – 103,00	5,00 – 91,77

Tab. 50 - Farinographparameter von Weizen-Hirse-Mischmehlen nach GAVURNÍKOVÁ et al. (2011)

	100 % WZ	5 % H	10 % H	15 % H	20 % H	25 % H	30 % H
Wasserabsorption [%]	55,6	53,4	53,1	52,3	51,2	49,5	48,7
Teigentwicklungszeit [min]	1,8	1,9	1,4	1,5	1,4	1,5	1,0
Teigstabilität [min]	2,7	2,2	1,5	1,1	1,5	3,1	4,7
Teigerweichung 10 min nach Testbeginn [BU]	61	67	73	83	81	64	52
Teigerweichung 12 min nach dem Maximum [BU]	75	80	87	95	93	77	68
Farinograph- qualitätszahl FQZ	38	32	25	21	24	40	12

4.5.1.3. Buchweizen

Wird aus Buchweizenmehl im Zuge eines Backprozesses ein Hefeteig zubereitet, so wird dieser weniger elastisch als ein Weizenteig. Außerdem vertreten KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ (2017) aufgrund ihrer organoleptischen Analysen die Meinung, dass Buchweizen für Hefebrote hinsichtlich dem Aussehen, Oberfläche, Kruste, Krume, Porosität, Elastizität, Geschmack und Geruch komplett ungeeignet ist. In Teigen von Feinbackwaren (delicate dough) hingegen kann Weizenmehl z.B. durch Buchweizenmehl oder anderes glutenfreies Mehl (teilweise) ersetzt werden (KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ, 2017).

BONAFACCIA und KREFT (1994) haben mit einem Brabender Farinograph Messungen von Mehlmischungen aus Weizen und Buchweizen (eine lokale italienische Art) in den in Tab. 51 angeführten Konzentrationen durchgeführt.

Die Zugabe von bis zu 30 % Buchweizenmehl zu Weizenmehl führte zu einem größeren Widerstand des Teiges gegen das Kneten und somit zu einem Anstieg der Teigstabilität, auf 8,5 min. Wird dem Weizenteig 50 % Buchweizenmehl zugemischt, ist

dieser BONAFACCIA und KREFT (1994) zufolge während des Brotbackprozesses wegen Klumpenbildung schon relativ schwer zu handhaben. Außerdem dauerte die Teigentwicklung bei einem Mehl, welches zur Hälfte aus Weizen und Buchweizen besteht, erheblich länger, während in den anderen Mischverhältnissen keine konkrete Veränderung dieser Messgröße auffiel (BONAFACCIA und KREFT, 1994).

GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) haben sich im Vergleich zu BONAFACCIA und KREFT (1994) mit niedrigeren Buchweizenkonzentrationen in kleineren Abständen beschäftigt. Ähnlich wie bei Hirse, welche in der gleichen Studie von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) untersucht wurde, zeigte sich auch bei Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* MOENCH), dass mit steigender Konzentration, im untersuchten Konzentrationsbereich, die Wasserabsorption tendenziell abnimmt (siehe Tab. 52), auch wenn dies nicht signifikant ist. Dass es sich hierbei um eine nicht signifikante Tendenz handelt, wird durch die Daten von BONAFACCIA und KREFT (1994) in Tab. 51 untermauert, denn hier ist keine Reduktion der Wasserbindungskapazität zu sehen. Bei einem Mischungsverhältnis von 50 % Weizen und 50 % Buchweizen stieg diese sogar an.

Beim Ersatz von 20 % Weizenmehl durch Buchweizen weist die Teigentwicklungszeit ein Minimum auf (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011). Diese Beobachtung kann durch die Daten aus Tab. 51 unterstützt werden.

Die Farinographqualitätszahl, welche von der Teigstabilität und Teigerweichung beeinflusst wird, ist bei allen Buchweizen-Mischmehlen (5 – 30 %) ungefähr doppelt so groß wie bei reinem Weizenmehl (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011).

Durch die Ergebnisse von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) kann die Beobachtung von BONAFACCIA und KREFT (1994), dass die Teigstabilität durch teilweise Substitution des Weizenmehls mit Buchweizenmehl zunimmt, bestätigt werden. Allerdings liegt das Maximum bei GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) nicht wie bei BONAFACCIA und KREFT (1994) bei 30 % Buchweizen, sondern bei 10 %. Interessanterweise stellt bei Buchweizenmehl, sowie bei den von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) zu Hirse erhaltenen Ergebnissen auch, die Substitution mit 20 % Buchweizen eine Grenze dar (siehe Tab. 52). Denn die Teigerweichung sank durch die Zugabe von 5 % Buchweizen deutlich ab, stieg bis 20 % wieder ungefähr auf das Ausgangsniveau von 100 % Weizen an und sank bei höheren Konzentrationen (25 und 30 %) wieder etwas ab bzw. stabilisierte sich auf etwa dem Niveau von Weizenmehl. Die Ergebnisse von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011)

lassen sich durch Beobachtung einer kürzeren Teigentwicklungszeit bei Substitution mit Buchweizen, einer geringeren Wasserabsorption und längeren Teigstabilität zusammenfassen. Somit zeigt die von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) durchgeführte Studie, dass der Zusatz von Buchweizen die rheologischen Teigeigenschaften beeinflusst, denn Buchweizenproteine haben im Gegensatz zum Gluten in Weizenmehl eine geringere Fähigkeit eine vernetzende Struktur im Teig zu bilden. Alles in allem hat Buchweizen aber einen kleineren negativen Einfluss auf die Entwicklung der Farinographkurve als Hirse (GAVURNÍKOVÁ et al., 2011).

Nach der AOAC Methode 54-21 (2000) haben ÖZER et al. (2010) Mehlmischungen bestehend aus Weizen und Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench) mit dem Farinograph untersucht. Analysiert wurden Mischungsverhältnisse von 0 – 40 % Buchweizenmehl in 10 % Schritten (ÖZER et al., 2010).

Bei allen in Tab. 53 aufgelisteten Versuchen ist die Teigentwicklungszeit mit mindestens 8 min, verglichen mit jenen von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) oder besonders von BONAFACCIA und KREFT (1994) sehr lange. Bei den Daten von ÖZER et al. (2010) kann jedoch deutlich beobachtet werden, dass ein Zumischen von geringen Mengen an Buchweizen (10 %) zu Weizen zunächst die Teigentwicklungszeit verkürzt, allerdings eine Erhöhung der Buchweizenkonzentration auf 40 % die Teigentwicklungszeit erheblich verlängert. BONAFACCIA und KREFT (1994) ermittelten ebenfalls, allerdings in einem anderen Konzentrationsbereich als ÖZER et al. (2010), Daten, welche zunächst eine geringfügige Verkürzung der Zeit bis sich ein Teig bildet zeigen, bevor es zu einem deutlich Anstieg der Teigentwicklungszeit kommt. Allerdings erscheint auch die Teigentwicklungszeit eines reinen Weizenmehls von 11,0 min, wie sie ÖZER et al. (2010) gemessen haben, als sehr lange.

Ebenso drastisch wie die Zunahme der Teigentwicklungszeit ist in Tab. 53 auch ein Anstieg der Wasserabsorption mit einer Erhöhung des Buchweizengehalts zu erkennen. Diese Erhöhung der Wasserabsorption spiegelt eher die Ergebnisse von BONAFACCIA und KREFT (1994) wider, da GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) bei ihren Daten den gegenteiligen Trend feststellten.

Mit einer Zugabe und in weiterer Folge Erhöhung der Buchweizenkonzentration in den Mehlmischungen lässt die Stabilität des Teiges nach und dementsprechend steigt die Teigerweichung von 90 auf 200 BU an (ÖZER et al., 2010). In diesem Punkt

widersprechen die Daten von ÖZER et al. (2010) jenen von BONAFACCIA und KREFT (1994). Beim Vergleich dieser Trends gilt es natürlich auch immer zu beachten, dass es möglicherweise bei dem Weizenmehl, welches als Referenzpunkt und Basiskomponente der Mischmehle verwendet wurde, bereits gravierende Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung geben kann, welche dann die rheologischen Eigenschaften beeinflussen. Die Lebensmittelindustrie braucht eine hohe Teigstabilität. ÖZER et al. (2010) kamen allerdings aufgrund der aus dem Farinogramm gewonnen Daten zu dem Schluss, dass ein Buchweizenzusatz zu Weizenmehl die Teigqualität verringert bzw. schädigt.

Tab. 51 - Farinograph Daten von Weizen-Buchweizen-Mischmehlen nach BONAFACCIA und KREFT (1994)

	100 % WZ	15 % BW	30 % BW	50 % BW
Wasserbindungskapazität [%]	53,50	53,50	53,40	55,20
Teigentwicklung [min]	1,25	1,00	1,00	5,50
Teigstabilität [min]	1,75	2,25	8,50	5,50
Teigerweichung 10 min nach Beginn der Wasserzugabe [FE]	70,00	40,00	40,00	40,00

Tab. 52 - Farinographparameter von Weizen-Buchweizen-Mischmehlen nach GAVURNÍKOVÁ et al. (2011)

	100 % WZ	5 % BW	10 % BW	15 % BW	20 % BW	25 % BW	30 % BW
Wasserabsorption [%]	54,8	54,6	54,2	54,0	53,9	53,3	52,6
Teigentwicklungszeit [min]	1,7	1,7	1,7	1,7	1,2	1,3	1,3
Teigstabilität [min]	2,7	5,9	6,4	6,1	5,4	5,8	5,3
Teigerweichung 10 min nach Testbeginn [BU]	75	48	51	56	71	66	67
Teigerweichung 12 min nach dem Maximum [BU]	82	67	71	76	89	84	84
Farinographqualitätszahl FQZ	34	75	78	73	63	68	63

Tab. 53 - Farinographdaten von Weizen-Buchweizenmischungen nach ÖZER et al. (2010)

	100 % WZ	10 % BW	20 % BW	30 % BW	40 %BW
Wasserabsorption [%]	58,7	70,1	81,5	87,8	91
Teigentwicklungszeit [min]	11,0	8,0	10,1	10,6	18,2
Stabilität [min]	13,2	8,0	7,3	5,8	5,1
Mixing-Tolerance-Index [BU]	66	65	82	55	60
Teigerweichung [BU]	90	110	133	140	200

4.5.1.4. Amaranth

BANERJI et al. (2017) analysierte die Auswirkungen einer 0 – 40 % igen Zugabe von Amaranthmehl (*Amaranthus hypochondriacus* spp., var. *Phule Kartiki*) zur Rezeptur eines Weizenteiges mit einem Brabender-Farinograph nach der Methode der AACC (1995). Es konnte, wie in Tab. 54 abgebildet, beobachtet werden, dass neben der Wasserabsorption auch die Teigstabilität, welche ein Indikator für die Teigstärke ist, mit steigender Amaranthkonzentration abnimmt. Eine „Verdünnung“ des Glutens und Verlust von viskoelastischen Eigenschaften aufgrund des Zumischens von Amaranth könnte die mögliche Ursache für den Rückgang der Teigstabilität sein. Dies bringt auch eine Erhöhung der Klebrigkeit des Teiges mit sich (BANERJI et al., 2017).

Im Gegensatz dazu berichteten GROBELNIK MLAKAR et al. (2009), dass es bei Erhöhung der Amaranthkonzentration zu einem Anstieg der pasting temperature, Wasserabsorption und Teigentwicklungszeit kam und sich die Stabilität verbesserte (Tab. 55). Die Amaranthzugabe stärkte den Teig, allerdings verringerte sich die Dehnbarkeit. Die Farinographmessungen von GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) wurden mit einem Gerät der Firma Brabender nach der Standardanleitung ICC Nr. 115/1 für Weizenmehl (ICC 1998) durchgeführt.

Im Gegensatz zu BANERJI et al. (2017) konnten GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) durch Zugabe von Amaranthmehl der Art *Amaranthus cruentus* einen Anstieg der Wasserabsorption und eine höhere Teigstabilität im Vergleich zu 100 % Weizenmehl beobachten. Die Stabilität des Teiges zeigte allerdings, im hier untersuchten Konzentrationsbereich von Amaranth (siehe Tab. 55), ein eindeutiges Maximum bei

einem Mischungsverhältnis von 80 % Weizen und 20 % Amaranth. Eine weitere Erhöhung des Amaranthgehalts auf 30 % verkürzte die Teigstabilität schon wieder deutlich (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009). Die höhere Wasserabsorption bei den Farinographversuchen führten GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) auf die höhere Wasserbindungskapazität der Stärke von Amaranth (127,0 %) im Gegensatz zur Weizenstärke (71,8 %) zurück. Darüber hinaus konnte eine Verlängerung der Teigentwicklungszeit durch die Zugabe von Amaranthmehl festgestellt werden.

Die gemessene Teigerweichung 10 min nach dem Start sank in allen Fällen durch die Zugabe von Amaranth ab. 12 min nach dem Maximum wurde die Teigerweichung erneut gemessen. Hier war sie bei einer Substitution durch 30 % Amaranth deutlich höher als bei reinem Weizenmehl. Bei einer niedrigeren Substitution (von nur 10 bzw. 20 %) blieb der Teig noch härter als bei 100 % Weizenmehl, da die Messwerte der Teigerweichung geringer waren. GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) konnten darüber hinaus beobachten, dass eine Erhöhung der Amaranthkonzentration zu einem signifikanten Anstieg der Farinographqualitätszahl führte (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009).

Für eine graphische Darstellung der Farinographparameter ihrer veröffentlichten Ergebnisse entschieden sich SINDHUJA et al. (2005), weshalb es schwierig ist, die exakten Werte abzulesen. Gemessen wurden die Eigenschaften von Amaranth-Weizenmehl-Mischungen, mit der Art *Amaranthus gangeticus*, nach der AACC Standard Methode (1983) für Farinographversuche. Ähnlich wie bei den anderen beiden bereits erwähnten Studien wurde hier das Versuchsintervall von 0 bis 35 % Amaranthmehlzugabe, in einer Schrittweite von 5 %, gesetzt. Bei Weizenmehl lag die Wasserabsorption bei 60,62 % und damit zwischen den Werten aus Tab. 54 und Tab. 55. In diesem Fall kam es durch eine Amaranthzugabe bis 35 % zu keiner signifikanten Veränderung der Wasserabsorption, denn sie schwankte zwischen 57,54 und 60,62 % (SINDHUJA et al., 2005).

Aus den Daten von BANERJI et al. (2017) lässt sich ein Trend der Abnahme der Wasserabsorption und bei GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) die Zunahme der Wasserabsorption durch eine Erhöhung des Amaranthgehalts erkennen. Entweder ist dieser Verlauf charakteristisch für die in diesen Versuchen untersuchten Amarantharten oder die aus diesem Versuchsbereich erahnbaren Trends, welche noch

keine signifikanten Änderungen widerspiegeln, setzen sich bei einer weiteren Amarantherhöhung nicht fort. So kann es sein, dass bei einer Untersuchung der Substitutionsgrade von 0 – 100 % festgestellt wird, dass Amaranth unabhängig von der Art und dem Substitutionsgrad keinen Einfluss auf die Wasserabsorption hat. Dafür müssten weitere Versuche mit höheren Amaranthkonzentrationen und verschiedenen Amarantharten durchgeführt werden.

Bei den Messergebnissen von SINDHUJA et al. (2005) hingegen ist bei der Teigentwicklungszeit eine deutliche Veränderung durch Amaranthzugabe zu erkennen. Im Fall von reinem Weizenmehl betrug diese nämlich nur 1,25 min und ist beinahe linear mit der Erhöhung der Amaranthkonzentration auf 4,0 min bei 35 % Amaranth angestiegen. Diese Verlängerung der Teigentwicklungszeit zeigt, dass eine langsamere Hydratation bei höheren Mengen an Amaranthmehl eintritt (SINDHUJA et al., 2005). GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) haben diese längere Teigentwicklungszeit ebenfalls beobachten können.

Mit dem linearen Anstieg von Amaranth in der Mehlmischung nimmt die Teigstabilität von 4 min (bei 100 % Weizenmehl) auf 1,5 min ab, während die Knettoleranz von 30 auf 120 BU steigt. Diese von SINDHUJA et al. (2005) beobachteten Änderungen bezüglich der Teigstabilität und Knettoleranz zeigen eine Schwächung des Teiges und Verringerung der viskoelastischen Eigenschaften des Glutenproteins beim (teilweisen) Ersatz von Weizenmehl durch Amaranthmehl, aufgrund von unterschiedlichen Eigenschaften der Proteine (SINDHUJA et al., 2005). Der beobachtete Rückgang der Teigstabilität mit einer Erhöhung der Amaranthkonzentration deckt sich mit den Ergebnissen von BANERJI et al. (2017) in Tab. 54. Allerdings stehen die Ergebnisse dieser beiden Studien im Widerspruch mit den von GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) (siehe Tab. 55) erhaltenen Daten.

Tab. 54 - Einfluss von Amaranthzugabe zu Weizenteig auf die Parameter einer Farinographmessung nach BANERJI et al. (2017)

	100 % WZ	20 % A	30 % A	40 % A
Wasserabsorption [%]	84,80	83,55	81,10	79,15
Teigentwicklungszeit [min]	4,0	3,6	3,2	3,5
Stabilität [min]	1,6	1,5	1,2	1,2

Tab. 55 - Farinographdaten von Weizen-Amaranth-Mischungen nach GROBELNIK MLAKAR et al. (2009)

	100 % WZ	10 % A	20 % A	30 % A
Wasserabsorption [%]	53,0	55,2	55,5	55,9
Teigentwicklungszeit [min]	1,3	1,9	4,4	5,3
Teigstabilität [min]	1,4	3,9	5,7	3,46
Teigerweichung 10 min nach Start	93,3	64,3	59,7	69,7
Teigerweichung 12 min nach Maximum	103,7	89,3	99,7	124,3
Farinographqualitätszahl FQZ	23	57	75	74

4.5.2. Extensograph

Ein Extensograph ermittelt die Dehnbarkeit bzw. Elastizität eines Teiges, welche eine Abschätzung der Backergebnisse und im Besonderen eine Beurteilung der Teigvernetzungseigenschaften zulässt.

Die INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY definiert im ICC Standard No. 180 (2012) die Elastizität als den Widerstand eines Teiges gegen Dehnung und die Dehnbarkeit als das Ausmaß bis zu welchem ein Teig gedehnt werden kann, bevor er reißt.

Analysen mit einem Extensograph liefern Informationen über das viskoelastische Verhalten eines Teiges. Eine Kombination aus gutem Widerstand und Dehnbarkeit führt zu wünschenswerten Teigeigenschaften (SAHA et al., 2011).

Untenstehend werden die in den meisten Fällen mit einem Extensograph ermittelten Parameter erklärt.

Der maximale Dehnwiderstand ist definiert als die maximale Höhe der vom Extensograph, im Zuge der Messung, aufgezeichneten Kurve. Der Dehnwiderstand bei einer konstanten Deformation ist als die Höhe der Kurven nach einer Dehnung von 50 mm festgelegt. Als die Dehnlänge wird der vom Haken zurückgelegte Weg zwischen dem ersten Kontakt mit dem Teig bis zum Abreißen des Teigstrangs bezeichnet. Die Fläche unter der vom Extensograph aufgezeichneten Kurve wird als Energie definiert. Darüber hinaus kann auch noch die Verhältniszahl bzw. Verhältniszahl am Maximum, als Verhältnis des Dehnwiderstands bei 50 mm bzw. des maximalen Dehnwiderstands und der Dehnlänge, ermittelt werden (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 180, 2012).

4.5.2.1. Sorghum

Trotz eingehender Recherche wurden keine bisher veröffentlichten Daten von Sorghummehl aus Versuchen mit einem Brabender Extensograph gefunden. Eine Orientierung des Einflusses der Substitution von Weizenmehl mit Sorghum geben allerdings die von VÁSQUEZ et al. (2016) mit einem TA.XT2 Texture Analyser (Firma Stable Micro Systems) und dem SMS/Kieffer Dough and Gluten Extensibility rig.

Tab. 56 zeigt, dass ein Zumischen von Sorghummehl zu Weizenmehl zu einem geringeren Dehnwiderstand bei allen untersuchten Prozentsätzen (2,5 – 10 %) führte, allerdings kommt die Mischung mit der höchsten Sorghumkonzentration dem Ergebnis des reinen Weizenteiges am nächsten. Die Messwerte zeigten, dass vom Ausgangsniveau von 100 % Weizenmehl bei einer Zugabe bis 5 % Sorghum der maximale Dehnwiderstand abfiel, bevor dieser bei einer weiteren Erhöhung des Sorghumanteils wieder anstieg. Die Dehnlänge bis zum Abriss des Teigstrangs zeigte bei einer 5 bzw. 7,5 % igen Substitution durch Sorghum keinen signifikanten Unterschied zu jener von Weizenteig. Bei Zugabe von 2,5 und 10 % Sorghummehl hingegen riss der Teig signifikant früher ab. Da VÁSQUEZ et al. (2016) diesen Versuch auch noch mit anderen Rohstoffen (Mais, Hafer) durchführten, kamen sie im Allgemeinen zu der Aussage, dass die Dehnlänge meistens, aber nicht immer, mit einem höheren Substitutionsgrad abnimmt. Erklärt wird diese Beobachtung von ihnen mit der Verdünnung des Glutengehalts und einem Anstieg des Ballaststoffgehalts, welcher das Glutennetzwerk während des Mixens brechen kann. Des Weiteren ist die Energie bzw. Fläche unter der Extensogrammkurve bei allen Mischmehlen kleiner als bei reinem Weizenmehl.

Tab. 56 - rheologische Eigenschaften von Weizenmehl und Weizen-Sorghum-Mischmehl nach VÁSQUEZ et al. (2016)

	100 % WZ	2,5 % S	5 % S	7,5 % S	10 % S
Maximum des Dehnwiderstands [N]	0,69	0,51	0,5	0,59	0,61
Energie (Deformationsarbeit) [Nmm]	34,23	25,21	23,69	28,81	27,55
Dehnlänge [mm]	78,15	68,5	78,1	77,7	66,06

4.5.2.2. Hirse

Zu Hirse wurden ebenfalls keine Daten aus Versuchen mit einem (Brabender) Extensograph gefunden.

In den Versuchen von SAHA et al. (2011) wurden Kekse aus einer 60:40 und 70:30 (m/m) Mischung von verschiedenen Sorten Fingerhirse und Weizenmehl hergestellt und hinsichtlich ihrer Teig- und Keksqualität analysiert und bewertet. Um die

Dehnbarkeit zu untersuchen wurde die Vorgehensweise eines Extensographs mit einem SMS/Kieffer rig und Texture Analyser der Firma Stable Micro System simuliert. Grundsätzlich war die Vorgehensweise an die AACC Methode 54-21 (1995) angelehnt (SAHA et al., 2011).

Bei Weizenmehl hängt die Klebrigkeit in erster Linie vom Glutengehalt ab, wohingegen bei Hirse möglicherweise die unterschiedliche Qualität der Proteine dafür verantwortlich ist. Allerdings ist die Adhäsionskraft bei allen Hirse-Weizen-Mischungen deutlich geringer als bei reinem Weizenmehl. Die Versuche zeigten, dass der Dehnwiderstand bei höherem Weizenmehlgehalt minimal höher ist. Die ebenfalls ermittelte Dehnbarkeit ist, wie in Tab. 57 ersichtlich, bei 100 % Weizenmehl höher als den verwendeten Mischungen. SAHA et al. (2011) erklärten, dass die mit einem Extensograph gemessenen Teigeigenschaften (Dehnbarkeit, Dehnlänge) signifikant von der polymeren Proteinstruktur abhängen. Dieser Einfluss spiegelt sich in der Abnahme der Dehnlänge durch Beimischen bzw. Erhöhung der Hirsekonzentration wider (SAHA et al., 2011).

Tab. 57 - Einfluss von Weizen-Fingerhirse-Mischungen auf Dehnlänge und Dehnwiderstand von Keksteig nach SAHA et al. (2011)

	100 % WZ	60 % H	70 % H
Dehnlänge [mm]	45,33	29,42 – 38,07	23,60 – 35,87
Dehnwiderstand [g]	12,68	8,66 – 12,64	8,06 – 12,47

4.5.2.3. Buchweizen

ÖZER et al. (2010) haben neben den bereits im vorigen Kapitel 4.5.1.3 vorgestellten Farinographwerten auch Messungen mit dem Extensograph vorgenommen, um die Weizen-Buchweizen-Mischungen genauer zu charakterisieren. Basierend auf der AOAC Methode 54-10 (2000) wurden die Versuche mit dem Extensograph durchgeführt (ÖZER et al., 2010).

Sowohl der maximale Dehnwiderstand, als auch der Dehnwiderstand bei einer Extension von 50 mm sinken durch eine Zugabe von 10 – 30 % Buchweizen ab, bevor bei einem Mischungsverhältnis von 40 % Buchweizen und 60 % Weizen der Widerstand erneut etwas ansteigt, aber noch immer weit unter jenem von reinem Weizenmehl

liegt. Kontinuierlich hingegen verringerte sich die Dehnlänge und Energie (siehe Tab. 58) durch die Zugabe und Erhöhung der Buchweizenkonzentration. Dieser Effekt bestätigt, laut ÖZER et al. (2010), dass ein Zusatz von Buchweizen zu Weizenmehl eine Reduktion des Gashaltevermögens mit sich bringt und somit zu einer Verschlechterung der Teigqualität führt (ÖZER et al., 2010).

Mit einem Alveograph MA82 wurden von BONAFACCIA und KREFT (1994) die Parameter nach der Chopin-Methode ermittelt. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine Erhöhung der Buchweizenkonzentration in den Mischungen zu einer Abnahme der Stärke des Mehls bzw. Qualität des Proteinnetzwerks führt. Ebenso wurde das Verhältnis zwischen Dehnwiderstand und Dehnbarkeit des Teiges, durch einen Anstieg des Buchweizenanteils immer unvorteilhafter. Außerdem empfanden BONAFACCIA und KREFT (1994) den Teig mit 50 % Buchweizen als klumpig und schwer handhabbar.

Tab. 58 - Daten der Extensograph-Messungen von Weizen-Buchweizen-Mischungen nach ÖZER et al. (2010)

	100 % WZ	10 % BW	20 % BW	30 % BW	40 % BW
Max. Dehnwiderstand R_m [BU]	479	334	257	235	251
Dehnwiderstand R_{50} [BU]	352	283	244	232	243
Dehnlänge [mm]	163	144	117	86	64
Energie [cm ²]	115	73	46	39	25
Verhältniszahl [BU/mm]	2,94	2,32	2,21	2,75	3,95

4.5.2.4. Amaranth

Neben der Untersuchung von Amaranth-Weizen-Mischungen, der Art *A. cruentus* L., mit dem Farinograph haben GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) die gleichen Mischungsverhältnisse auch mit einem Brabender Extensograph charakterisiert. Die Durchführung der Versuche erfolgte nach der Standardanleitung Nr. 114/1 für Weizenmehl (ICC 1998) (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009).

In Tab. 59 kann abgelesen werden, dass die Teigenergie sich durch Amaranthzugabe und Erhöhung dieser verringerte. Außerdem stieg die Teigenergie zwischen der Messung nach 45 und 90 min Rastzeit an und erreichte damit ihren maximalen Wert.

Danach sank sie wieder ab oder blieb zumindest konstant. Ähnliches war auch beim Dehnwiderstand und dem Maximum des Dehnwiderstands zu beobachten. Dort stiegen die Messwerte mit steigender Amaranthzugabe erheblich und, in fast allen Fällen, mit längerer Rastzeit an. Die einzige Ausnahme stellt hier das Maximum des Dehnwiderstands bei einer Amaranthkonzentration von 10 % dar, denn dieses war bei 90 min höher als nach 135 min (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009).

Je höher die Substitution mit Amaranthmehl war, desto kürzer war die Dehnlänge des Teiges. Zusätzlich ließ sich beobachten, dass alle Teige immer weniger gedehnt werden konnten bevor sie abrisen (d.h. die Dehnlänge nahm ab), je länger die Rastzeit war (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009).

Aus Tab. 59 lässt sich ablesen, dass sowohl die Verhältniszahl, als auch die Verhältniszahl am Maximum in allen Fällen durch eine längere Rastzeit zunimmt und in den meisten Fällen durch eine Zugabe von Amaranth bzw. Erhöhung der Amaranthkonzentration gesenkt wird. Eine Ausnahme davon stellen die Ergebnisse der Verhältniszahl von 10 und 20 % Amaranth bei der ersten Messung nach 45 min dar, da diese Werte etwas über jenem von 100 % Weizenmehl liegen (GROBELNIK MLAKAR et al., 2009).

Allgemeine Beobachtungen, die GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) aus den Extensogrammen ableiteten, sind, dass Amaranth den Teig festigt. Dieses Phänomen zeigt sich hauptsächlich durch die Verringerung der Dehnlänge und lässt sich vermutlich auf die Glutenverdünnung in den Mischmehlen und eventuell die Inhaltsstoffe von Amaranth zurückführen. GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) sehen eine 10 – 20 % ige Zugabe von Amaranthmehl, anhand der in ihrer Studie gewonnenen Ergebnisse, als notwendig an, um die Teigeigenschaften positiv zu beeinflussen.

Tab. 59 - Extensograph-Daten von Amaranth-Weizen-Mischungen nach GROBELNIK MLAKAR et al. (2009)

	Rastzeit [min]	100 % WZ	10 % A	20 % A	30 % A
Energie [cm ²]	45	89	71	49	38
	90	113	86	57	40
	135	104	77	55	40
Dehnwiderstand [BU]	45	345	335	285	230
	90	507	432	370	273
	135	565	436	376	278
Dehnlänge [mm]	45	147	135	119	112
	90	137	132	111	105
	135	123	122	109	103
Maximaler Dehnwiderstand [BU]	45	460	389	297	232
	90	655	494	379	274
	135	686	484	382	278
Verhältniszahl	45	2,3	2,5	2,4	2,1
	90	3,7	3,3	3,3	2,6
	135	4,6	3,6	3,5	2,7
Verhältniszahl (Max.)	45	3,1	2,9	2,5	2,1
	90	4,8	3,7	3,4	2,6
	135	5,6	4,0	3,5	2,7

4.5.3. RVA - Rapid visco analyzer

Mit einem RVA (Rapid visco analyzer) werden die Verkleisterungsprofile verschiedener Mehlsorten ermittelt. Charakterisiert sind die Profile durch eine peak viscosity, welche die vollständige Quellung der Stärkekörner darstellt, gefolgt von einer Scherverdünnung, aufgrund des kontinuierlichen Rührens, und einem Viskositätsanstieg während der Abkühlphase, aufgrund der Reassoziaton der Stärkemoleküle (ROBIN et al., 2015).

Die peak viscosity ist die maximale Viskosität während des Erhitzens und zeigt die Wasserbindungskapazität bzw. das maximale Quellvermögen an und korreliert häufig mit der Qualität des Endprodukts. Nach dem Erreichen der peak viscosity erfolgt eine weitere Zerstörung der Stärkekörner während der Haltezeit des RVA-Tests, was sich in einem Auswaschen der Amylose zeigt. Die trough viscosity stellt die minimale Viskosität nach der peak viscosity dar, während die final viscosity die Viskosität am Ende des Tests charakterisiert und die Fähigkeit, nach dem Kochen und Abkühlen, eine viskose Paste oder Gel zu bilden anzeigt. Aus der Subtraktion der trough viscosity von der peak viscosity berechnet sich der breakdown (WU et al., 2016).

Der breakdown stellt ein Maß für die Beständigkeit der gequollenen Stärkekörnchen gegen Zerfall bei hoher Temperatur bzw. Scherverdünnung dar (SIWATCH et al., 2019). Wohingegen der setback aus der final viscosity minus der trough viscosity berechnet wird. Der Setback-Wert wird infolge der Viskositätsänderung während der Stärke-Reassoziaton im Kühlprozess, welche den Grad der retrogradierten Stärke widerspiegelt, bestimmt. Er korreliert oft mit Textureigenschaften. Ein Anstieg des Amylosegehalts verringert die Schmelztemperatur durch Zerstörung der Struktur der Stärkekörner (WU et al., 2016).

Die Unterschiede in den Verkleisterungseigenschaften verschiedener Mehle entstehen aufgrund mehrerer Faktoren, wie zum Beispiel dem Stärkegehalt, der molekularen Struktur der Stärkekörner und anderen Inhaltsstoffen der Getreidekörner (ROBIN et al., 2015). Die Ergebnisse einer RVA-Messung sind normalerweise mit dem Stärkegehalt der Probe verknüpft, werden jedoch von Interaktionen mit Proteinen und Fetten beeinflusst (VÁSQUEZ et al., 2016). Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, welche die peak viscosity beeinflussen. Bei der Untersuchung von ROBIN et al. (2015) konnte

kein alleiniger Zusammenhang zwischen der peak viscosity und dem Stärke- oder Gesamt-Amylose-Gehalt festgestellt werden.

4.5.3.1. Sorghum

Durch eine Änderung der Mehlzusammensetzung (beispielsweise Mischung zweier Mehle) bei Backwaren kommt es nicht nur zu Änderungen der technologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Teiges, sondern es kann, wie bereits bei der chemischen Zusammensetzung erwähnt, dadurch auch zu einer positiven Wirkung für die menschliche Gesundheit kommen. Unter Umständen bringt die Substitution von Weizenmehl auch wirtschaftliche Vorteile, wie niedrigere Produktionskosten, mit sich (VÁSQUEZ et al., 2016).

VÁSQUEZ et al. (2016) haben Weizenmehl und Mischmehle aus Weizen und Sorghum hinsichtlich ihren Verkleisterungseigenschaften mit einem RVA der Firma Newport Scientific, nach Methode 76-21 (AACC, 2000) untersucht. Es wurde eine Substitution des Weizenmehls in 2,5 %-Schritten von 0 – 10 % durchgeführt. Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die Verkleisterungseigenschaften mit dem Anstieg der Substitution zunehmen (VÁSQUEZ et al., 2016).

Bei der pasting temperature führte die Substitution von Weizen mit 5 % Sorghum zu einem Anstieg dieser auf 87,28 °C. 100 % Weizenmehl hat zum Vergleich eine pasting temperature von 68,95 °C. Bei einem Ersatz von nur 2,5 % Weizen durch Sorghum ist kein signifikanter Unterschied zu reinem Weizenmehl zu erkennen. Ebenso führte eine weitere Erhöhung der Sorghumkonzentration auf 7,5 bzw. 10 % zu keinem signifikanten Unterschied zu jenem Ergebnis von 5 % (VÁSQUEZ et al., 2016). Dieser stufenähnliche Anstieg der pasting temperature auf ein Plateau wird sich vermutlich nur bis zu einer bestimmten Sorghumkonzentration zeigen oder aber eine weitere Erhöhung der Sorghumkonzentration zusätzliche Sprünge nach oben oder unten mit sich bringen, denn die pasting temperature bei reinem Sorghummehl liegt laut Tab. 60 bei 71,33 °C (MARSTON et al., 2016).

Die peak viscosity betrug bei 100% Weizen ca. 2.250 cP (centipoise) bei den von VÁSQUEZ et al. (2016) durchgeführten Versuchen. Wurden nun 2,5 % durch Sorghummehl ersetzt, so sank die peak viscosity deutlich, auf etwa 2.160 cP. Erhöhte

sich der Prozentsatz des Sorghummehls auf 5 und 7,5 %, so stieg die maximale Viskosität, bei VÁSQUEZ et al. (2016), wieder an und näherte sich der von reinem Weizen. Bei 10 % Sorghummehl änderte sich nun das Bild, denn die peak viscosity lag mit ungefähr 2.310 cP deutlich über dem Ausgangswert von Weizenmehl. Die peak viscosity hängt mit dem Grad der Stärkequellung, welche vom Anteil aufgebrochener Stärkekörner abhängt, während des Erhitzens zusammen. So führt eine niedrigere Quellung der Stärkekörner zu niedrigeren Viskositätspeaks (VÁSQUEZ et al., 2016).

MARSTON et al. (2016) analysierten 100 % Sorghum-Vollkornmehl ebenfalls mit einem RVA der Firma Newport Scientific nach der AACC Methode 76-21 (2000) und erhielten dabei eine peak viscosity von 4.350 cP, siehe Tab. 60. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass eine kontinuierliche Erhöhung des Sorghumgehalts zu einem stetigen Anstieg der peak viscosity führt. Im Widerspruch dazu stehen jedoch die Ergebnisse der RVA-Messungen von ROBIN et al. (2015), welche ebenfalls mit einem Gerät der Firma Newport Scientific, allerdings scheinbar nicht nach einer Standardmethode (oder zumindest ohne Angabe dieser) durchgeführt wurden. Denn die peak viscosity von weißem Weizenmehl (Auszugsmehl) belief sich auf 2.010 cP, wohingegen jene von 100 % Sorghum-Vollkornmehl eine niedrigere peak viscosity, mit nur 1.800 cP erreichte (ROBIN et al., 2015). Um herauszufinden wie sich Mehlmischungen von Weizen und Sorghum nun tatsächlich verhalten, wäre es ratsam mit einem Weizenmehl und einem Sorghummehl nach einer Methode den gesamten Versuchsbereich von 0 – 100 % Sorghum Schritt für Schritt abzudecken, um Ergebnisse aus Versuchen mit einer einheitlichen Methode und Materialien zu gewinnen.

VÁSQUEZ et al. (2016) zeigten in einer Abbildung die trough viscosity, auch Holding strength genannt, der verschiedenen Mischungsverhältnisse, welche die minimale Viskosität nach dem Erreichen der peak viscosity darstellt. 100 % Weizenmehl erreichte hier einen Wert von 1.421 cP. Eine Substitutionsrate durch 2,5 % Sorghum führte zu einem deutlichen Abfall der trough viscosity auf nur noch 1.308 cP. Im Zuge der Erhöhung des Sorghumgehalts stieg die trough viscosity wieder an und erreicht bei 10 % Sorghum erneut das Ausgangsniveau von reinem Weizenmehl (VÁSQUEZ et al., 2016).

Zwischen der peak viscosity und der trough viscosity scheint es einen Zusammenhang zu geben. So zeigte sich bei den von VÁSQUEZ et al. (2016) durchgeführten Versuchen,

dass der Anstieg der peak viscosity eine Erhöhung der trough viscosity mit sich brachte (VÁSQUEZ et al., 2016).

Der breakdown ist ein Maß für die Pastenstabilität. Tendenziell gilt je höher die peak viscosity, desto höher der breakdown. Dies hängt mit dem Grad der Stärkequellung während dem Erhitzen zusammen. Im Fall der Substitution von Weizenmehl mit Sorghum zeigte sich bei VÁSQUEZ et al. (2016), dass der breakdown aller Substitutionsgrade mit Sorghum höhere Werte als Weizenmehl alleine (823,5 cP) erzielte. 2,5 % Sorghum führten zu einem breakdown von ca. 860 cP, welche bei 10 % auf etwa 885 cP anstieg (VÁSQUEZ et al., 2016). Deutlich höher lag deshalb auch der breakdown von 100 % Sorghum-Vollkornmehl. Über 2.000 cP (Tab. 60) hat die RVA-Messung für diese Messgröße im von MARSTON et al. (2016) durchgeführten Versuch ergeben.

Weizenmehl erreichte eine final viscosity von 2.630 cP. Ein partieller Ersatz des Weizenmehls durch Sorghummehl führte, im von VÁSQUEZ et al. (2016) analysierten Versuchsbereich von 2,5 – 10 %, zu einem signifikanten, kontinuierlichen Anstieg der final viscosity auf bis zu 3.029 cP bei 10 % Sorghum. Das bedeutet, dass je höher der Sorghumgehalt, desto höher die final viscosity. Der Wert der final viscosity bzw. eine Änderung dieses entsteht aufgrund der Gelbildung während dem Abkühlen. Diese erfolgt aufgrund der Reassoziaton zwischen Stärkemolekülen, hauptsächlich der Amylose, welche vorher, während des Mix- und Erhitzungsprozesses, aus den Stärkekörnern herausgelöst wurde. In diesem Stadium spielt die Temperatur eine sehr wichtige Rolle, weil sich bei niedrigen Temperaturen durch Verknüpfung der Stärkekettten ein Gel bildet, welches zur Erhöhung der Viskosität beiträgt (VÁSQUEZ et al., 2016). Der von VÁSQUEZ et al. (2016) beobachtete Trend eines Anstiegs der final viscosity lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die hohe final viscosity, 6.034 cP, von reinem Sorghum-Vollkornmehl zurückführen. Denn durch das Beimischen von Sorghum zu Weizenmehl, welches eine deutlich niedrigere final viscosity hat, wird diese erhöht (MARSTON et al., 2016).

Der setback berechnet sich aus der Differenz der final viscosity und trough viscosity. Der setback nahm bei VÁSQUEZ et al. (2016) ähnlich wie die final viscosity umso mehr zu, je höher der Substitutionsprozentsatz von Sorghum war. Außerdem lagen alle

Werte, bei denen dem Weizenmehl Sorghum beigemischt wurde über dem setback von reinem Weizenmehl (VÁSQUEZ et al., 2016).

VÁSQUEZ et al. (2016) erklärten, dass sich ihre beobachteten Ergebnisse der Verkleisterungseigenschaften möglicherweise auf den höheren Aschegehalt in Sorghum zurückführen lassen. Dieser stellt ein Indiz für eine geringere Beanspruchung und Beschädigung der Inhaltsstoffe, besonders der Stärke und Amylose, dar. Die intakte Amylose führt aufgrund ihrer guten Vernetzungseigenschaften zu einem Anstieg des setback und der final viscosity (VÁSQUEZ et al., 2016).

Aus der in der Studie von VÁSQUEZ et al. (2016) veröffentlichten Abbildung kann außerdem herausgelesen werden, dass der setback von 100 % Weizenmehl etwas über 1.200 cP lag und durch Zugabe von bis zu 10 % Sorghum kontinuierlich auf etwa 1.600 cP anstieg (VÁSQUEZ et al., 2016). Dieser Anstieg durch das Beimischen von Sorghummehl hinsichtlich des setback ist zu erwarten, da diese bei reinem Sorghum-Vollkornmehl bei MARSTON et al. (2016) einen Wert von 3.749 cP hatte.

Obwohl bei der Studie von VÁSQUEZ et al. (2016) nur ein sehr geringer Substitutionsgrad des Weizenmehls untersucht wurde, zeigte sich, dass Sorghum bereits bei Mengen von maximal 10 % einen beträchtlichen Einfluss auf die pasting temperature, den setback und die final viscosity hat, da es zu einem Anstieg dieser Messgrößen führte (VÁSQUEZ et al., 2016).

Tab. 60 - Verkleisterungseigenschaften von 100 % Sorghum-Vollkornmehl nach MARSTON et al. (2016)

peak viscosity [cP]	break- down [cP]	setback [cP]	final viscosity [cP]	peak time [min]	pasting temperature [°C]
4.354	2.069	3.749	6.034	5,05	71,33

4.5.3.2. Hirse

Die in Tab. 61 aufgelisteten Werte stammen aus Untersuchungen der Verkleisterungseigenschaften (mit einem RVA der Firma Newport Scientific) und des Quellvermögens von Weizenmehl, Hirsemehl (Auszugsmehl der Fuchsschwanzhirse) und Mischungen aus Hirse- und Weizenmehl (Hirsemehl 5 – 60 %). Allgemein führte

laut WU et al. (2016) ein Ersatz des Weizenmehls zu einer Reduktion der Verkleisterungseigenschaften.

Die Zugabe von Hirsemehl zu traditionellem Weizenmehl senkte das Quellvermögen und die peak viscosity (Wasserbindungskapazität). Ein Anstieg war bei der final viscosity und folglich dem setback zu sehen. Eine Substitution des Weizenmehls mit Hirse- bzw. Buchweizenmehl zeigte in der von WU et al. (2016) durchgeführten Studie prinzipiell die gleichen Tendenzen. Allerdings unterschied sich die Ausprägung der Effekte bei den beiden Rohstoffen. In dem von WU et al. (2016) analysierten Buchweizen- und Weizenmehl sind die Amylosekonzentrationen (26,6 bzw. 24,7 g/100 g) in etwa gleich groß, wohingegen der Anteil in Hirsemehl (22,9 g/100 g) etwas geringer war. Es zeigte sich, dass der Amylosegehalt eine wichtige Rolle bei der trough viscosity spielt; eine höhere Amylosekonzentration führt zu einer höheren trough viscosity (WU et al., 2016).

Mögliche Wechselwirkungen, die für ein nicht additives Verhalten von Hirse-Weizen-Mischungen verantwortlich sind, können eventuell durch Stärke-Stärke-, Stärke-Protein-Wechselwirkungen und Interaktionen von Stärke mit phenolischen Verbindungen erklärt werden. Aber auch unterschiedliche Partikelgrößen (Mahlgrade) beeinflussen die Viskositätsparameter (WU et al., 2016).

Die von ROBIN et al. (2015) hinsichtlich ihrer peak viscosity charakterisierte teilweise geschälten Prosohirse (1.500 cP) und Zwerghirse (Teff) (720 cP) liegen deutlich unter dem Wert von Auszugsmehl der Fuchsschwanzhirse von WU et al. (2016), denn die 188 RVU entsprechen 2.256 cP. Ein Vergleich dieser drei Viskositäten ist generell aber eher schwierig bzw. unmöglich, da es sich um unterschiedliche Arten, mit unterschiedlichen Raffinationsgraden, welche (eventuell) nicht mit den gleichen Methoden analysiert wurden, handelt. Allgemein lässt sich laut ROBIN et al. (2015) aber festhalten, dass sich Unterschiede in den Verkleisterungseigenschaften in verschiedenen Mehlen, auch wenn diese dieselben Vorbereitungsschritte durchlaufen, auf mehrere Faktoren, wie zum Beispiel den Stärkegehalt, die Stärkemolekülstruktur und andere Getreidekomponenten, zurückführen lassen. Die besonders niedrige Viskositätsentwicklung, von Teff und Amaranth (hier wird kein genauer Zahlenwert genannt), welche sich in einer niedrigen peak viscosity widerspiegelt, tritt womöglich

wegen ihrem niedrigen Stärkegehalt (siehe Tab. 73 und Tab. 75), der kleinen Partikelgröße und der Bildung von Amylose-Fett-Komplexen auf (ROBIN et al., 2015).

KUMAR et al. (2020) beschäftigten sich mit Proso- und Kleiner Hirse (OLM 203) und untersuchten unter anderem die Verkleisterungseigenschaften dieser Hirsemehle. Diese wurden mit einem Rapid Visco Analyzer (RVA) der Firma Newport Scientific gemäß der Methode von Nasrin et al. (2015) ermittelt.

Aus Tab. 62 kann abgelesen werden, dass es keine sehr großen Unterschiede in den Verkleisterungseigenschaften der beiden Hirsearten gibt, allerdings sehr drastische Differenzen zu den Ergebnissen von WU et al. (2016) (Tab. 61). Neben einer mehr als zehnmal höheren peak viscosity der Hirseproben bei KUMAR et al. (2020) ist auch der Verlauf der Werte unterschiedlich, da zum Beispiel die trough viscosity bei KUMAR et al. (2020) nur minimal unter den Werten der peak viscosity liegt, während diese bei WU et al. (2016) nur noch etwa die Hälfte der peak viscosity ausmachte. KUMAR et al. (2020) erklärten, dass die Verkleisterungseigenschaften von der „Starrheit“ (Festigkeit) der Stärkekörner abhängen, die das Quellpotential der Körner und in weiterer Folge die Auslaugungsmenge der Amylose in die Lösung beeinflussen. Der Hauptgrund der zum Teil erheblichen Unterschiede der Ergebnisse dieser beiden Studien liegt wahrscheinlich in den unterschiedlichen analysierten Hirsearten.

Tab. 61 - Verkleisterungs- und Quelleigenschaften von Hirse-Weizen-Mischungen nach WU et al. (2016)

	100 % WZ	5 % H	10 % H	20 % H	40 % H	60 % H	100 % H
peak viscosity [RVU]	246	241	243	241	232	219	188
trough viscosity [RVU]	141	142	139	133	123	113	97
breakdown [RVU]	100	99	104	108	109	105	91
final viscosity [RVU]	224	226	229	228	230	236	251
setback [RVU]	83	84	90	94	106	123	154
Quellvolumen [mL/g]	15,7	15,1	15,8	15,5	15,2	15,2	13,8

Tab. 62 - Verkleisterungseigenschaften von Prosohirse und Kleiner Hirse nach KUMAR et al. (2020)

	Prosohirse (BR-7)	Kleine Hirse (OLM-203)
peak viscosity [RVU]	2.153,64	2.154,38
trough viscosity [RVU]	2.131,67	2.123,21
breakdown [RVU]	21,63	31,74
final viscosity [RVU]	2.125,83	2.129,03
setback [RVU]	4,75	3,57
pasting temperature [°C]	67,15	53,97

4.5.3.3. Buchweizen

Die in Tab. 63 aufgelisteten Werte stammen aus Untersuchungen der Verkleisterungseigenschaften, welche mit einem RVA der Firma Newport Scientific gemessen wurden, und des Quellvermögens von Weizenmehl, Buchweizenmehl (Buchweizen-Vollkornmehl) und Mischungen aus Buchweizen- und Weizenmehl (Buchweizenmehl 5 – 60 %). Ein Ersatz des Weizenmehls führt auch bei der Zugabe von Buchweizenmehl zu einer Reduktion der Verkleisterungseigenschaften. Unter anderem

sinkt das Quellvermögen und die peak viscosity (Wasserbindungskapazität) (WU et al., 2016).

Tab. 63 - Verkleisterungs- und Quelleigenschaften von Buchweizen-Weizen-Mischungen nach WU et al. (2016)

	100 % WZ	5 % BW	10 % BW	20 % BW	40 % BW	60 % BW	100 % BW
peak viscosity [RVU]	246	252	247	240	223	231	195
trough viscosity [RVU]	141	143	139	133	150	155	176
breakdown [RVU]	100	109	108	107	73	76	20
final viscosity [RVU]	224	228	228	226	236	256	349
setback [RVU]	83	85	89	92	86	100	174
Quellvolumen [mL/g]	15,7	14,3	13,8	13,8	11,8	11,2	9,3

4.5.3.4. Amaranth

Die Ergebnisse in Tab. 64 wurden mit einem Rapid Visco Analyzer (RVA), der Firma Newport Scientific, erhalten und sind als RVU ausgedrückt, wobei 1 RVU = 12 cP entspricht. Die Resultate veranschaulichen, dass reines Weizenmehl die höchsten Werte aller gemessenen Verkleisterungseigenschaften hatte. Außerdem wurde gezeigt, dass alle Verkleisterungseigenschaften mit einer Zunahme des Anteils von Amaranthmehl abnehmen. Möglicherweise wird diese Abnahme durch die geringere Viskosität des Amaranthmehls herbeigeführt (CHAUHAN et al., 2016).

In Tab. 65 sind die Ergebnisse der RVA-Messung von SIWATCH et al. (2019) zu sehen, welche mit einem Gerät der Firma Newport Scientific nach der Methode von Yadav et al. (2012) durchgeführt wurden. Analysiert wurden die Verkleisterungseigenschaften von unbehandeltem Amaranthmehl der Art *Amaranthus hypochondriacus* (SIWATCH et al., 2019).

Die peak viscosity ist die Fähigkeit von Stärke, vor ihrem physikalischen Abbau, zu quellen. Ein Anstieg der Viskosität ist bei steigendem Proteingehalt zu beobachten, da Proteine die Stärkekörner vor Bruch schützen können. Mit 312 cP liegt die peak viscosity aus der Analyse von SIWATCH et al. (2019) allerdings deutlich unter den 77,50 RVU ($\pm$ 930 cP) von 100 % Amaranth von CHAUHAN et al. (2016). Obwohl beide

Untersuchungen mit Geräten derselben Firma durchgeführt wurden, können die Ergebnisse nur schwer verglichen werden, denn bei CHAUHAN et al. (2016) wurde die untersuchte Amaranthart nicht angegeben. Somit kann es bereits aufgrund von Artenunterschieden zu Differenzen bei den Ergebnissen kommen.

Etwas mehr als 5 °C ist die pasting temperature von SIWATCH et al. (2019) höher als jene von CHAUHAN et al. (2016). Sie charakterisiert jene Temperatur, bei der die Viskosität der Stärke sich zu entwickeln beginnt. Die Vermutung, dass die pasting temperature höher ist, wenn die Stärke ein reduziertes Quellvermögen (und somit eine niedrigere peak viscosity) besitzt, würde beim Vergleich dieser beiden Studien zutreffen.

SINDHUJA et al. (2005) bestimmten die Verkleisterungseigenschaften von Mehlmischungen aus Amaranth (*Amaranthus gangeticus*) und Weizen mit einem RVA der Firma Newport Scientific. Schon ein erster Blick auf die in ihrer Studie veröffentlichten Abbildungen zeigt, dass alle ermittelten Messgrößen durch eine Erhöhung der Amaranthkonzentration (von 0 – 35 %) beinahe linear gesunken sind. Die Viskositätsmessungen der Mehlmischungen zeigten, dass die peak viscosity um etwa 80 Einheiten von 271 auf 192 RVU abnahm und die final viscosity von 220 auf 153 RVU zurückging. Außerdem wurde ein Rückgang des breakdown von 151 auf 108 RVU und ein Abfall des setback von 103 auf 69 RVU festgestellt. Daher ist die Gesamt-Setback-Viskosität bei einem Anstieg der Amaranthkonzentration von 0 auf 35 % von 259 auf 177 RVU gesunken. Dieser Rückgang zeigt den Verdünnungseffekt der Klebereigenschaften an, welche für die charakteristischen Verkleisterungseigenschaften des Weizenmehls verantwortlich sind (SINDHUJA et al., 2005).

Die Beobachtung von SINDHUJA et al. (2005) der Abnahme aller Verkleisterungsparameter bei einer Zunahme des Amaranthgehalts, stimmt mit den von CHAUHAN et al. (2016) ermittelten Ergebnissen überein. Allerdings liegen die von SINDHUJA et al. (2005) festgestellten Messergebnisse deutlich über jenen aus Tab. 64, was an unterschiedlichen Messmethoden oder Amarantharten liegen könnte.

Tab. 64 - Verkleisterungsprofil von Weizen-Amaranth-Mischungen nach CHAUHAN et al. (2016)

	100 % WZ	20 % A	40 % A	60 % A	80 % A	100 % A
peak viscosity [RVU]	115,33	99,83	80,25	79,5	78,08	77,5
final viscosity [RVU]	146,5	129	90,33	86	84,91	75,75
pasting temperature [°C]	86,3	84,75	79,9	79,1	78,25	76,65

Tab. 65 - Verkleisterungseigenschaften von reinem, unbehandeltem Amaranthmehl (*Amaranthus hypochondriacus*) nach SIWATCH et al. (2019)

	100 % A
peak viscosity [cP]	312
trough viscosity [cP]	293
final viscosity [cP]	366
breakdown [cP]	18
setback [cP]	73
peak time [min]	6,49
pasting temperature [°C]	72,53

4.5.4. Wasserabsorptionsindex

Die Wasseraufnahme während einer thermischen Behandlung, welche den Prozess der Stärkeverkleisterung und Proteindenaturierung beinhaltet, kann unter anderem durch die Bestimmung des Wasserabsorptionsindex bewertet werden (RAO et al., 2016).

Bisher liegen, soweit bekannt, keine Ergebnisse von Wasserabsorptionsindices von Weizenmehlmischungen mit Sorghum, Hirse, Buchweizen oder Amaranth vor. Außerdem wurden generell nur wenige Studien gefunden, in welchen der Wasserabsorptionsindex bestimmt wurde. Ein großer Nachteil liegt in den vielen verschiedenen verwendeten Methoden, was einen Vergleich der Ergebnisse sehr erschwert.

Grundsätzlich wurde der Wasserabsorptionsindex in den meisten Fällen mit Gl. 1 berechnet.

$$\text{WAI} \left[\frac{\text{g}}{\text{g}} \right] = \frac{\text{Masse des getrockneten Sediments}}{\text{Masse der eingewogenen Mehlprobe}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Die einzelnen Komponenten der Formel haben in verschiedensten Publikationen allerdings andere Bezeichnungen.

4.5.4.1. Sorghum

Die Sorghumsorte M35-1 (auch maladandi genannt) aus Indien wurde von RAO et al. (2016) herangezogen, um unter anderem den Wasserabsorptionsindex von Mehlen, welche mit unterschiedlichen Mühlen gemahlen wurden und verschiedene Partikelgrößen aufwiesen, bei 90 °C zu bestimmen. Grundsätzlich basierte die Vorgehensweise auf der von Toyokawa et al. (1989) beschriebenen Methode, mit denselben geringfügigen Änderungen, die auch de la Hera, Gomez und Rosell bei ihren Versuchen 2013 vorgenommen haben (RAO et al., 2016).

Anhand der in Tab. 66 dargestellten Ergebnisse kommen RAO et al. (2016) zu der Aussage, dass es bei einer Reduktion der Partikelgröße des Sorghummehls sowohl in der traditionellen Mühle, als auch beim Einsatz einer Hammermühle zu einer signifikanten Erhöhung des Wasserabsorptionsindex kommt. Bei der traditionellen Mühle lässt sich dieser Trend noch relativ gut erkennen, wohingegen es bei der Hammermühle, mit Abnahme der Partikelgröße, zuerst zu einer Verringerung und

später zu einem erneuten Anstieg des Wasserabsorptionsindex kommt. Vermutlich beeinflusst der Anteil beschädigter Stärke, neben Interaktionen von Nicht-Stärke-Komponenten, wie Proteinen und Zellwandbestandteilen, die Wasseraufnahmemöglichkeit. Demnach absorbiert beschädigte Stärke mehr Wasser als unbeschädigte, wegen den Interaktionen zwischen Stärke und Nicht-Stärke-Komponenten (RAO et al., 2016).

Nach einer anderen Methode, nämlich jener von Seker et al. (2003) in einer adaptierten Form, gingen AL-RABADI et al. (2012) bei der Bestimmung des Wasserabsorptionsindex, bei 30 °C, vor. Als Untersuchungsmaterial wurde die Sorghumsorte „Buster“ verwendet, welche in einer Hammermühle auf unterschiedliche Partikelgrößen zerkleinert wurde. Zur Berechnung des Wasserabsorptionsindex wird in diesem Artikel Gl. 2 angegeben:

$$\text{WAI} \left[\frac{\text{g}}{\text{g}} \right] = \frac{\text{Masse des absorbierten Wassers}}{\text{Masse der eingewogenen, trockenen Probe} \cdot (1 - \text{lösliche Fraktion})} \quad (\text{Gl. 2})$$

Der Wasserabsorptionsindex wird als das Volumen, welches nach dem Quellen in überschüssigem Wasser durch gequollene Stärke und Ballaststoffe eingenommen wird, interpretiert (AL-RABADI et al., 2012). Bei dieser Methode handelt es sich somit lediglich um die Bestimmung des Quellungsvermögens, da bei dieser niedrigen Temperatur noch keine Verkleisterung stattfindet. In Tab. 67 sind die berechneten Wasserabsorptionsindices von AL-RABADI et al. (2012) angeführt. Diese liegen mit Werten zwischen 1,90 und 2,82 g/g unter jenen aus Tab. 66, wahrscheinlich aufgrund der Verwendung einer anderen Methode (bei niedrigerer Temperatur) und analysierten Partikelgrößen. Aus den von AL-RABADI et al. (2012) in seiner Studie erhaltenen Daten kann kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Wasserabsorptionsindex und der Partikelgröße bzw. dem Stärkegehalt hergestellt werden. Den niedrigsten Wasserabsorptionsindex von 1,90 g/g haben die größten Partikel (2,8 mm). Jene Fraktion mit einer Partikelgröße von 0,50 mm liegt im Mittelfeld der untersuchten Sorghumproben und erzielte den höchsten Wasserabsorptionsindex, bei niedrigsten Stärkegehalt (AL-RABADI et al., 2012).

Tab. 66 - Wasserabsorptionsindex (90 °C) von Sorghummehl mit verschiedenen Partikelgrößen und Mühlen nach RAO et al. (2016)

WAI (Wasserabsorptionsindex)	Partikelgröße [mm]				
	0,251	0,180	0,152	0,104	0,075
Traditionelle Mühle (Sowbhagya Industries, Guntur, India) [g/g]	7,65	7,50	8,48	8,83	8,67
Hammermühle (Centrifugal Compact Pulverizer, Centrifugal Products, Gujarat, India) [g/g]	8,90	8,76	8,40	8,79	9,29

Tab. 67 - Partikelgröße, Stärkegehalt und Wasserabsorptionsindex (30 °C) von Sorghum nach AL-RABADI et al. (2012)

	Partikelgröße [mm]							
	< 0,125	0,125	0,25	0,5	ungesiebt (Ø 0,74)	1	1,7	2,8
Stärkegehalt [g/kg]	649,8	638,8	577,8	570,2	612,8	653	656,9	589,9
WAI [g/g]	2,57	2,49	2,67	2,82	2,65	2,44	2,51	1,9

4.5.4.2. Hirse

Von Prosohirse (BR-7) und Kleiner Hirse (OLM-203) bestimmten KUMAR et al. (2020) nach der Methode von Maninder et al. (2007), in abgeänderter Form, die Werte des Wasserabsorptionsindex bei 90 °C.

Die Studie zeigte (siehe Tab. 68), dass der Wasserabsorptionsindex der beiden untersuchten, unbehandelten Hirsearten genau gleich groß ist. Allgemein erklären KUMAR et al. (2020), dass der Wasserabsorptionsindex mit den hydrophilen Eigenschaften und der Gelierungskapazität von Biomakromolekülen, wie Stärke und Protein, des Mehls verbunden ist (KUMAR et al., 2020).

Tab. 68 - Wasserabsorptionsindex von Prosohirse und Kleiner Hirse nach KUMAR et al. (2020)

	Prosohirse (<i>Panicum miliaceum</i>) (BR-7)	Kleine Hirse (OLM-203)
WAI [g/g]	3,99	3,99

4.5.4.3. Buchweizen

YU et al. (2018) haben den Wasserabsorptionsindex nach einer leicht modifizierten Methode, die Ester et al. (2013) publizierten, bei 90 °C bestimmt. Sie untersuchten geschälte Buchweizenproben, welche auf verschiedene Arten zu Mehl gemahlen wurden. Die dabei erhaltenen Wasserabsorptionsindices lagen zwischen 5,889 und 7,205 g/g. Mögliche Unterschiede der Wasserabsorptionsindices könnten auf die unterschiedlich ausgeprägte Stärkebeschädigung zurückzuführen sein. Demzufolge führt, laut der Studie von YU et al. (2018), eine geringere Beschädigung der Stärkekörner, wie es beim Nassmahlen der Fall ist, zu einem höheren Wasserabsorptionsindex (YU et al., 2018).

4.5.4.4. Amaranth

Nach aktuellem Wissensstand gibt es bisher keine veröffentlichten Daten zum Wasserabsorptionsindex von reinem Amaranthmehl. SIMWAKA et al. (2017) veröffentlichten lediglich den Wasserabsorptionsindex und Wasserlöslichkeitsindex einer 60:40 Sorghum-Amaranth-Mehlmischung und einer Hirse-Amaranth-Mischung im gleichen Verhältnis. Die Bestimmung der beiden Indices erfolgte nach der 1969 veröffentlichten Methode von Anderson et al. (1969) mit den von Kaur und Singh (2005) vorgenommenen Änderungen bei 90 °C. Dafür wurden 2,5 g Probe in 30 mL Wasser dispergiert und in ein 90 °C heißes Wasserbad für 15 min gegeben. Anschließend wurde das Röhrchen auf Raumtemperatur abgekühlt, zentrifugiert und der Überstand abgegossen (SIMWAKA et al., 2017).

Der Wasserabsorptionsindex der Sorghum-Amaranth-Mehlmischung erzielte einen Wert von 4,91 g/g. Etwas darunter, jedoch ohne statistische Signifikanz, lag der Wasserabsorptionsindex der Hirse-Amaranth-Mischung mit 4,67 g/g. In dem von SIMWAKA et al. (2017) veröffentlichten Artikel wird darauf hingewiesen, dass polare Aminosäurereste von Proteinen eine Affinität zu Wassermolekülen aufweisen, weshalb

THEORETISCHER HINTERGRUND

die Konzentrationen dieser, neben Unterschieden in der Kohlenhydratzusammensetzung, den Wasserabsorptionsindex beeinflussen können.

4.5.5. Wasserlöslichkeitsindex

Der Wasserlöslichkeitsindex ist die Maßzahl für die Menge löslicher Polysaccharide, welche in die wässrige Phase freigesetzt werden (AL-RABADI et al., 2012).

Von Weizenmehlmischungen mit Vollkornmehlen von Sorghum, Hirse, Buchweizen oder Amaranth gibt es nach aktuellem Wissensstand keine Publikationen, welche die Wasserlöslichkeitsindices untersucht haben.

Die Berechnung des Wasserlöslichkeitsindex erfolgte in den meisten, für diese Arbeit herangezogenen Publikationen, nach Gl. 3.

$$\text{WSI [\%]} = \frac{\text{Masse des getrockneten Überstands}}{\text{Masse der eingewogenen Mehlsprobe}} * 100 \quad (\text{Gl. 3})$$

Wobei auch hier anzumerken ist, dass die einzelnen Formelbestandteile in vielen Publikationen unterschiedliche Bezeichnungen aufweisen.

4.5.5.1. Sorghum

Neben Vergleichen von 100 % Weizenmehl und reiner Sorghumkleie (aus gelbem Sorghum), wurde von MOUNJOUENPOU et al. (2020) eine Mischung aus 70 % Weizenmehl und 30 % Sorghumkleie analysiert. Die Bestimmung des Wasserlöslichkeitsindex erfolgte in der Studie von MOUNJOUENPOU et al. (2020) und ROBIN et al. (2015) nach der Methode von ANDERSON et al. (1970), wobei 2,5 g Probe in 30 mL Wasser für 30 min bei einer Temperatur von 30 °C - ROBIN et al. wählten 22 °C - gerührt wurden, bevor die Probe zentrifugiert und der Überstand getrocknet wurde.

Berechnet wurde dieser bei MOUNJOUENPOU et al. (2020) anhand von Gl. 4.

$$\text{WSI [\%]} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} * 100 \quad (\text{Gl. 4})$$

Wobei M_0 die Masse der Probe und M_1 die Masse am Ende, nach der Auflösung im Wasser, ist (MOUNJOUENPOU et al., 2020).

Während die Wasserlöslichkeitsindices von reinem Weizen und Sorghum ident sind, sank der Index bei der Sorghum-Weizen-Mischung um ca. ein Drittel (MOUNJOUENPOU et al., 2020).

ROBIN et al. (2015) haben den Wasserlöslichkeitsindex von Weizen, Amaranth (siehe Tab. 75), Prosohirse, Teff (Tab. 73) und Sorghum (Tab. 70) bestimmt. Dem Test wurden Vollkornmehle von allen Rohstoffen, mit Ausnahme von Weizen (welches Auszugsmehl war), unterzogen (ROBIN et al., 2015).

Ein Vergleich der Ergebnisse der chemischen Analysen von Tab. 70, Tab. 73 und Tab. 75 zeigt, dass Amaranth der Rohstoff mit dem niedrigsten Stärkegehalt, aber höchsten Protein- und Ballaststoffgehalt war. Sorghum hingegen hatte die höchste Stärke- und Fettkonzentration, aber den niedrigsten Proteingehalt. Der prozentuelle Anteil der Amylose an der Stärke war bei Sorghum am höchsten und Amaranth am niedrigsten (ROBIN et al., 2015).

Ganz allgemein ausgedrückt gibt der Wasserlöslichkeitsindex die Menge der wasserlöslichen Moleküle bzw. Materialien in der Probe an. In unbehandeltem Mehl sind die Wasserlöslichkeitsindices generell mit 3,4 – 11 % sehr niedrig. Abhängig vom Stärke- und Fettgehalt, der kristallinen Stärkestruktur und Partikelgröße kann sich der Wasserlöslichkeitsindex durch Extrusion erheblich erhöhen (ROBIN et al., 2015). MOUNJOUENPOU et al. (2020) erhielten mit ihren Messungen (siehe Tab. 69) deutlich höhere Wasserlöslichkeitsindices. Woran das in dieser Studie liegt, kann anhand der zu Verfügung stehenden Informationen nicht festgestellt werden.

Aus der Gegenüberstellung von Weizen und Sorghum könnte als erster Rückschluss gezogen werden, dass ein höherer Proteingehalt und eine niedrigere Stärke- bzw. vor allem Amylosekonzentration zu einem höheren Wasserlöslichkeitsindex führen, wohingegen ein hoher Fettgehalt für einen niedrigeren Wasserlöslichkeitsindex verantwortlich sein dürfte. Keinen Zusammenhang mit der chemischen Zusammensetzung, sondern mit der Partikelgröße bzw. Mühle versuchten RAO et al. (2016) herzustellen. Dazu wurde der Wasserlöslichkeitsindex anhand der Methode von Toyokawa et al. (1989), mit den von de la Hera et al. (2013) vorgenommenen Änderungen bestimmt.

Wie allerdings aus den Ergebnissen in Tab. 71 hervorgeht, konnte kein signifikanter Unterschied der Wasserlöslichkeitsindices verschiedener Partikelgrößen festgestellt werden. Indes waren die Ergebnisse jener Proben, welche mit der Hammermühle bearbeitet wurden, größer als jene aus der traditionellen Mühle. Unter Umständen lässt sich das durch die stärkere bzw. härtere Beanspruchung der Sorghumkörner in

der Hammermühle, und damit verbundenen höheren Freisetzung von wasserlöslichen Komponenten, erklären. So sahen RAO et al. (2016) die Amylose als mögliche Komponente, die zu einem höheren Wasserlöslichkeitsindex führt, da durch die in der Hammermühle induzierte höhere Reibungswärme mehr Amylose freigesetzt wird (RAO et al., 2016).

Neben der Bestimmung des Wasserabsorptionsindex (siehe Tab. 67) führten AL-RABADI et al. (2012) zusätzliche Messungen zur Ermittlung der Wasserlöslichkeitsindices (bei 30 °C) durch. Hier sind AL-RABADI et al. (2012) ebenfalls, in adaptierter Form, nach der Methode von Seker et al. (2003) vorgegangen.

Im Gegensatz zu den Werten des Wasserabsorptionsindex (Tab. 67) ist bei den Wasserlöslichkeitsindices ein grober Trend zu erkennen. Tendenziell (siehe Tab. 72) führt eine Reduktion der Partikelgröße, durch Vergrößerung der Oberfläche, zu einer Erhöhung des Wasserlöslichkeitsindex (AL-RABADI et al., 2012). Allerdings kann auch hier kein Zusammenhang des Wasserlöslichkeitsindex mit einem bestimmten Stärkegehalt hergestellt werden.

Tab. 69 - Wasserlöslichkeitsindex von Weizenmehl, Sorghumkleie und einer Mischung beider nach MOUNJOUENPOU et al. (2020)

	100 % WZ	100 % Sorghumkleie (gelber Sorghum)	30 % Sorghumkleie
Wasserlöslichkeitsindex [%]	30	30	20

Tab. 70 - Chemische Zusammensetzung und Wasserlöslichkeitsindex von Weizen und Sorghum nach ROBIN et al. (2015)

		Weizen (Auszugsmehl)	Sorghum
Protein [% d.b.]		12,5	6,4
Fett [% d.b.]		1,5	10,5
Ballaststoffe	unlöslich [% d.b.]	1,5	7,6
	löslich [% d.b.]	3,9	1,1
Stärke [% d.b.]		77,2	79,6
Amylose [% der Stärke]		24	30
WSI vor Extrusion [%]		6,2	4,4

Tab. 71 - Wasserlöslichkeitsindex von Sorghummehl mit verschiedenen Partikelgrößen und Mühlen nach RAO et al. (2016)

WSI (Wasserlöslichkeitsindex)	Partikelgröße [mm]				
	0,251	0,180	0,152	0,104	0,075
Traditionelle Mühle (Sowbhagya Industries, Guntur, India) [g/g]	5,86	5,57	4,77	5,97	5,68
Hammermühle (Centrifugal Compact Pulverizer, Centrifugal Products, Gujarat, India) [g/g]	6,37	7,45	8,66	7,54	6,06

Tab. 72 - Partikelgröße, Stärkegehalt und Wasserlöslichkeitsindex von Sorghum nach Al-RABADI et al. (2012)

	Partikelgröße [mm]							
	< 0,125	0,125	0,25	0,5	ungesiebt (Ø 0,74)	1	1,7	2,8
Stärkegehalt [g/kg]	649,8	638,8	577,8	570,2	612,8	653,0	656,9	589,9
WSI [%]	4,31	4,09	4,52	4,09	3,37	2,48	1,67	1,30

4.5.5.2. Hirse

Neben Teff, auch Zwerghirse genannt, bestimmten ROBIN et al. (2015) den Wasserlöslichkeitsindex von teilweise geschälter Prosohirse nach der Methode von ANDERSON et al. (1970), allerdings bei 22 °C. Der Wasserlöslichkeitsindex von Prosohirse ist nur etwas weniger als halb so groß wie von Weizen und etwas mehr als die Hälfte von dem von Teff. Die teilweise geschälte Prosohirse unterscheidet sich wie in Tab. 73 ersichtlich von den beiden anderen Rohstoffen hinsichtlich eines niedrigeren Proteingehalts, höheren Fettgehalts, einer niedrigeren Summe von unlöslichen und löslichen Ballaststoffen, etwas höherem Stärkegehalt und einer höheren Amylosekonzentration. ROBIN et al. (2015) unterstrichen besonders, dass der hohe Fettgehalt bei Hirse und Sorghum für den geringeren Wasserlöslichkeitsindex verantwortlich ist (ROBIN et al., 2015).

Anhand der Daten aus Tab. 73 könnte die Hypothese aufgestellt werden, dass ein niedrigerer Protein- und Gesamtballaststoffgehalt, sowie eine größere Fett-, Stärke-

und Amylosekonzentration zu einem niedrigeren Wasserlöslichkeitsindex führt. Diese Theorie kann auch auf die Ergebnisse in Tab. 70, mit Ausnahme der Ballaststoffe, angewendet werden.

Der Wasserlöslichkeitsindex von Prosohirse (BR-7) und Kleiner Hirse (OLM-203) wurde von KUMAR et al. (2020) nach der Methode von Maninder et al. (2007) in abgeänderter Form bei 90 °C bestimmt.

Wie bereits bei den Wasserabsorptionsindices von Prosohirse und Kleiner Hirse zeigt sich auch beim Wasserlöslichkeitsindex der beiden Proben kein signifikanter Unterschied (siehe Tab. 74). Allerdings liegen die Ergebnisse deutlich unter jenen von ROBIN et al. (2015), wobei diese beiden Studien den Wasserlöslichkeitsindex bei unterschiedlichen Temperaturen bestimmten.

Tab. 73 - Chemische Zusammensetzung und Wasserlöslichkeitsindex von Weizen, Prosohirse und Teff nach ROBIN et al. (2015)

		Weizen (Auszugsmehl)	Prosohirse (tlw. geschält)	Teff (Zwerghirse)
Protein [% d.b.]		12,5	8	11,2
Fett [% d.b.]		1,5	4,5	3,6
Ballaststoffe	unlöslich [% d.b.]	1,5	2,7	8,4
	löslich [% d.b.]	3,9	0,9	2,5
Stärke [% d.b.]		77,2	77,7	65,4
Amylose [% der Stärke]		24	26	22
WSI vor Extrusion [%]		6,2	3,4	7,2

Tab. 74 - Wasserlöslichkeitsindex von Prosohirse und Kleiner Hirse nach KUMAR et al. (2020)

	Prosohirse (<i>Panicum miliaceum</i>) (BR-7)	Kleine Hirse (OLM-203)
WSI [g/100 g]	1,42	1,41

4.5.5.3. Buchweizen

Die Wasserlöslichkeitsindices (bei 90 °C) geschälter Buchweizenproben, welche auf technisch unterschiedlichem Wege zu Mehl verarbeitet wurden, analysierten YU et al.

(2018) mit geringen Änderungen nach der von Ester et al. (2013) veröffentlichten Methode.

Die von YU et al. (2018) erhaltenen Wasserlöslichkeitsindices der verschiedenen gemahlenen Buchweizenmehle lagen im Bereich von 4,197 – 8,462 g/100 g. Dass es bereits bei der Versuchsdurchführung nach derselben Anleitung mit der gleichen Buchweizensorte zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen kann, zeigt, dass eine physikalische Beanspruchung der Körner neben einer Reduktion der Partikelgröße auch zu einer Schädigung der Sameninhaltsstoffe führt, was einen erheblichen Einfluss auf den Wasserlöslichkeitsindex haben kann.

4.5.5.4. Amaranth

Im Vergleich mit den anderen von ROBIN et al. (2015) getesteten Rohstoffen lag der Wasserlöslichkeitsindex des Pseudogetreides Amaranth signifikant höher. Außerdem erfuhr der Wasserlöslichkeitsindex von Amaranth durch Extrusion die stärkste Veränderung, aller von ROBIN et al. (2015) analysierten Proben, von 10,6 auf 60,8 %. Eine Erklärung dafür sehen ROBIN et al. (2015) in dem sehr geringen Stärkegehalt sowie der hohen Empfindlichkeit der Amaranthstärke gegenüber Extrusion, da es hierbei zu einem Zerfall der Stärkemoleküle kommt (ROBIN et al., 2015).

Die bei Hirse aufgestellte Hypothese zum Einfluss der einzelnen chemischen Inhaltsstoffe auf den Wasserlöslichkeitsindex lässt sich auf die Ergebnisse von Amaranth, in Tab. 75, ohne Einschränkungen anwenden.

KONG et al. (2009) haben sich entschieden den Wasserlöslichkeitsindex verschiedener Amarantharten, siehe Tab. 76, nach der Methode von Li und Yeh (2001) mit ein paar Änderungen zu ermitteln. Aufgrund der Tatsache, dass eine anderen Methode als bei den in Tab. 75 aufgelisteten Ergebnissen von ROBIN et al. (2015) verwendet wurde, lassen sich die Ergebnisse nicht direkt vergleichen. Darüber hinaus ist nicht bekannt, welche Sorte von ROBIN et al. (2015) untersucht wurde.

Bei den Daten von KONG et al. (2009) ist zu sehen, dass besonders bei *Amaranthus cruentus* L. die Spannbreite der möglichen Ergebnisse bezüglich der Wasserlöslichkeitsindices von 16,1 – 95,3 % (bei 85 °C) sehr groß ist. Des Weiteren lässt sich der Trend, dass ein höherer Amylosegehalt zu einem niedrigeren

Wasserlöslichkeitsindex führt, auch bei dem überwiegenden Teil der Daten von KONG et al. (2009) beobachten. Der Wasserlöslichkeitsindex wurde von KONG et al. (2009) auch bei anderen Temperaturen ermittelt, wobei festgestellt wurde, dass dieser mit einem Anstieg der Temperatur, wenn auch nicht linear, zunimmt.

SIMWAKA et al. (2017) berechnete die Wasserlöslichkeitsindices, einer 60:40 Sorghum-Amaranth-Mehlmischung und einer Hirse-Amaranth-Mischung, im gleichen Verhältnis. Die Bestimmung des Wasserlöslichkeitsindex führten sie anhand der Methode von Anderson et al. (1969), mit den von Kaur und Singh (2005) vorgenommenen Änderungen bei 90 °C, durch (SIMWAKA et al., 2017).

Um etwa ein Drittel kleiner ist der Wasserlöslichkeitsindex der Sorghum-Amaranth-Mischung (1,87 g/g) als jener der Hirse-Amaranth-Mischung (3,04 g/g) (SIMWAKA et al., 2017). SIMWAKA et al. (2017) erklärten, dass der Wasserlöslichkeitsindex mit der Anwesenheit von löslichen Molekülen zusammenhängt und ein Maß für den Stärkeabbau ist. Ein geringerer Wasserlöslichkeitsindex bedeutet, dass weniger Stärkeabbau stattfindet, weshalb weniger lösliche Moleküle vorhanden sind. Neben den von SIMWAKA et al. (2017) berichteten Beobachtungen, zeigen auch die Daten der verschiedenen von ROBIN et al. (2015) untersuchten Rohstoffe, dass Amaranth generell einen hohen Wasserlöslichkeitsindex hat.

Tab. 75 - Chemische Zusammensetzung und Wasserlöslichkeitsindex von Weizen und Amaranth nach ROBIN et al. (2015)

		Weizen (Auszugsmehl)	Amaranth
Protein [% d.b.]		12,5	16,6
Fett [% d.b.]		1,5	2,0
Ballaststoffe	unlöslich [% d.b.]	1,5	9,1
	löslich [% d.b.]	3,9	2,7
Stärke [% d.b.]		77,2	56,3
Amylose [% der Stärke]		24	3,6
WSI vor Extrusion [%]		6,2	10,6

Tab. 76 - Amylosegehalt und Wasserlöslichkeitsindex verschiedener Amarantharten nach KONG et al. (2009)

	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	<i>Amaranthus paniculatus</i> L.	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	<i>Amaranthus hybridus</i> L.
Amylose [%]	4,7 – 12,5	8,9	5,4 – 5,8	6,1
WSI (bei 85 °C) [%]	16,1 – 95,3	78,0	90,6 – 91,0	85,1

5. Material und Methoden

5.1. Materialien

Rohstoffe:

- **WZ:** Fini's Feinstes Weizenmehl W700 (GoodMills Österreich GmbH, Schwechat, Österreich), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C
- **H:** Hirse-Mehl (*Panicum miliaceum*) (Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, Linz-Ebelsberg, Österreich), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C
- **BW:** Buchweizen-Mehl (Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, Linz-Ebelsberg, Österreich), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C
- **RS:** Sorghum rot-Vollkornmehl („Armorik“) (Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, Linz-Ebelsberg, Österreich), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C
- **WS1:** Sorghum weiß-Vollkornmehl 1 („Ggivry“) (Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, Linz-Ebelsberg, Österreich), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C
- **WS2:** Sorghum weiß-Vollkornmehl 2 („Ggolden“) (Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, Linz-Ebelsberg, Österreich), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C
- **A:** Amaranth-Mehl (zur Herkunft sind keine weiteren Informationen vorhanden, Körner im Technikum der BOKU zu Mehl gemahlen), Lagerung bis zur Verwendung bei +4 °C

5.2. Versuchsdurchführung

Im Zuge dieser Masterarbeit wurde die chemische Zusammensetzung der Mehle, sowie einige definierte physikalischen Messgrößen ermittelt. Darüber hinaus erfolgte eine rheologische Charakterisierung von Mischungen aus Weizenmehl und einem Anteil von bis zu 30 % Mehl von alternativen Körnerfrüchten mit dem Haubelt Flourgraph E6 und E7.

Für die rheologischen Versuche wurden die Mehlproben in verschlossenen Plastiksäcken mindestens eine Woche bei Raumtemperatur gelagert, bevor die Feuchte bestimmt und die Mehle verwendet wurden.

5.3. Analytische Methoden

5.3.1. Trockenmassebestimmung

Prinzip:

Die Bestimmung der Trockenmasse einer Probe, erfolgt durch Wiegen der Probe vor und nach dem Trocknen bis zur Gewichtskonstanz. Während des Trocknungsprozesses wird das gesamte freie Wasser verdampft.

Material und Geräte:

- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, $\pm 0,1$ mg)
- Aluschalen
- Trockenschrank (Memmert GmbH + Co. KG, Deutschland)
- Exsikkator

Durchführung:

Die Durchführung erfolgte in Anlehnung an die von TRAUGOTT (2015) beschriebene Vorgehensweise.

Aluschalen wurden zur Konditionierung mindestens 4 h bei 103 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend im Exsikkator bis zur weiteren Verwendung, zumindest aber bis sie auf Raumtemperatur abgekühlt waren, aufbewahrt. Zur Trockenmassebestimmung wurde das Leergewicht der Aluschale bestimmt und anschließend ca. $5,0 \pm 0,0001$ g Probe (EW) eingewogen. Die Schale wurde nun wieder mindestens 4 h, meist aber über Nacht, bei 103 °C in den Trockenschrank gestellt. Nachdem die Aluschalen im Exsikkator ausgekühlt waren, wurden die Schalen erneut gewogen (AW). Die Trockensubstanz wurde anschließend mit Gl. 5 berechnet.

Berechnung:

$$TS [\%] = \frac{AW - \text{Aluschale leer}}{EW} * 100 \quad (\text{Gl. 5})$$

TS [%]...Trockensubstanz

AW [g]...Auswaage (Masse der getrockneten Probe + Aluschale)

Aluschale leer [g]...Leergewicht der Schale (vor Probeneinwaage)

EW [g]...Einwaage (Masse der eingewogenen Probe)

5.3.2. Bestimmung des Aschegehalts

Prinzip:

Der Aschegehalt der Proben wird als der nach mehrstündigem Verglühen zurückbleibende anorganische Rückstand (Mineralstoffe) bestimmt (MATISSEK et al., 2018).

Material und Geräte:

- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, $\pm 0,1$ mg)
- Porzellantiegel
- Exsikkator
- Vorverascher (Schnell-Verascher, TYP SVR/E, HARRY GESTIGKEIT GMBH, Deutschland)
- Muffelofen (CARBOLITE, ELF 11/6B CARBOLITE, England)

Durchführung:

Die Durchführung zur Bestimmung des Aschegehalts erfolgte in Anlehnung an die von MATISSEK et al. (2018) beschriebene Vorgehensweise.

Die Porzellantiegel wurden im Muffelofen 1 h bei 600 °C ausgeglüht (auf Gewichtskonstanz) und dann in den Exsikkator gestellt, um sie auf Raumtemperatur (mind. 1 h) abkühlen zu lassen.

Bevor die Probeneinwaage erfolgte, wurde das Leergewicht des Tiegels ermittelt. Danach wurden etwa $2,5 \pm 0,0001$ g Probe in den Porzellantiegel eingewogen. Im Anschluss daran erfolgte die Vorveraschung der Proben mit Hilfe des Schnell-Veraschers in folgenden Schritten:

- ca. 15 min auf 20 % Leistung
- wenn es nicht mehr raucht, ca. 15 min auf 40 %
- wenn es nicht mehr raucht, ca. 15 min auf 60 %
- wenn es nicht mehr raucht, ca. 15 min auf 80 %

Danach wurden die Tiegel im Muffelofen bei 600 °C für ca. 6 h geglüht und anschließend der Ofen abgeschaltet. Wenn der Muffelofen nur noch ca. 300 °C anzeigte, wurden die Tiegel herausgenommen und für mind. 4 h (oder über Nacht) in den Exsikkator gestellt, um auf Raumtemperatur abzukühlen. Die ausgekühlten Tiegel

wurden dann noch einmal gewogen. Der Aschegehalt wurde mit Gl. 6 bzw. Gl. 7 berechnet.

Berechnung:

$$\text{Asche [\%]} = \frac{\text{AW} - \text{Tiegel leer}}{\text{EW}} * 100 \quad (\text{Gl. 6})$$

AW [g]...Auswaage (Masse der veraschten Probe + Porzellantiegel)

Tiegel leer [g]...Leergewicht des Porzellantiegels (nach dem Ausglühen, vor der Probeneinwaage)

EW [g]...Einwaage (Masse der eingewogenen Probe)

$$\text{Asche i. d. TS [\%]} = \text{Asche [\%]} * \frac{100}{\text{TS[\%]}} \quad (\text{Gl. 7})$$

Asche i. d. TS [%]... Asche in der Trockensubstanz in Prozent

TS [%]...Trockenmasse in Prozent

5.3.3. Proteinbestimmung nach Kjeldahl

Prinzip:

Die Proteinbestimmung nach Kjeldahl beruht auf der Bestimmung des gesamten Stickstoffs in einer Probe und Umrechnung mit Hilfe eines Faktors in den Proteingehalt. Die Gesamtstickstoffbestimmung erfolgt durch Reduktion des organisch gebundenen Stickstoffs in der Probe, unter Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure und Katalysatoren, zu Ammoniumsulfat. Durch anschließende Zugabe von Natronlauge im Überschuss und Wasserdampfdestillation wird Ammoniak freigesetzt. Dieser wird in eine Borsäurelösung übergeführt. Das gebildete Borat wird nun bei einer Titration mit Salzsäure quantifiziert. Schlussendlich kann der Stickstoffgehalt und mit Hilfe des Umrechnungsfaktors der Proteingehalt berechnet werden (MATISSEK et al., 2018).

Material und Geräte:

- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, $\pm 0,1$ mg)
- Glasperlen
- Kjeldahltabletten
- Salzsäure (HCl), Maßlösung 0,1 M
- Schwefelsäure 95 %

- Borsäure 4 %, pH = 9,65
- Natronlauge 32 %
- Sher Indikator
- Aufschlussanlage (KjelDigester, K-449, BÜCHI Labortechnik AG, Schweiz, 2016)
 - Scrubber (B-414Cond, BÜCHI Labortechnik AG, Schweiz)
- Destillationsapparatur (KjelFlex, K-360, BÜCHI Labortechnik AG, Schweiz)
- Titrationsautomat (775 Dosimat, Metrohm, Schweiz)
- Magnetrührer (MR – mini, Heidolph, Deutschland)

Durchführung:

Die Bestimmung des Gesamtproteingehalts, angelehnt an dem ICC Standard No. 105/2 der INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (1994), erfolgte über die Stickstoff – Methode nach Kjeldahl, ähnlich wie von MATISSEK et al. (2018) beschrieben. Die genaue Beschreibung der Durchführung war wie folgt.

In jeden Kolben der Aufschlussanlage wurden zwei Glasperlen und zwei Katalysatortabletten vorgelegt. Anschließend wurden je $1,0 \pm 0,0001$ g Probe eingewogen. Bei drei Kolben wurde anstelle von Probe je $0,15 \pm 0,0001$ g Glycin eingewogen und bei zwei Kolben (Blindwert) nichts zu den Glasperlen und Katalysatortabletten dazugegeben. Bevor die Kolben im Digesterrahmen der Aufschlussanlage platziert wurden, erfolgte noch die Zudosierung von 15 mL konzentrierter Schwefelsäure in jeden Kolben. Danach wurde der Aufsatzdeckel mit einem feuchten Papier gereinigt und so geschlossen, dass alle Kolben dicht abschließen. Schließlich wurden noch der Scrubber und die Kühlung eingeschalten, bevor der Kjeldahl selbst (mit Methode 1) gestartet wurde.

Nach ca. 2,70 h war der Aufschluss beendet. Bevor mit der Destillation weitergemacht werden konnte, mussten die Kolben noch etwas abkühlen. Danach wurde bei dem bereits eingeschalteten Destillator die Kühlung aufgedreht, der etwas abgekühlte Kolben in die Destillationsapparatur eingespannt und rechts ein leerer Erlenmeyerkolben mit zwei Tropfen vorgelegtem Indikator untergestellt. Nach Abschluss der Destillation wird die Lösung im Erlenmeyerkolben mit Salzsäure bis zu einer sehr hellen Lachsfarbe titriert und der Verbrauch notiert. Zur Berechnung des Proteingehalts wurde Gl. 8 bzw. Gl. 9 herangezogen.

Berechnung:

$$\text{Protein}[\%] = \frac{V \cdot 14,007 \cdot 0,1}{EW \cdot 1000} * 100 * F \quad (\text{Gl. 8})$$

V [mL]...bei Titration verbrauchte Volumen Salzsäure in mL

EW [g]...Probeneinwaage in g

F...Faktor zur Umrechnung vom Stickstoffgehalt in Protein

- Sorghum: F = 5,67 (MARIOTTI et al., 2019)
- Hirse: F = 5,83 (FAO, 2002)
- Buchweizen: F = 5,75 (BONAFACCIA et al., 1994)
- Weizen: F = 5,68 (EWART, 1967)
- Amaranth: F = 5,85 (ALVAREZ-JUBETE et al., 2009)

$$\text{Protein}[\% \text{ i. d. TS}] = \frac{\text{Protein}[\%]}{\text{TS}[\%]} * 100 \quad (\text{Gl. 9})$$

Protein i. d. TS [%]... Protein in der Trockensubstanz in Prozent

TS [%]...Trockenmasse in Prozent

5.3.4. Fettbestimmung nach Soxhlet

Prinzip:

Bei der Fettbestimmung werden alle hydrophoben, nicht wasserlöslichen Verbindungen ermittelt. Durch die direkte Extraktion nach Soxhlet wird das „freie Fett“ erfasst (MATISSEK et al., 2018).

Material und Geräte:

- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, ± 0,1 mg)
- Trockenschrank (Memmert GmbH + Co. KG, Deutschland)
- Exsikkator
- Soxhlet Extraktionsanlage (FoodALYT R S 6 0, OMNILAB, Deutschland)
- Petrolether
- Watte
- Extraktionshülsen
- Siedesteine

Durchführung:

Die Bestimmung des „freien Fetts“ erfolgte ähnlich zu der in MATISSEK et al. (2018) beschriebenen Methode.

Bevor mit der Fettbestimmung begonnen wurde, mussten die Rundkolben (mit je drei Siedesteinen) und die Extraktionshülsen ca. 1 – 2 h im Trockenschrank bei 103 °C getrocknet werden. Nach dem Abkühlen der Utensilien im Exsikkator wurden in die Extraktionshülsen je ca. $8,0 \pm 0,0001$ g ebenfalls im Trockenschrank vorgetrocknete Probe eingewogen und die Hülsen locker mit Watte verschlossen. In die Rundkolben wurde jeweils mindestens 150 mL Petrolether vorgelegt, auf die Heizvorrichtung gestellt und die Rückflusskühler der Soxhlet-Apparatur aufgesetzt. Danach konnte die Kühlung und Heizvorrichtung eingeschaltet werden. Die Temperatur wurde so geregelt, dass es kontinuierlich in den Rundkolben zurücktropft, aber nicht durchgehend rinnt. Nach etwa 4 h (ca. 30 – 40 Zyklen) konnte die Extraktion, sofern das Lösungsmittel klar war, beendet werden. Hierfür wurde das Lösungsmittel abgelassen und die Rundkolben über Nacht im Abzug stehen gelassen. Am nächsten Tag kamen die Rundkolben nochmal für ca. 1 h bei 103 °C in den Trockenschrank und anschließend in den Exsikkator, bevor sie ausgewogen wurden. Die Berechnung des Fettgehalts erfolgte mit Gl. 10 bzw. Gl. 11.

Berechnung:

$$\text{Fett}[\%] = \frac{AW - RK_{\text{leer}}}{EW} * 100 \quad (\text{Gl. 10})$$

AW [g]...Auswaage des Rundkolbens am nächsten Tag

RK_{leer} [g]...Leergewicht des Rundkolbens (nach dem Trocknen, vor der Einwaage)

EW [g]...Probeneinwaage

$$\text{Fett}[\% \text{ i. d. TS}] = \frac{\text{Fett}[\%]}{\text{TS}[\%]} * 100 \quad (\text{Gl. 11})$$

Fett i. d. TS [%]... Fett in der Trockensubstanz in Prozent

TS [%]...Trockenmasse in Prozent

5.3.5. Bestimmung der gesamten Stärke

Prinzip:

Mit dem Enzymkit „Total starch“ der Firma Megazyme wird der gesamte Stärkegehalt in den Proben bestimmt.

Die thermostabile α -Amylase spaltet Stärke in lösliche Maltodextrine. Anschließend entsteht durch Zugabe von Amyloglucosidase aus den Maltodextrinen D-Glucose. Bei der Oxidation von D-Glucose zu D-Gluconat wird ein Mol Wasserstoffperoxid frei, welches mit einer Farbreaktion photometrisch quantifiziert werden kann (MEGAZYME, 2011).

Material und Geräte:

- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, $\pm 0,1$ mg)
- Zentrifuge (Centrifuge 5810 R, Eppendorf AG, Deutschland)
- Magnetrührer (VARIOMAG Electronicrührer MULTIPOINT HP 15, DR. HOISS + PARTNER GMBH, Deutschland)
- Vortex-Mixer (Vortex-Genie 2, G560E, SCIENTIFIC INDUSTRIES INC, USA)
- Photometer (UV Spectrophotometer, UV-1800, SHIMADZU USA MANUFACTURING INC., USA)
- Wasserbad (1086, Gesellschaft für Labortechnik mbH, Deutschland)
- Enzymkit „Total starch“ (Megazyme International Ireland Ltd., Ireland)
- Ethanol 80 % (v/v)
- Natrium-Acetat-Puffer (1,2 M, pH = 3,8)
- KOH-Lösung (2 M)

Durchführung:

Vorgegangen wurde nach der Anleitung „Total Starch Assay Procedure (Amyloglucosidase/ α -Amylase Method) K-TSTA 07/11“ Unterpunkt c) „Determination of total starch content of samples containing resistant starch, but no D-glucose and/or maltodextrins (KOH Format – Recommended)“ der Firma Megazyme, welche die AOAC Methode 996.11 bzw. AACC Methode 76.13 und Verbesserungen beinhaltet.

Bei dieser Methode wurden ca. $100 \pm 0,1$ mg Probe in ein Glasröhrchen eingewogen, 0,2 mL Ethanol (80 % v/v) hinzugegeben und mit einem Vortex-Mixer vermischt.

Danach erfolgte die Zugabe von einem Magnetrührkern und 2 mL 2 M KOH in jedes Glasröhrchen. Die Röhrchen wurden dann 20 min in einem Eiswasserbad auf einem Magnetrührer kontinuierlich gerührt, damit sich die Pellets (und resistente Stärke) auflösen. Im Anschluss daran wurden 8 mL des 1,2 M Natrium-Acetat-Puffers (pH = 3,8), während ununterbrochenem Rühren auf einem Magnetrührer, hinzugegeben. Sofort danach wurden 0,1 mL thermostabile α -Amylase und 0,1 mL Amyloglucosidase in jedes Glasröhrchen pipettiert, gut vermischt und dann für 30 min in einem 50 °C warmen „Schüttel“-Wasserbad inkubiert. Nach etwa 10 und 20 min wurden die Glasröhrchen kurz aus dem Wasserbad herausgenommen und mit dem Vortex-Mixer durchgemixt. Nach Ende der 30 min im Wasserbad wurde der Inhalt des Glasröhrchens in einen 100 mL Messkolben transferiert, während der Magnetrührkern zurückgehalten wurde. Durch Ausspülen der Röhrchen mit destilliertem Wasser sollte möglichst vollständig die gesamte Suspension in den Messkolben überführt werden. Daraufhin wurde der Messkolben mit destilliertem Wasser auf 100 mL aufgefüllt und durch Schütteln gut durchmischt. Ein ca. 10 mL Aliquot dieser Lösung wurde bei 1.800 G für 10 min zentrifugiert. Vom Überstand eines Glasröhrchens wurden zwei 0,1 mL Aliquote entnommen und in zwei neue Glasröhrchen vorgelegt. Danach wurden 3,0 mL GOPOD Reagenz hinzugegeben und die Röhrchen bei 50 °C für weitere 20 min inkubiert. Anschließend wurde die Absorption der Proben bei 510 nm bestimmt und die Absorption des Reagenzblanks davon abgezogen. Der Stärkegehalt wurde mit Gl. 12 berechnet.

Berechnung:

$$\text{Stärke}[\%] = \Delta A * F * \frac{FV}{0,1} * \frac{1}{1000} * \frac{100}{W} * \frac{162}{180} = \Delta A * \frac{F}{W} * FV * 0,9 \quad (\text{Gl. 12})$$

ΔA ...Differenz zwischen der Absorption der Probe und dem Reagenzblank ($\Delta A = (\text{Absorption Probe} - \text{Absorption Reagenzblank}) - (\text{Absorption Probenblank} - \text{Absorption Reagenzblank})$)

F...Faktor zur Umrechnung der Absorption in μg

$$(F = \frac{100 (\mu\text{g D-Glucose})}{\text{Absorption von } 100\mu\text{g Glucose (Absorption der Glucosekontrolle)}})$$

FV...Endvolumen (100mL)

0,1...Volumen der analysierten Probe

$\frac{1}{1000}$...Umrechnung von μg zu mg

$\frac{100}{W}$...Faktor, um die Stärke als Prozentanteil des Mehlgewichts auszudrücken

W...Masse in mg des analysierten Mehls

$\frac{162}{180}$...Faktor zur Umrechnung von freier D-Glucose in Anhydro-D-Glucose (wie sie in Stärke vorkommt)

5.3.6. Herstellung des Extrakts für TAC, TPC und FRAP

Prinzip:

Bevor die Bestimmung der TAC, TPC und FRAP durchgeführt werden kann, muss aus der festen Probe eine Extraktionslösung gewonnen werden. Diese Extraktion erfolgt mit Hilfe einer Methanol/HCl-Lösung (SPITALER, 2016).

Material und Geräte:

- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, $\pm 0,1$ mg)
- Zentrifuge (Centrifuge 5810 R, Eppendorf AG, Deutschland)
- Schüttler (Multi-Rotator, PTR-60, Grant Instruments Ltd, England)
- Vortex-Mixer (Vortex-Genie 2, G560E, SCIENTIFIC INDUSTRIES INC, USA)
- MeOH/HCl-Lösung (85 Teile MeOH : 15 Teile 1 M HCl)

Durchführung:

Die Herstellung der Extrakte, welche für die Bestimmung des Gesamtanthocyangehalts (TAC), des Gesamtphenolgehalts (TPC) und der gesamten antioxidativen Kapazität (FRAP) verwendet wurden, erfolgte ähnlich zu der von SPITALER (2016) beschriebenen Methode.

Wichtig ist alle Gefäße mit Alufolie zu umwickeln, da die zu analysierenden Bestandteile lichtempfindlich sind.

Zu der Einwaage von ca. $3,0 \pm 0,0001$ g Probenmaterial wurden 20 mL MeOH/HCl-Lösung pipettiert. Anschließend wurden die verschlossenen Zentrifugentubes ausgiebig mit dem Vortex-Mixer gemischt und 20 min am (Überkopf-) Schüttler geschüttelt. Dabei wurde der Schüttler mit einer Kiste abgedeckt, um die Proben vor Lichteinfall zu schützen. Im Anschluss daran wurden die Proben 5 min bei 4.000 rpm (= ca. 3.215 G) zentrifugiert. Danach wurde der Überstand in einen 50 mL Messkolben überführt. Der Rückstand wurde nochmals mit 20 mL MeOH/HCl-Lösung versetzt, mit

dem Vortex-Mixer gemischt und 20 min am Schüttler geschüttelt. Nach erneutem Zentrifugieren für 5 min bei 4.000 rpm wurde der Überstand, zu dem bereits vorher gewonnenen Überstand, in den Messkolben dazugegeben. Anschließend wurde der Messkolben mit MeOH/HCl-Lösung bis zur Markierung aufgefüllt. Bis zur weiteren Verwendung wurden die Kolben gekühlt und in Alufolie gewickelt aufbewahrt.

5.3.7. Bestimmung des Gesamtanthocyangehalts (TAC)

Prinzip:

Der Gesamtanthocyangehalt (TAC) wird durch Messen der Extraktionslösung ermittelt und durch das Erstellen einer Standardreihe mit Cyanidin-3-O-glucosid-chlorid (C-3-O-G, Kuromanin chloride) quantifiziert (SPITALER, 2016).

Material und Geräte:

- Analysenwaage (CP225D, SARTORIUS AG, Deutschland, $\pm 0,01$ mg)
- Photometer (UV Spectrophotometer, UV-1800, SHIMADZU USA MANUFACTURING INC., USA)
- Cyanidin-3-O-glucosid-chlorid
- MeOH/HCl-Lösung (85 Teile MeOH : 15 Teile 1 M HCl)

Durchführung:

Die Durchführung der Versuche erfolgte nach der von SPITALER (2016) beschriebenen Vorgehensweise mit geringfügigen Änderungen.

Als Ausgangslösung für die Standardreihe mit C-3-O-G wurde ca. $1 \pm 0,01$ mg dieser Substanz in einen 50 mL Messkolben eingewogen und bis zur Markierung mit MeOH/HCl-Lösung aufgefüllt, um eine Konzentration von 20 mg/L zu erhalten. Basierend auf dieser Lösung wurden dann die in Tab. 77 angeführten Verdünnungsstufen hergestellt.

Die Messung der Proben (Extraktionslösungen) und der Standardreihe erfolgte bei Raumtemperatur im Photometer bei 525 nm.

Berechnung:

Mit der Kalibrationsgerade der Standardreihe kann der Gesamtanthocyangehalt der Proben quantifiziert werden.

Tab. 77 - Konzentrationen der Kalibrationsgerade aus C-3-O-G zur Quantifizierung des TAC

Standard	Verdünnung	Soll-Konzentration [mg/L]
S0	-	20,0
S1	1:2	10,0
S2	1:4	5,0
S3	1:8	2,5
S4	1:20	1,0
S5	1:40	0,5

5.3.8. Bestimmung des Gesamtphenolgehalts (TPC)

Prinzip:

Der Gesamtphenolgehalt (TPC) wird durch die Reaktion der phenolischen Bestandteile mit dem Folin-Ciocalteu-Reagenz in einer Blaufärbung sichtbar, welche photometrisch gemessen wird. Durch das Erstellen einer Standardreihe mit Ferulasäure kann der TPC im Anschluss quantifiziert werden (SPITALER, 2016).

Material und Geräte:

- Analysenwaage (CP225D, SARTORIUS AG, Deutschland, $\pm 0,01$ mg)
- Vortex-Mixer (Vortex-Genie 2, G560E, SCIENTIFIC INDUSTRIES INC, USA)
- Photometer (UV Spectrophotometer, UV-1800, SHIMADZU USA MANUFACTURING INC., USA)
- Wasserbad (1086, Gesellschaft für Labortechnik mbH, Deutschland)
- Folin-Ciocalteu-Reagenz (1 : 10 mit destilliertem Wasser verdünnen)
- Na_2CO_3 -Lösung 7,5 % (m/v)
- Ferulasäure
- MeOH/HCl-Lösung (85 Teile MeOH : 15 Teile 1 M HCl)

Durchführung:

Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte ähnlich zu der von SPITALER (2016) beschriebenen Vorgehensweise, allerdings mit geringfügigen Änderungen.

Das Folin-Reagenz ist erst nach einer täglich frisch hergestellten 1:10 Verdünnung mit destilliertem Wasser gebrauchsfertig. Sie wurde in Alufolie eingewickelt und bis kurz vor dem Gebrauch im Kühlschrank aufbewahrt.

In ein 15 mL Tube wurden 120 μL Proben-Extraktionslösung vorgelegt, dann 600 μL gebrauchsfertiger Folin-Ciocalteu-Reagenz dazugegeben, mit dem Vortex-Mixer

geschüttelt und 2 min gewartet. Danach wurden 960 μL Na_2CO_3 -Lösung (7,5 %) in die Tubes dazupipettiert, wieder gemischt und 5 min bei 50 °C im Wasserbad inkubiert. Anschließend wurde etwa 10 min gewartet, bis die Proben auf Raumtemperatur abgekühlt waren und nochmal mit dem Vortex-Mixer geschüttelt, bevor die Makroküvetten befüllt wurden. Die Messung erfolgte bei einer Wellenlänge von 760 nm (SPITALER, 2016).

Für die Bestimmung des Blindwerts wurde anstatt einer Proben-Extraktionslösung 120 μL Lösungsmittel (MeOH/HCl) vorgelegt. Die weitere Aufarbeitung erfolgte analog zu jener der Proben.

Als Ausgangslösung für die Standardreihe mit Ferulasäure wurden ca. $20 \pm 0,01$ mg dieser Substanz in einen 100 mL Messkolben eingewogen und bis zur Markierung mit MeOH/HCl-Lösung aufgefüllt, um eine Konzentration von 0,20 mg/mL zu erhalten (SPITALER, 2016). Aus dieser Stammlösung wurden dann die in Tab. 78 aufgelisteten Verdünnungsstufen hergestellt.

Berechnung:

Mit der Kalibrationsgerade der Standardreihe kann der Gesamtphenolgehalt der Proben nach der Messung der Absorptionen quantifiziert werden.

Tab. 78 - Konzentrationen der Kalibrationsgerade aus Ferulasäure zur Quantifizierung des TPC

Standard	Verdünnung	Konzentration [mg/L]
S0	-	0,20
S1	1:2	0,10
S2	1:4	0,05
S3	1:5	0,04
S4	1:10	0,02
S5	1:20	0,01

5.3.9. Bestimmung der gesamten antioxidativen Kapazität (FRAP-Methode)

Prinzip:

Das Prinzip der FRAP-Methode (ferric reducing antioxidant power) basiert auf der Bestimmung des gesamten antioxidativen Potentials einer Probe durch Reduktion von Eisen (III) zu Eisen (II), welches in einer Blaufärbung sichtbar wird und somit photometrisch bestimmt werden kann (HUMER, 2010).

Material und Geräte:

- Analysenwaage (CP225D, SARTORIUS AG, Deutschland, $\pm 0,01$ mg)
- Vortex-Mixer (Vortex-Genie 2, G560E, SCIENTIFIC INDUSTRIES INC, USA)
- Wasserbad (1086, Gesellschaft für Labortechnik mbH, Deutschland)
- Photometer (UV Spectrophotometer, UV-1800, SHIMADZU USA MANUFACTURING INC., USA)
- Natrium-Acetat-Puffer (0,3 M, pH = 3,6)
- TPTZ (2,4,6-Tripyridyl-s-triazine) (10 mM)
- FeCl_3 -Lösung (20 mM)
- FRAP-Reagenz (Natrium-Acetat-Puffer : TPTZ : FeCl_3 -Lösung = 10 : 1 : 1)
- Eisen(II)-sulfat-Heptahydrat
- MeOH/HCl-Lösung (85 Teile MeOH : 15 Teile 1 M HCl)

Durchführung:

Die Ermittlung der gesamten antioxidativen Kapazität basierte auf der Standardarbeitsanweisung SOP 1-26 von HUMER (2010). Die genaue Vorgehensweise wird nachfolgend beschrieben.

In ein 15 mL Tube wurden 200 μL Probenextrakt und 1,3 mL FRAP-Reagenz pipettiert. Dann wurden die Tubes mit dem Vortex-Mixer geschüttelt und für 30 min in einem auf 37 °C vorgeheiztem Wasserbad inkubiert. Anschließend wurde etwa 10 min gewartet, bis die Proben auf Raumtemperatur abgekühlt waren und noch einmal mit dem Vortex-Mischer gemischt, bevor die Küvetten befüllt wurden. Die Messung erfolgte bei einer Wellenlänge von 595 nm.

In jenen Fällen, wo die Absorption zu hoch war und über dem linearen Bereich lag (> 1), wurden die Probenextrakte mit MeOH/HCl verdünnt und nach dem gleichen Schema erneut aufgearbeitet.

Für die Bestimmung des Blindwerts wurde anstelle der Proben-Extraktionslösung 200 μL Lösungsmittel (MeOH/HCl) vorgelegt. Die weitere Aufarbeitung erfolgte analog zu jener der Proben.

Als Ausgangslösung für die Standardreihe mit Eisensulfat (Heptahydrat) wurden ca. $27,8 \pm 0,01$ mg dieser Substanz in einen 100 mL Messkolben eingewogen und bis zur Markierung mit MeOH/HCl-Lösung aufgefüllt, um eine Konzentration von 1000 μM zu

erhalten. Basierend auf dieser Stammlösung wurden dann die in Tab. 79 angeführten Verdünnungsstufen hergestellt.

Berechnung:

Mit der Kalibrationsgerade der Standardreihe kann die gesamte antioxidative Kapazität der Proben quantifiziert und in Fe^{2+} -Äquivalenten angegeben werden.

Tab. 79 - Konzentrationen der Kalibrationsgerade aus Eisensulfat-Heptahydrat zur Quantifizierung der gesamten antioxidativen Kapazität

Standard	Verdünnung	Konzentration [μM]
S0	-	1000
S1	3:4	750
S2	1:2	500
S3	1:4	250
S4	1:10	100
S5	1:20	50
S6	1:40	25

5.3.10. Bestimmung des Wasserabsorptionsindex (WAI), Wasserlöslichkeitsindex (WSI) und der Swelling Power (SP)

Prinzip:

Der Wasserabsorptionsindex, Wasserlöslichkeitsindex und die Swelling Power können alle gemeinsam in einem Versuch, durch Durchlaufen verschiedener Schritte der mit Wasser versetzten Proben, ermittelt werden.

Material und Geräte:

- Vortex-Mixer (Vortex-Genie 2, G560E, SCIENTIFIC INDUSTRIES INC, USA)
- Wasserbad (1086, Gesellschaft für Labortechnik mbH, Deutschland)
- Waage (Entris, ENTRIS224I-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Deutschland, $\pm 0,1 \text{ mg}$)
- Aluschalen
- Trockenschrank (Memmert GmbH + Co. KG, Deutschland)
- Exsikkator

Durchführung:

Die Ermittlung dieser drei physikalischen Messgrößen erfolgte nach der von RAO et al. (2016) beschriebenen Methode.

In ein 15 mL Tube wurden $500 \pm 0,1$ mg Probe eingewogen. Anschließend wurde in jedes Tube 10 mL destilliertes Wasser hinzugegeben und die Röhrchen mit dem Vortex-Mixer gut geschüttelt, sodass sich das Probenpellet vom Boden löste und vollständig mit Wasser benetzt wurde. Danach kamen die Tubes für 10 min in eine 90 °C warmes Schüttelwasserbad. Im Anschluss wurden sie für 10 min in einem Eiswasserbad abgekühlt, bevor sie 10 min bei 3.000 rpm ($\approx$ ca. 1.810 G) und 4 °C zentrifugiert wurden. Daraufhin wurde der Überstand in eine gewogene Aluschale gegossen und über Nacht bei 103 °C in den Trockenschrank gestellt. Der im Tube verbliebene Rückstand wurde ebenfalls abgewogen. Am nächsten Tag wurden die Aluschalen, nachdem sie im Exsikkator abgekühlt waren, abgewogen.

Berechnung:

Zur Berechnung wurden die von DE LA HERA et al. (2013) publizierten Formeln herangezogen und geringfügig abgeändert (siehe Gl. 13, Gl. 14, Gl. 15), da die Ergebnisse immer auf die Trockensubstanz bezogen wurden.

$$WAI \left[\frac{g}{g \text{ TS}} \right] = \frac{W_r}{W_i} \quad (\text{Gl. 13})$$

$$WSI \left[\frac{g}{100g \text{ TS}} \right] = \frac{W_s}{W_i} * 100 \quad (\text{Gl. 14})$$

$$SP \left[\frac{g}{g \text{ TS}} \right] = \frac{W_r}{W_i - W_s} \quad (\text{Gl. 15})$$

W_r [g]...Masse des Rückstands/Sediments nach dem Zentrifugieren

W_i [g]...Masse der eingewogenen Probe (korrigiert auf Trockensubstanz)

W_s [g]...Masse des Überstands nach dem Trocknen

5.3.11. Ablauf der Versuche mit dem Haubelt Flourgraph E6

Prinzip:

Mit dem Haubelt Flourgraph E6 werden unter anderem die Wasseraufnahme, Teigentwicklungszeit und Teigstabilität eines Teiges, welcher nur aus Wasser und Mehl besteht, durch den sich über die Testdauer verändernden, dem Knethaken entgegenwirkenden, Widerstand ermittelt.

Material und Geräte:

- Waage (MC1 Laboratory LC 4200 S, SARTORIUS AG, Deutschland, $\pm 0,01$ g)
- Haubelt Flourgraph E6 (E6, HAUBELT Laborgeräte GmbH, Deutschland, 2014)
- Wasserbad (EH (v.2), JULABO Labortechnik GmbH, Deutschland)

Durchführung:

Die Durchführung basierte auf dem ICC Standard No. 179 der INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (2012).

Die zu untersuchende Mehlprobe wurde mind. eine Woche bei Zimmertemperatur in einem Laborregal unter dem Gerät gelagert und am Tag, bevor mit der Messung begonnen wurde, die Trockensubstanz von diesem Mehl bestimmt.

Vor Beginn der Messung wurde das Wasserbad 20 min auf 30 °C vorgeheizt.

Als erstes wurde ein Vortest durchgeführt, bei dem die aus der Trockenmassebestimmung berechnete Feuchte und ein fiktiver Wert für die Wasseraufnahme eingegeben wurde. In Abhängigkeit der Feuchte wurde die laut Tabelle benötigte Menge Mehl eingewogen. Bei dem 5 min-Vortest wurde solange Wasser hinzugegeben, bis sich die mittlere (blaue) Linie an die rote Linie (500 HE) annähert. Wenn die blaue Linie der Kurve noch über der roten Linie lag, so ist der Teig noch zu hart und es musste mehr Wasser zugegeben werden. Am Ende des 5 min-Vortests wurde das zugegebene Volumen Wasser, um die rote Linie (annähernd) zu erreichen, von Bürette abgelesen und notiert.

Bei dem 20 min-Test, welcher dreimal durchgeführt wurde, um einen dreifach Ansatz zu erhalten, war die Vorgehensweise grundsätzlich ähnlich. Allerdings wurde für die Wasseraufnahme der beim Vortest ermittelte Wert, welcher von der Bürette abgelesen wurde, in das Programm eingegeben und genau diese Menge Wasser am Beginn der Messung rasch hinzugegeben.

Am Ende des 20 min-Tests wurde die vom Computer berechnete Wasseraufnahme, um 500 HE zu erreichen, abgelesen und notiert und das Diagramm, siehe Abb. 1, im Archiv gespeichert.

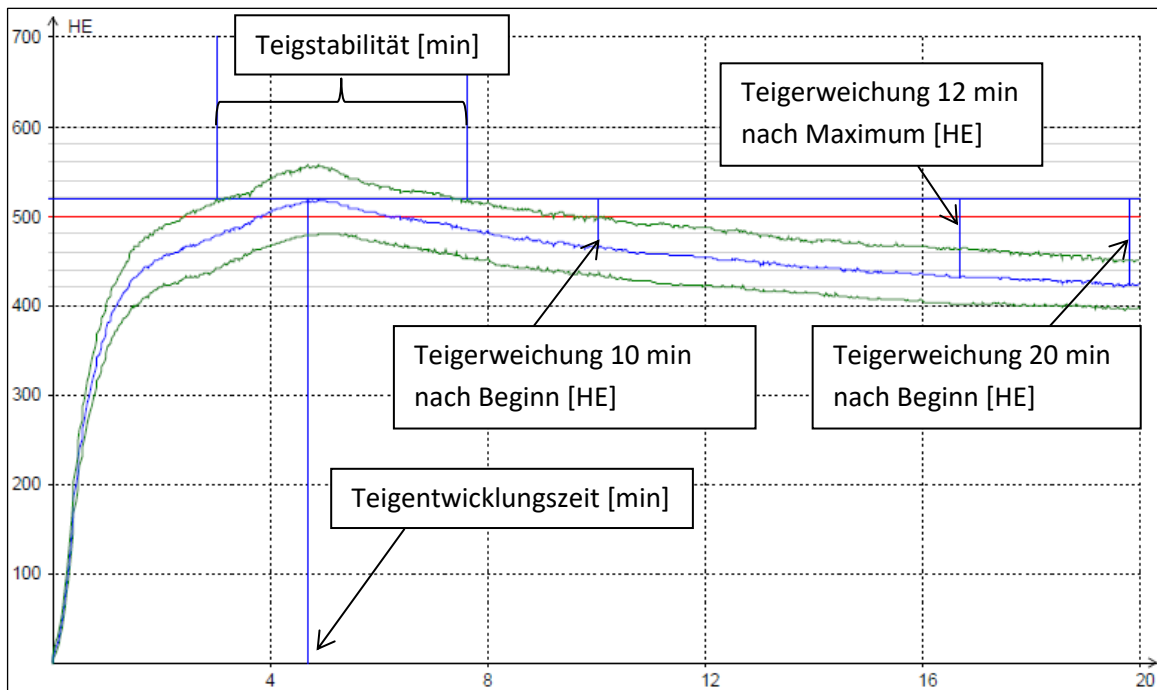


Abb. 1 - Beispielkurve vom Haubelt Flourgraph E6

5.3.12. Ablauf der Versuche mit dem Haubelt Flourgraph E7

Prinzip:

Mit dem Haubelt Flourgraph E7 werden unter anderem die Energie, Dehnbarkeit und der Dehnwiderstand eines Teiges, welcher nur aus Wasser, Mehl und Salz besteht, festgestellt. Die Ermittlung dieser Messgrößen erfolgt durch Messen des Widerstands und der zurückgelegten Wegstrecke beim Ziehen eines Teiges.

Material und Geräte:

- Waage (MC1 Laboratory LC 4200 S, SARTORIUS AG, Deutschland, $\pm 0,01$ g)
- Haubelt Flourgraph E7 (E7, HAUBELT Laborgeräte GmbH, Deutschland, 2014)
- Wasserbad (EH (v.2), JULABO Labortechnik GmbH, Deutschland)

Durchführung:

Die Durchführung basierte auf dem ICC Standard No. 180 der INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (2012).

Die zu untersuchende Mehlsprobe wurde mind. eine Woche bei Zimmertemperatur in einem Laborregal unter dem Gerät gelagert und am Tag, bevor mit der Messung begonnen wurde, die Trockensubstanz von diesem Mehl bestimmt.

Vor Beginn der Messung wurde das Wasserbad 20 min auf 30 °C vorgeheizt. Des Weiteren wurde das Gerät E7 eingeschaltet, damit auch hier die Temperatur im

Innenraum auf 30 °C vorgeheizt wird und etwas destilliertes Wasser in die silbernen Schälchen, in den kleinen „Gärschränken“, eingefüllt, sodass die Luftfeuchtigkeit anstieg.

Die Teigbereitung für den E7 erfolgte mit dem Gerät E6 und grundsätzlich analog zum 5 min-Vortest, allerdings wurde bei diesen Teigen zusätzlich 2 g Salz eingewogen.

Als erstes wurde auch hier wieder ein 5 min-Vortest mit der entsprechend der Feuchtigkeit eingewogenen Menge Mehl und 2 g Salz gestartet. Bei der Wasseraufnahme wurde der Mittelwert, aus der vom Computer im Zuge der drei 20 min-Tests berechneten Wasseraufnahmen (500 HE), von welchem drei abgezogen wurde, eingegeben und dieses Volumen am Beginn der Messung rasch hinzugegeben. Am Ende des 5 min-Vortests wurde wiederum die vom Computer berechnete Wasseraufnahme, um 500 HE zu erreichen, abgelesen und notiert. Diese Menge Wasser wurde dann zur Herstellung der drei Teige für den E7 verwendet. Die Teigbereitung (mit Salz) erfolgte in einem 5 min-Test, wobei die im Vortest ermittelte Menge Wasser schnell am Anfang hinein pipettiert wurde. Am Ende des 5 min-Tests wurde der Teig vorsichtig von den Knethaken gelöst, entnommen und mit dem E7 zuerst zu einer Kugel und dann zu einem Strang geformt. Der Teig wurde in die Form gelegt und die Messung mit dem E7, nach 45 min Ruhezeit im „Gärschrank“, durchgeführt. Dafür wurde die Form in die Zugvorrichtung eingehängt und der Start-Knopf gedrückt. Sobald der Teig riss wurde am PC auf den „STOP“-Button geklickt. Um weitere Messwerte nach 90 und 135 min zu erhalten wurde der Teig wieder zu einer Kugel und einem Strang geformt und erneut in den „Gärschrank“ gelegt. Am Ende der drei Messungen wurden die Ergebnisse, in Form einer Grafik wie in Abb. 2 zu sehen, im Archiv gespeichert.

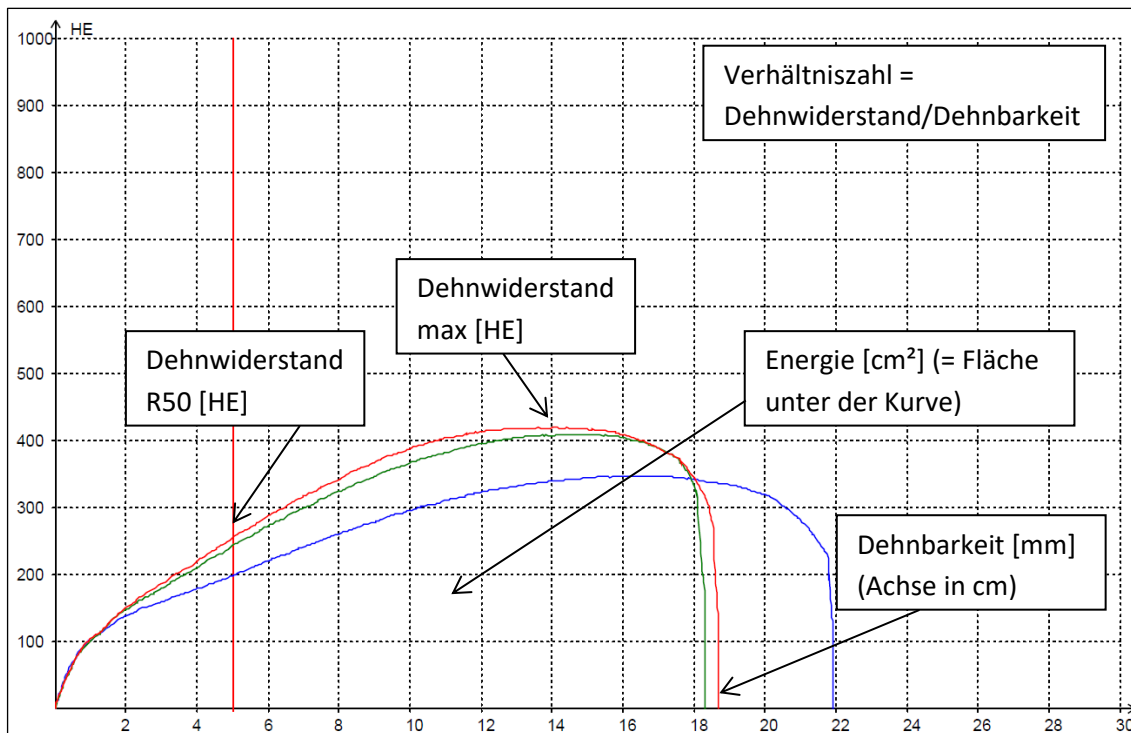


Abb. 2 - Beispielkurven vom Haubelt Flourgraph E7

5.4. Statistische Methoden

Statistische Methoden:

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm STATGRAPHICS Centurion 18 (Version 18.1.06). Dabei wurden Vergleiche mehrerer Stichproben durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde auf die mehrfachen Mittelwertvergleiche (Multipler t-Test bzw. Fishers LSD-Test), mit einem Signifikanzniveau von 95,0 %, gelegt, um einen Überblick zu bekommen, welche Proben sich signifikant voneinander unterscheiden.

Darüber hinaus wurde Microsoft Excel 2010, für einfache Berechnungen und die graphische Darstellung der Ergebnisse in übersichtlichen Diagrammen herangezogen.

6. Ergebnisse und Diskussion

6.1. Chemische Zusammensetzung

Die im Labor bei den Analysen zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Mehlproben erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 80 zusammengefasst. Der überwiegende Teil der ermittelten Werte liegt im, in den Tabellen Tab. 1, Tab. 13, Tab. 30 und Tab. 39 angeführten, durch Literatur gestützten, Bereichen. Allerdings war der Fettgehalt zweier Proben (Hirse und roter Sorghum) höher als die in Kapitel 4 angeführten Vergleichswerte. Mit 6,42 g Fett/100 g TS in Hirse liegt dieser Wert deutlich über dem Bereich von 1,54 – 4,5 g/100 g d.b., in welchen die Messergebnisse für *Panicum miliaceum* L. von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011), BORA et al. (2019), SHEN et al. (2018), TYL et al. (2017), DAS et al. (2019) und ROBIN et al. (2015) fallen. Ebenfalls höher als die bisher in dieser Arbeit zitierten Literaturwerte lag der Fettgehalt von rotem Sorghum. Allerdings ist hier die Differenz zu den für roten Sorghum in Tab. 1 angeführten Werten weitaus geringer.

Mit nur etwa 6,6 g/100 g TS ist der im Labor für roten Sorghum ermittelte Proteingehalt deutlich geringer, als die von YOUSIF et al. (2012), NATHAKATTUR SARAVANABAVAN et al. (2013), EBURUCHE et al. (2019), ESPINOSA-RAMÍREZ und SERNA-SALDÍVAR (2016), BERNARDO et al. (2019), MOTLHAODI et al. (2018), LLOPART und DRAGO (2016), ROCHETTI et al. (2020) und CHUCK-HERNÁNDEZ et al. (2013) bestimmten Konzentrationen. Wenn die Ergebnisse dieser Publikationen miteinander verglichen werden, so liegt der Proteingehalt all dieser in einem Bereich von 9,1 - 16,1 g Protein/100 g TS.

Schwankungen bzw. Abweichungen von Literaturwerten kommen sehr häufig durch unterschiedliche Arten, Anbaugebiete und damit verbundenen klimatischen Einflüssen zustande. Allerdings können sich auch die Werte vom gleichen Anbaugebiet in unterschiedlichen Jahren, aufgrund des verfügbaren Wassers und der Anzahl an Sonnenstunden stark unterscheiden.

Bei einem Vergleich der beiden weißen Sorghumsorten zeigt sich, dass WS1 über einen signifikant höheren Fett- und Aschegehalt verfügt. Bei der Protein- und

Stärkekonzentration hingegen wurde kein statistisch abgesicherter Unterschied ($\alpha < 0,05$) ermittelt.

Aus Tab. 80 sticht besonders der im Vergleich zu allen anderen chemisch untersuchten Proben der signifikant höhere Protein-, Fett- und Aschegehalt von Amaranth hervor. Diese Werte liegen jedoch im Erwartungsbereich, da sie mit den in Kapitel 4.4 angeführten Literaturwerten relativ gut übereinstimmen.

Die Stärkekonzentration in Amaranth und Buchweizen ist mit rund 61 g/100 g TS in beiden Proben etwa gleich groß und signifikant niedriger, als jene in den restlichen Mehlproben, wo sie zwischen 65,5 und 69,5 g/100 g TS liegt.

Auch beim Protein- und Aschegehalt kommt Buchweizen am nächsten an Amaranth heran, da er den zweithöchsten Wert (nach Amaranth) erreicht, allerdings mit großem Abstand (siehe Abb. 3).

In den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5) sind die Ergebnisse aus Tab. 80 zur visuellen Veranschaulichung graphisch, in Form von Säulendiagrammen, inklusive der Standardabweichungen (Fehlerindikatoren) dargestellt.

Tab. 80 - Übersicht der chemischen Zusammensetzung der Mehle (alle Ergebnisse in [% i.d. TS]; unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	Trockensubstanz	Protein¹³	Fett	Asche	Stärke
WZ	90,62 ± 1,372 ^{bc}	14,25 ± 1,017 ^d	1,70 ± 0,137 ^a	0,78 ± 0,029 ^a	68,33 ± 1,710 ^b
H	91,52 ± 0,067 ^c	8,01 ± 0,002 ^{ab}	6,42 ± 0,053 ^d	1,83 ± 0,043 ^d	65,57 ± 4,421 ^b
A	90,77 ± 0,125 ^{abc}	17,23 ± 0,65 ^e	7,31 ± 0,038 ^e	3,22 ± 0,132 ^f	61,43 ± 2,051 ^a
BW	89,13 ± 1,767 ^a	12,00 ± 3,36 ^c	2,99 ± 0,089 ^b	2,15 ± 0,001 ^e	61,18 ± 2,899 ^a
RS	91,70 ± 0,074 ^c	6,61 ± 0,029 ^a	4,28 ± 0,044 ^c	1,56 ± 0,008 ^c	68,30 ± 0,179 ^b
WS1	91,96 ± 0,147 ^c	9,89 ± 0,106 ^{bc}	4,07 ± 0,383 ^c	1,64 ± 0,022 ^c	66,50 ± 0,671 ^b
WS2	89,25 ± 0,006 ^{ab}	10,15 ± 0,023 ^{bc}	2,75 ± 0,162 ^b	1,34 ± 0,065 ^b	69,44 ± 1,429 ^b

¹³ Faktoren zur Umrechnung vom Stickstoffgehalt in Protein: Sorghum 5,67; Hirse 5,83; Buchweizen 5,75; Weizen 5,68; Amaranth 5,85

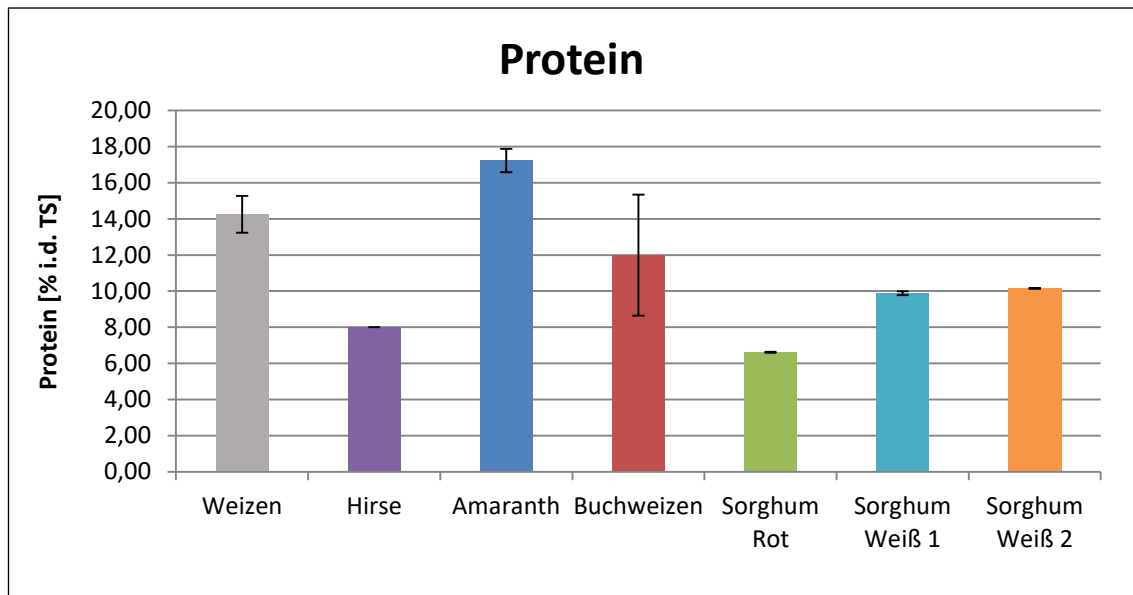


Abb. 3 - Proteingehalt der Mehlproben

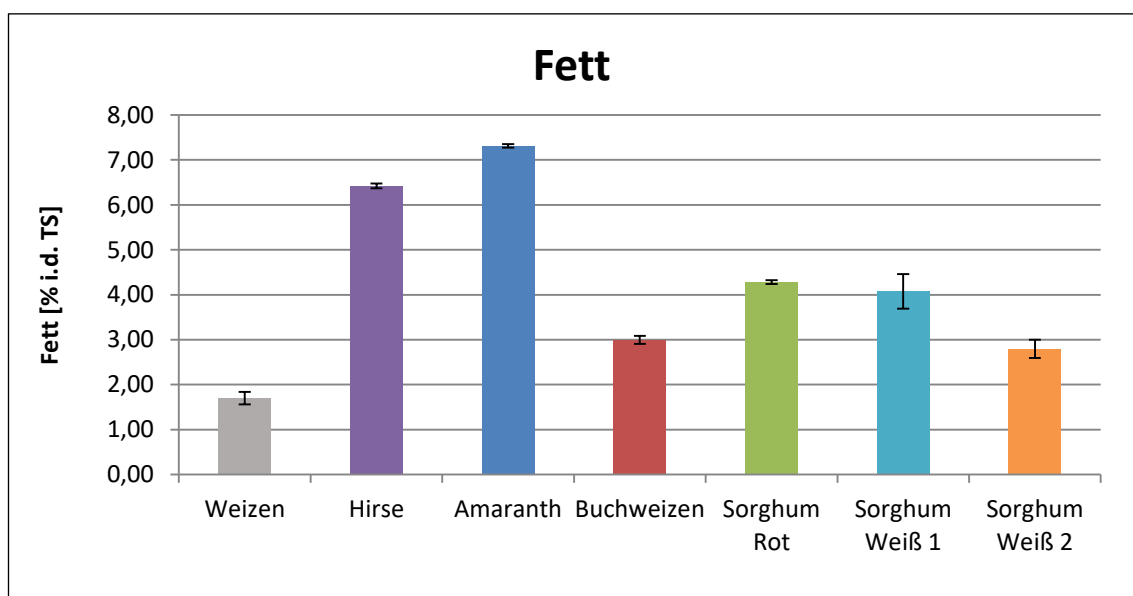


Abb. 4 - Fettgehalt der Mehlproben

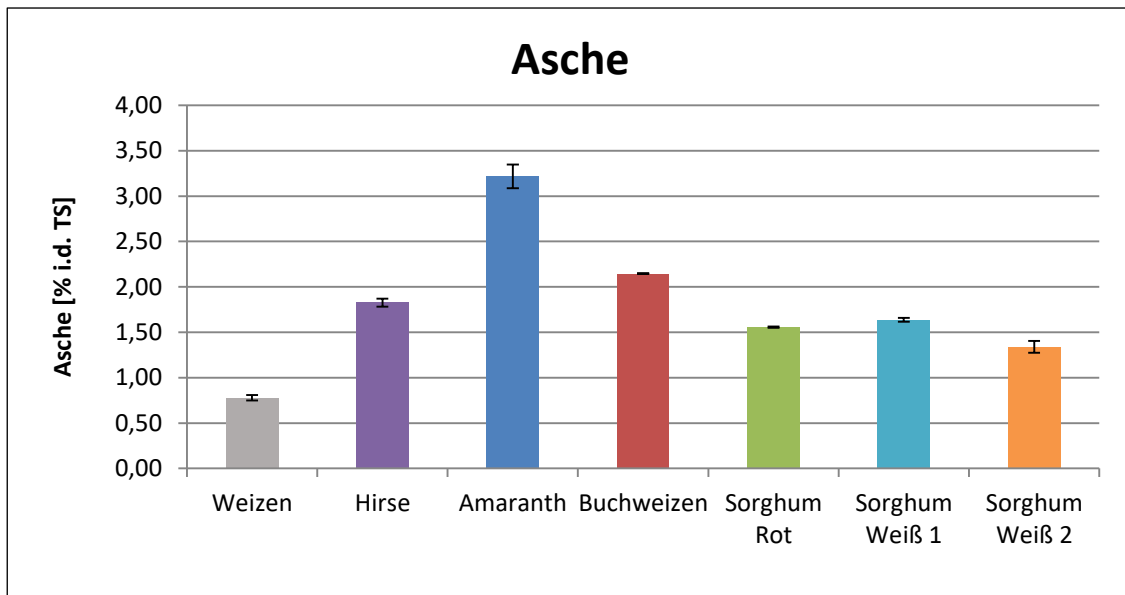


Abb. 5 - Aschegehalt der Mehlproben

6.1.1. Sekundäre Pflanzenstoffe

Ein Vergleich der in Tab. 81 angeführten, im Labor mit dem Photometer ermittelten, Messergebnisse mit den in vorhergehenden Kapiteln angeführten Literaturwerten ist nur schwer bzw. zum Teil gar nicht möglich, da sich die Werte zum Teil auf andere Referenzsubstanzen beziehen und somit andere Einheiten zustande kommen.

TAC – Gesamtanthocyangehalt

Die von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) getroffene Aussage, dass der Anthocyangehalt umso geringer ist, je heller die Farbe des Korns, kann anhand des signifikanten Unterschieds zwischen den Messergebnissen von rotem und den weißen Sorghumsorten, siehe Tab. 81, bestätigt werden. Auch der geringe, wenn auch nicht signifikante, Unterschied zwischen den beiden weißen Sorghumsorten könnte sich auf einen kleinen, aber optisch erkennbaren Farbunterschied zurückführen lassen, denn die weiße Sorghumsorte 1 war etwas gelblicher (siehe Abb. 6), während die weiße Sorghumsorte 2 (Abb. 7) eher gräulich erschien.

SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019) haben ihre Ergebnisse in mg Luteolindinäquivalenten/g angegeben und dabei 0,7 mg Luteolindinäquivalenten/g in der untersuchten roten Sorghumprobe und gar keine Anthocyane in weißem Sorghum gefunden (siehe Tab. 10).

Bei der Betrachtung der sieben untersuchten Mehlsproben zeigt sich in Abb. 8, dass das rote Sorghummehl eindeutig über den größten Gesamtanthocyangehalt verfügt. Die beiden weißen Sorghumsorten und der Weizen liegen im Bereich von 6,00 mg Cyanidin-3-O-Glucosid-Äquivalente/100 g TS. Am wenigsten Anthocyane wurden in Amaranth gefunden. Im hier untersuchten Amaranthmehl wurde ein Gesamtanthocyangehalt von 1,58 mg Cyanidin-3-O-Glucosid-Äquivalente/100 g TS gefunden. Deutlich mehr haben REYES et al. (2018) bei ihren analysierten Amaranthsamen, mit einem Gesamtanthocyaningehalt von 0,74 mg Cyanidin-3-Glucosid-Äquivalente pro Gramm Trockenmasse, gefunden.

TPC - Gesamtphenolgehalt

Bei der Betrachtung des Gesamtphenolgehalts (TPC) der untersuchten Sorghumsorten zeigt sich, dass dieser bei beiden weißen Sorten deutlich niedriger ist, als beim roten Sorghum. Das gleiche Bild zeigen die Messergebnisse des Gesamtphenolgehalts von YOUSIF et al. (2012) und die in Tab. 10, von SERNA-SALDIVAR und ESPINOSA-RAMÍREZ (2019), angeführten Werte. Auch wenn in Tab. 10 das Ergebnis in Gallussäure-Äquivalenten angegeben ist und der Gesamtphenolgehalt im Zuge dieser Masterarbeit in Ferulasäureäquivalenten ermittelt wurde, so liegen die Werte jedoch im selben Größenordnungsbereich.

In Tab. 24 ist der Gesamtphenolgehalt von Perlhirse mit 2,6 mg GAE/g angegeben. Die im Labor bestimmte Konzentration der gesamten Phenole der hier untersuchten Goldhirse (Rispenhirse) liegt nur bei etwa 1 mg FAE/g TS. Allerdings handelt es sich hierbei nicht nur um verschiedene Einheiten/Bezugssubstanzen, sondern zusätzlich um unterschiedliche Arten.

Werden die in Tab. 25 von BORA et al. (2019) angeführten Werte freier und gebundener phenolischer Verbindungen von Rispenhirse summiert, so ergibt dies 1.501 µg/g (= 1,5 mg/g), was bereits näher an dem hier bestimmten Wert liegt.

Deutlich unter dem Literaturwert des Gesamtphenolgehalts von TIEN et al. (2018) liegt das Ergebnis des hier untersuchten Buchweizenmehls. Während TIEN et al. (2018) 7,73 mg FAE/g (siehe Tab. 38) bestimmten, wurden hier, wie in Tab. 81 zu sehen ist, nur 2,24 mg FAE/g TS photometrisch gefunden. Worin die Ursache dieses großen

Unterschiedes liegt, lässt sich anhand der gesammelten Daten und Durchführungsnotizen nicht feststellen.

Mit 3,96 mg/g (siehe Tab. 43) liegt der von SIWATCH et al. (2019) veröffentlichte Gesamtphenolgehalt von Amaranthmehl der Art *Amaranthus hypochondriacus* ebenfalls deutlich über dem im Zuge dieser Masterarbeit bestimmten Gesamtphenolgehalt, welcher bei 237 mg FAE/100 g TS liegt. Die in Kapitel 4.4.1.5 zitierten Gesamtphenolkonzentrationen von GUARDIANELLI et al. (2019) und REYES et al. (2018) liegen mit 0,04 mg GAE/g Mehl (d.b.) und 0,27 mg GAE/g Trockenmasse, allerdings wieder unter der hier untersuchten Mehlprobe.

YOUSIF et al. (2012) bestimmten auch den Gesamtphenolgehalt von Weizenmehl. Als Ergebnis ermittelten sie 0,59 mg GAE/g Probe (d.b.). Interessanterweise liegt die hier ermittelte Menge aller phenolischen Verbindungen von Weizenmehl, wie in Tab. 81 und Abb. 9 zu sehen ist, über jenen der beiden weißen Sorghumsorten und von Hirse. Eigentlich wurde damit gerechnet, dass am wenigsten phenolische Verbindungen im Weizenmehl zu finden sind, zumal es sich hierbei als einzige Probe um ein raffiniertes Mehl, also kein Vollkornmehl handelte, und viele, bereits in den vorhergehenden Kapiteln zitierten Wissenschaftler darüber berichteten, dass sich die meisten phenolischen und gesundheitsfördernden Wirkstoffe in den äußeren Schichten des Samenkorns befinden und der Anteil deshalb in Vollkornmehlen höher sein müsste.

Basierend auf Abb. 9 kann festgestellt werden, dass Amaranth, Buchweizen und roter Sorghum den höchsten Gesamtphenolgehalt haben. Wohingegen Hirse und die beiden weißen Sorghumsorten am Ende des Felds liegen.

FRAP – Ferric reducing antioxidant power

Die Ergebnisse der gesamten antioxidativen Kapazität, bestimmt mit der FRAP-Methode, zeigen große Unterschiede. Besonders drastisch ist der Unterschied hinsichtlich der gesamten antioxidativen Kapazität von Buchweizen, im Vergleich zu den restlichen untersuchten Mehlproben (siehe Tab. 81 bzw. Abb. 10). Denn Buchweizen erreichte einen Wert von ca. 6.527 $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ -Äquivalente/100 g TS, was mehr als das 35-fache der antioxidativen Kapazität von Weizenmehl entspricht. Abgesehen von Buchweizen erreichte auch roter Sorghum einen deutlich höheren

Wert als die restlichen Proben (siehe Abb. 10), gefolgt von den beiden weißen Sorghumsorten.

Viele in Kapitel 4 zitierte Literaturquellen schreiben, dass ein hoher Gehalt an Polyphenolen bzw. phenolischen Verbindungen zu einer starken antioxidativen Wirkung führen. Dieser Zusammenhang lässt sich, zumindest durch die hier gewählten Bestimmungsmethoden dieser beiden Parameter, nicht eindeutig feststellen. So verfügt Amaranth, siehe Tab. 81, über den zweithöchsten Gesamtphenolgehalt. Er liegt allerdings bei der antioxidativen Kapazität, ermittelt mit der FRAP-Methode, im unteren Bereich.

Möglicherweise lässt sich die um ein Vielfaches höhere antioxidative Kapazität von Buchweizen, ausgedrückt in Fe^{2+} -Äquivalenten, auf das Flavonolglykosid Rutin (ist eine phenolische Verbindung) zurückführen, welches AHMED et al. (2014) zufolge in keiner anderen Getreideart oder Pseudogetreide gefunden wurde.

Tab. 81 - Übersicht der sekundären Pflanzenstoffe der Mehle (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	TAC [mg C-3-O-G-Äq./100 g TS]	TPC [mg FAE/100 g TS]	FRAP [$\mu\text{mol Fe}^{2+}$-Äq./100 g TS]
WZ	5,89 $\pm$ 0,238 ^c	173,83 $\pm$ 19,975 ^d	186,21 $\pm$ 5,833 ^a
H	4,04 $\pm$ 1,893 ^b	106,32 $\pm$ 8,920 ^a	630,47 $\pm$ 196,549 ^b
A	1,58 $\pm$ 0,253 ^a	237,09 $\pm$ 26,174 ^e	519,57 $\pm$ 1,400 ^b
BW	3,43 $\pm$ 0,685 ^b	224,12 $\pm$ 10,382 ^e	6527,59 $\pm$ 399,343 ^f
RS	11,61 $\pm$ 0,295 ^d	270,22 $\pm$ 11,359 ^f	2536,39 $\pm$ 128,253 ^e
WS1	6,59 $\pm$ 0,322 ^c	136,75 $\pm$ 1,789 ^b	1058,80 $\pm$ 7,875 ^c
WS2	5,72 $\pm$ 0,115 ^c	155,22 $\pm$ 16,168 ^c	1309,12 $\pm$ 57,197 ^d



Abb. 6 - weißer Sorghum 1 „Ggivry“ (WS1)



Abb. 7 - weißer Sorghum 2 „Ggolden“ (WS2)

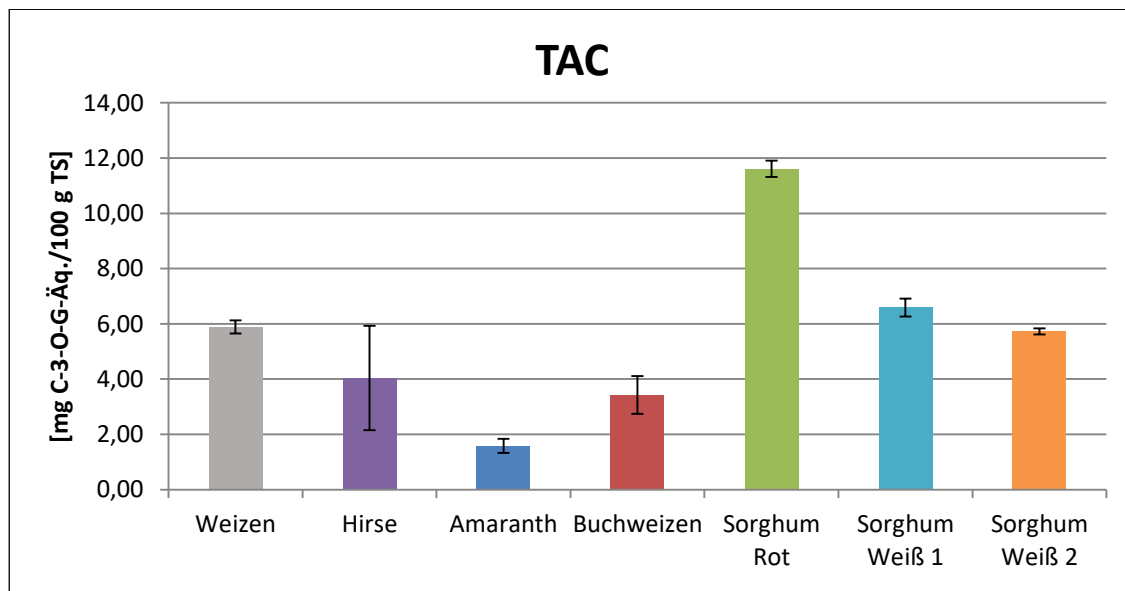


Abb. 8 - Gesamtanthocyangehalt (TAC) in den Mehlproben (in mg Cyanidin-3-O-Glucosid-Äquivalente/100 g TS)

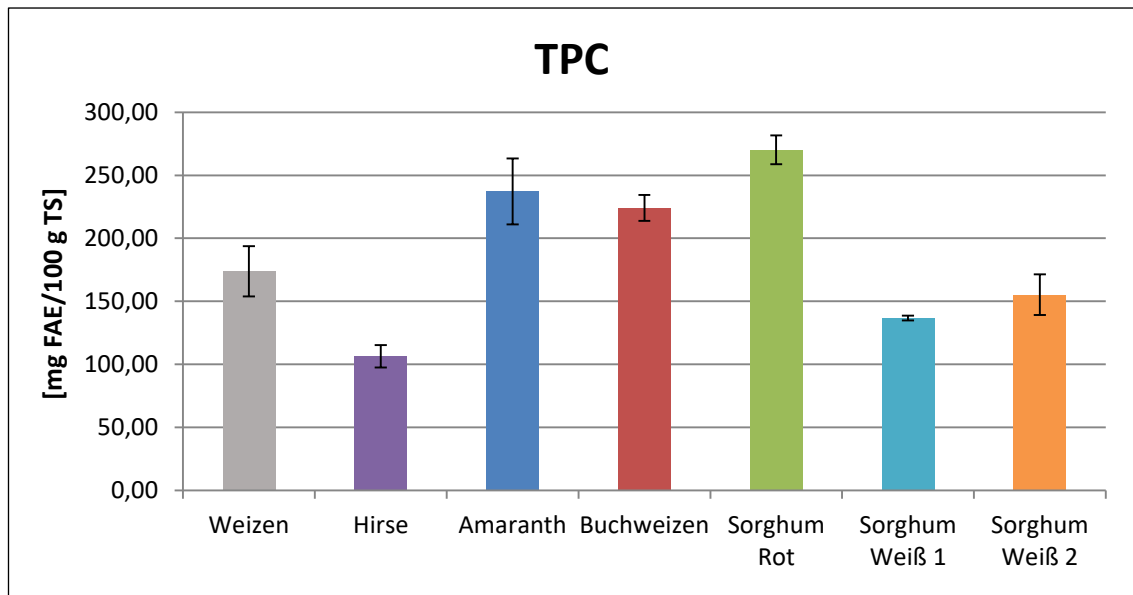


Abb. 9 - Gesamtphenolgehalt (TPC) in den Mehlproben (in mg Ferulasäureäquivalente/100 g TS)

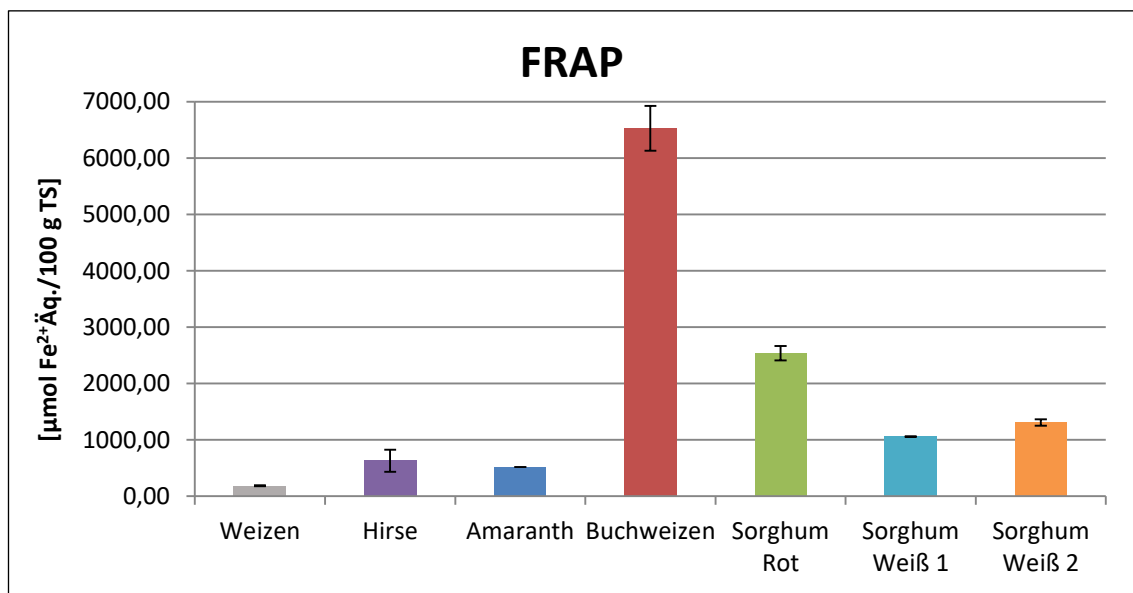


Abb. 10 - gesamte antioxidative Kapazität in den Mehlproben, bestimmt mit der FRAP-Methode (ferric reducing antioxidant power) (in µmol Fe²⁺ Äq./100 g TS)

6.2. Physikalische Eigenschaften

Wasserabsorptionsindex

Zwischen den einzelnen Ergebnissen der Wasserabsorptionsindices (WAI), aufgelistet in Tab. 82 bzw. in Abb. 11, aller untersuchten Mehlproben gibt es keine signifikanten Unterschiede, mit Ausnahme des signifikant niedrigeren Index des Amaranthmehls im Vergleich zu allen anderen Proben.

RAO et al. (2016) stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass eine geringere Partikelgröße zu einem höheren Wasserabsorptionsindex führt. Ob auch in dieser Masterarbeit der Wasserabsorptionsindex durch unterschiedliche Partikelgrößen beeinflusst wurde, müsste analysiert werden, da nicht bekannt ist, inwieweit sich die hier untersuchten Mehlproben hinsichtlich ihrer Partikelgröße unterscheiden haben. Was aber hier festgehalten werden kann ist, dass die Amaranthkörner im Technikum der BOKU selbst zu Mehl gemahlen wurden, während alle anderen Proben bereits als fertige Mehle von verschiedenen Lieferanten bezogen wurden.

Eine Gegenüberstellung der hier erhaltenen Messergebnisse aus Tab. 82 für Sorghummehl mit jenen von RAO et al. (2016), siehe Tab. 66, lässt die Vermutung aufkommen, dass die im Zuge dieser Masterarbeit untersuchten Sorghumproben eine vergleichsweise große Partikelgröße ($\geq 0,251$ mm) aufwiesen.

Niedriger als der hier bestimmte Wasserabsorptionsindex von Hirse (7,38 g/g TS) waren die Werte von KUMAR et al. (2020), welche bei rund 4 g/g lagen. Allerdings ist anhand der Publikation von KUMAR et al. (2020) nicht ganz klar, ob zur Berechnung des Index die Masse des Sediments nach dem Zentrifugieren herangezogen wurde oder dieses noch vor dem Wiegen getrocknet wurde, was einen geringeren Wert erklären könnte.

Im von YU et al. (2018) angegebenen Bereich von 5,889 – 7,205 g/g liegt auch der Wasserabsorptionsindex von Buchweizen (6,75 g/g), welcher im Rahmen dieser Arbeit bestimmt wurde.

RAO et al. (2016) erklärten, dass beschädigte Stärkekörner mehr Wasser absorbieren, was zu einem höheren Wasserabsorptionsindex führt. Widersprüchlich dazu steht die Aussage von YU et al. (2018). Um dem auf den Grund zu gehen, müsste der Anteil an

geschädigter Stärke in den Mehlproben analysiert und in Zusammenhang mit den Indices gebracht werden.

Wasserlöslichkeitsindex

Generell liegen die im Labor erhaltenen Messergebnisse und daraus berechneten Wasserlöslichkeitsindices im erwarteten Bereich und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, allerdings erneut mit Ausnahme von dem sehr hohen Ergebnis von Amaranth; etwa 30,47 g/100 g TS (siehe Tab. 82). Da sich dieser Wert so drastisch von jenen der anderen Mehlproben unterscheidet, wurde der Versuch nochmal mit einem dreifach Ansatz wiederholt. Jedoch zeigte sich erneut dasselbe Ergebnis.

ROBIN et al. (2015) gaben als Bereich der Wasserlöslichkeitsindices von unbehandeltem Mehl einen Bereich von 3,4 – 11 % an, welcher sich bei einer Extrusion erhöhen kann.

Die in Kapitel 4.5.5.1 aufgestellte Vermutung, basierend auf den Daten von ROBIN et al. (2012), dass ein hoher Protein- und niedriger Stärkegehalt einen hohen Wasserlöslichkeitsindex zufolge haben könnte, kann anhand der in Tab. 80 und Tab. 82 angeführten Ergebnisse unterstrichen werden. Gleichzeitig lässt sich die Meinung, dass ein hoher Fettgehalt mit einem niedrigeren Wasserlöslichkeitsindex einhergeht, nicht bestätigen. Bei Betrachtung der Ergebnisse aller im Zuge dieser Arbeit untersuchten sieben Mehlproben scheint kein Zusammenhang zwischen dem Fettgehalt und dem Wasserlöslichkeitsindex zu bestehen. Um solch vermutete Zusammenhänge jedoch zu bestätigen bzw. statistisch abzusichern, müssten weitere Versuche mit viel höheren Probenanzahlen angeschlossen werden.

Auffallend ist die Tatsache, dass die im Labor ermittelten Wasserlöslichkeitsindices von Hirse und Weizen relativ gut mit den Ergebnissen von ROBIN et al. (2015) korrelieren und weniger gut mit jenen von Hirse von KUMAR et al. (2020) zusammenpassen, obwohl diese die Proben ebenfalls auf 90 °C erhitzt haben, wohingegen ROBIN et al. (2015) angaben die Proben bei Raumtemperatur inkubiert und gerührt zu haben.

Der für Buchweizen ermittelte Wasserlöslichkeitsindex fällt in den von YU et al. (2018) in Kapitel 4.5.5.3 angegebenen Bereich. Da diese Bandbreite lediglich auf verschiedene Mahlmethode bei Verwendung der gleichen Buchweizensorte zurückzuführen ist, lässt dies wie bereits erwähnt die Vermutung zu, dass besonders die Partikelgröße

bzw. Schädigung der Sameninhaltsstoffe den Wasserlöslichkeitsindex der Probe erheblich beeinflussen.

Auch wenn der Unterschied bei ROBIN et al. (2015) bei weitem nicht so gravierend war, wie bei den Daten in Tab. 82 bzw. Abb. 12, so beschrieben auch sie bereits die Beobachtung eines signifikant höheren Wasserlöslichkeitsindex bei Amaranth im Vergleich zu den anderen untersuchten Rohstoffen. Als Erklärung nannten sie einen niedrigeren Stärkegehalt als die anderen Proben. Allerdings untersuchten ROBIN et al. (2015) keinen Buchweizen, welcher bei den im Zuge dieser Masterarbeit analysierten Mehlproben über einen gleich niedrigen Stärkegehalt wie Amaranth verfügte, jedoch bei weitem keinen so hohen Wasserlöslichkeitsindex wie Amaranth erzielte.

So hohe Wasserlöslichkeitsindices, wie jener bei diesen Versuchen für Amaranth bestimmt wurde (rund 30,47 g/100 g TS), erhielten KONG et al. (2009) ebenfalls bei ihren Versuchen. Allerdings ermittelten sie die Indices von aus verschiedenen Amarantharten gewonnener Stärke.

Swelling Power

Zwischen allen sieben untersuchten Proben wurden keinerlei signifikante Unterschiede hinsichtlich der Swelling Power (dem Quellvermögen) gefunden. Die Ergebnisse der untersuchten Sorghummehle liegen unterhalb jenen von RAO et al. (2015), welche mit der gleichen Methode erhalten wurden. Die dabei erhaltenen Werte für die Swelling Power liegen zwischen 7,95 und 9,89 g/g. YU et al. (2018) analysierten ebenfalls die Swelling Power von Mehlen, welche durch unterschiedliche Methoden hergestellt wurden. Als Probenmaterial diente dafür Buchweizen. Der in dieser Arbeit erhaltene Messwert für Buchweizen von 7,25 g/g, siehe Tab. 82, liegt im Bereich der von YU et al. (2018) ermittelten Werte (6,434 – 7,520 g/g). Zwischen 9,1 und 20,0 g/g liegen die für Amaranthstärke erhaltenen Ergebnisse von KONG et al. (2009). Somit sind diese Werte höher als das in dieser Arbeit erhaltene Ergebnis aus Tab. 82. Ein direkter Vergleich dieser Messergebnisse ist allerdings nicht möglich, da KONG et al. (2009) laut ihrer Studie reine Amaranthstärke, anstelle von Mehl, einwogen und das Verhältnis von Probenmaterial zu Wasser kleiner war.

Tab. 82 - Übersicht der physikalischen Eigenschaften der Mehle (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	WAI [g/g TS]	WSI [g/100 g TS]	SP [g/g TS]
WZ	$7,46 \pm 0,020^b$	$5,57 \pm 0,101^a$	$7,90 \pm 0,030^a$
H	$7,38 \pm 0,249^b$	$4,14 \pm 0,005^a$	$7,70 \pm 0,259^a$
A	$5,41 \pm 1,163^a$	$30,47 \pm 6,833^b$	$7,73 \pm 1,0754^a$
BW	$6,75 \pm 0,108^b$	$6,93 \pm 0,834^a$	$7,25 \pm 0,179^a$
RS	$7,06 \pm 0,052^b$	$5,36 \pm 0,159^a$	$7,46 \pm 0,054^a$
WS1	$6,81 \pm 0,127^b$	$5,10 \pm 0,145^a$	$7,18 \pm 0,128^a$
WS2	$6,64 \pm 0,032^b$	$4,18 \pm 0,096^a$	$6,93 \pm 0,028^a$

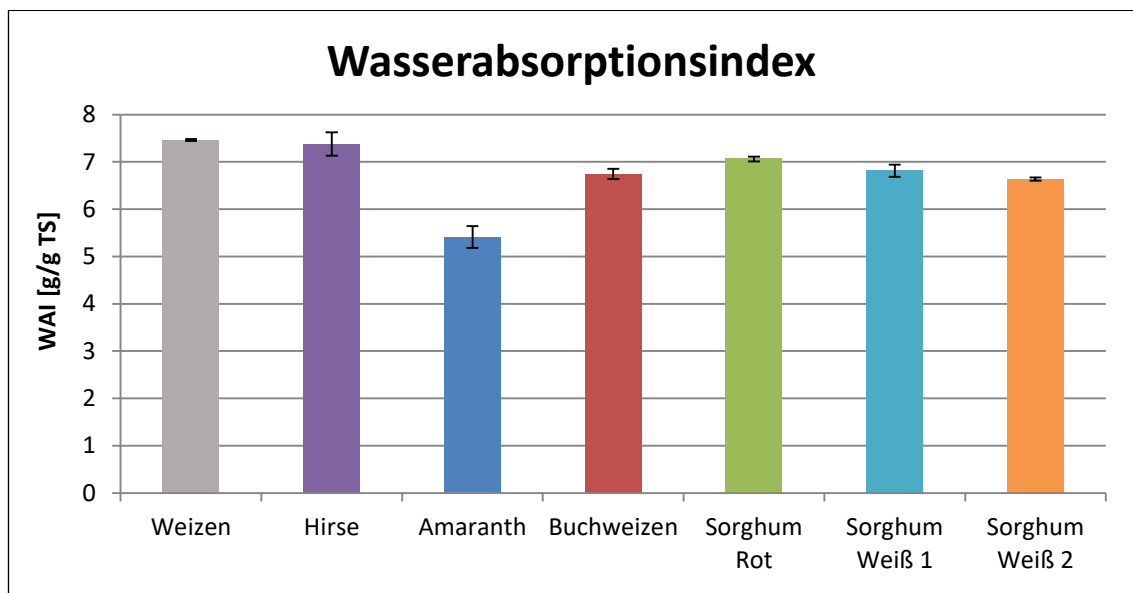


Abb. 11 - Wasserabsorptionsindex (WAI) der Mehlsproben

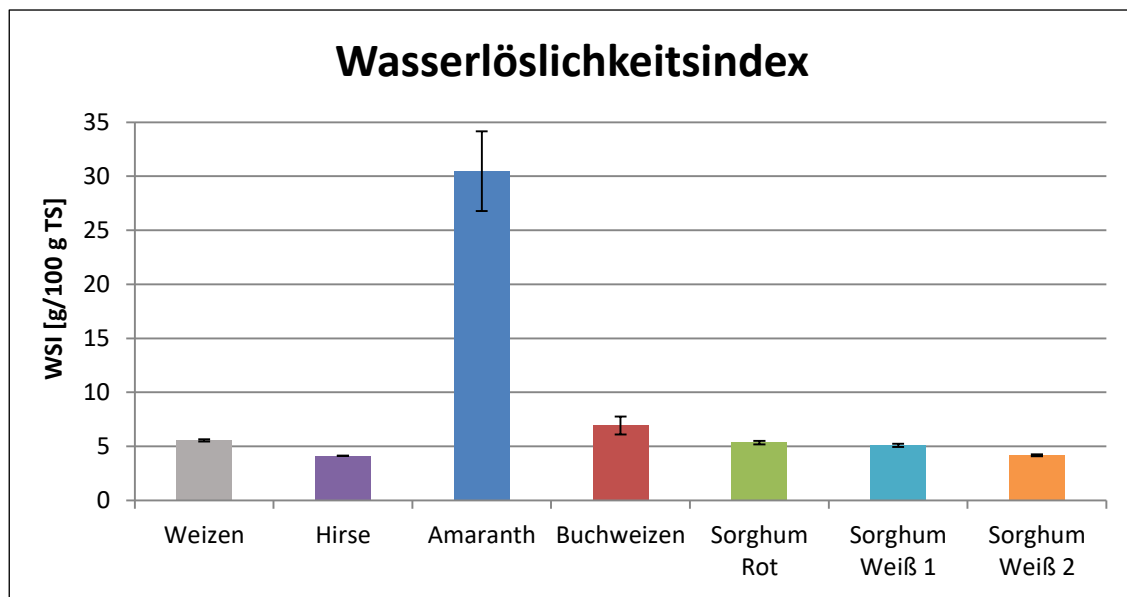


Abb. 12 - Wasserlöslichkeitsindex (WSI) der Mehlproben

6.3. Rheologische Eigenschaften

Grundsätzlich wurde versucht die verschiedenen Konzentrationsstufen der einzelnen Mehlmischungen mit dem jeweiligen Alternativgetreide (also alle Versuche einer Spalte der nachfolgenden Tabellen) mit derselben Charge Weizenmehl herzustellen. Allerdings wurden die Konzentrationsstufen 2,5 und 7,5 % bei den Versuchsreihen von rotem Sorghum und der weißen Sorghumsorte 1 erst zu einem späteren Zeitpunkt, mit einem anderen Weizenmehl nachgeholt, da erst nach der Dateneingabe und Auswertung der ersten Ergebnisse entschieden wurde, diese beiden Mischungsverhältnisse noch in die Versuchsreihe aufzunehmen.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor, welche die Qualität der Analysenergebnisse der rheologischen Analysen beeinflusst haben könnte, ist die Lagerung der Mehle. Denn normalerweise sollten diese bis zur Verwendung in einem Klimaraum mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit gelagert werden, sodass die Feuchte der Mehle genau bekannt ist und die Bedingungen für alle Versuche möglichst gleich sind. Leider stand kein Klimaraum zur Probenlagerung zur Verfügung, weshalb die Proben für mindestens eine Woche in einem verschlossenen Plastikbeutel im Regal unter den Analysengeräten gelagert wurden, bevor die Trockensubstanz bestimmt, daraus die Feuchte berechnet und die Proben verwendet wurden.

6.3.1. Haubelt Flourgraph E6 „Farino“

6.3.1.1. Wasseraufnahme korrigiert auf 14 %

In Tab. 83 und Abb. 13 sind alle Ergebnisse der Wasseraufnahmen der Mehlmischungen ausgedrückt als mL bzw. Prozent, korrigiert auf eine Mehlfuchte von 14 % und um eine Konsistenz von 500 HE zu erreichen, angegeben (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 179, 2012).

Sorghum

Ähnlich wie von TORBICA et al. (2019) und YOUSIF et al. (2012), siehe Tab. 44, Tab. 45 und Tab. 46, berichtet, zeigten auch hier die Daten, aller drei analysierten Sorghumsorten, in Tab. 83 eine Verringerung der Wasseraufnahme bei höherem

Sorghumgehalt in der Mehlmischung. Als Grund für die geringere Wasserabsorption von mit Sorghum substituiertem Weizenmehl nannten YOUSIF et al. (2012) die im Sorghum enthaltenen hydrophoben Kafirine, anstelle des hydrophilen Glutens.

Hirse

Aus Tab. 83 ist zu entnehmen, dass die Wasseraufnahme bei einer Zugabe von Hirsemehl zu Weizenmehl geringer wird und diese Abnahme beinahe kontinuierlich mit einer Erhöhung der Hirsekonzentration einhergeht. Während TORBICA et al. (2019) keinen signifikanten Unterschied zwischen der Wasseraufnahme der Mehlmischungen mit einem Anteil von 10 % und 30 % feststellen konnten, weisen die hier gewonnenen Daten eine statistisch signifikante Differenz auf. Des Weiteren lassen auch die von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) publizierten Daten die Vermutung einer Reduktion der Wasseraufnahme bei einer Erhöhung der Hirsekonzentration zu, allerdings konnte dies nicht, anders als bei den Werten in Tab. 83, durch signifikante Unterschiede bestätigt werden.

Buchweizen

In Bezug auf die Wasseraufnahme konnte, siehe Tab. 83, kein signifikanter Zusammenhang mit der Buchweizenkonzentration in der Mehlmischung festgestellt werden. Bei GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) und BONAFACCIA und KREFT (1994) wurden ebenfalls keinen signifikante Veränderungen hinsichtlich der Wasseraufnahme im Substitutionsbereich bis 30 % beobachtet. Die Versuchsergebnisse von ÖZER et al. (2010) in Tab. 53 hingegen zeigten eine deutliche Zunahme der Wasseraufnahme durch Zugabe einer höheren Menge Buchweizenmehl.

Amaranth

Die Betrachtung der Ergebnisse von Amaranth in Tab. 83 zeigt, dass eine Erhöhung der Amaranthkonzentration in der Mehlmischung tendenziell zu einer größeren Wasseraufnahme führte, auch wenn der Anstieg der Werte nicht kontinuierlich war, was sich mit den Ergebnissen von GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) deckt. BANERJI et al. (2017) berichteten hingegen, dass die Wasserabsorption mit steigenden Amaranthkonzentrationen abnahm und SINDHUJA et al. (2005) konnten keine signifikante Beeinflussung der Wasseraufnahme durch Veränderung der

Amaranthkonzentration in der Mehlmischung feststellen. Als Erklärung für die höhere Wasserabsorption bei ansteigender Amaranthkonzentration in der Mehlmischung nannten GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) die höhere Wasserbindungskapazität der Stärke von Amaranth im Gegensatz zur Weizenstärke.

Tab. 83 - Übersicht der Wasseraufnahme [%] der Mehlmischungen, korrigiert auf eine Feuchte von 14 % (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	56,2 ± 0,20 ^g	55,1 ± 0,06 ^a	56,2 ± 0,06 ^d	52,7 ± 0,17 ^f	56,9 ± 0,06 ^g	56,5 ± 0,10 ^f
2,5 %	55,1 ± 0,93 ^f	56,7 ± 0,06 ^b	56,1 ± 0,00 ^d	54,4 ± 0,12 ^h	53,9 ± 0,06 ^{cd}	54,1 ± 0,12 ^{bc}
5 %	54,6 ± 0,06 ^{ef}	57,2 ± 0,10 ^c	56,2 ± 0,10 ^d	51,5 ± 0,12 ^e	56,1 ± 0,12 ^f	56,0 ± 0,06 ^{ef}
7,5 %	54,4 ± 0,06 ^e	57,4 ± 0,06 ^d	55,3 ± 0,10 ^a	53,4 ± 0,12 ^g	53,2 ± 0,06 ^b	55,6 ± 0,06 ^e
10 %	52,3 ± 0,15 ^c	56,7 ± 0,10 ^b	56,1 ± 0,10 ^d	51,1 ± 0,06 ^d	54,0 ± 0,21 ^d	54,9 ± 0,21 ^d
15 %	53,0 ± 0,12 ^d	58,5 ± 0,06 ^g	56,0 ± 0,26 ^{cd}	50,0 ± 0,12 ^c	54,2 ± 0,12 ^e	54,5 ± 0,06 ^{cd}
20 %	51,9 ± 0,06 ^c	57,7 ± 0,17 ^e	55,7 ± 0,06 ^b	50,0 ± 0,15 ^c	53,8 ± 0,06 ^c	53,4 ± 1,15 ^{ab}
25 %	51,1 ± 0,15 ^b	59,0 ± 0,12 ^h	55,8 ± 0,12 ^{bc}	49,2 ± 0,15 ^b	53,2 ± 0,06 ^b	53,2 ± 0,06 ^a
30 %	50,4 ± 0,12 ^a	58,1 ± 0,06 ^f	55,4 ± 0,17 ^a	48,4 ± 0,15 ^a	52,8 ± 0,12 ^a	53,0 ± 0,25 ^a

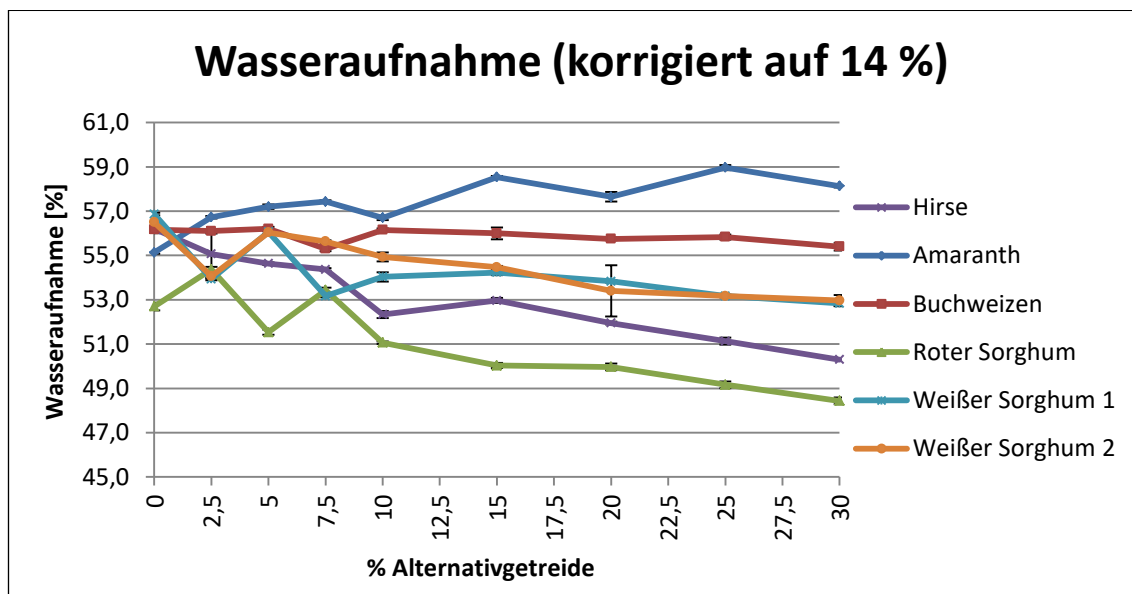


Abb. 13 - Wasseraufnahme der Mehlmischungen, korrigiert auf eine Feuchte von 14 %

6.3.1.2. Teigentwicklungszeit

Die Teigentwicklungszeit ist definiert als jene Zeitspanne zwischen dem Start der Messung, gekennzeichnet durch den Beginn der Wasserzugabe, und dem höchsten Punkt der mittleren Kurve im Farinogramm (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 179, 2012).

Sorghum

Bei der Betrachtung der Teigentwicklungszeiten der verschiedenen Sorghumsorten in allen Konzentrationsstufen fällt auf, dass diese von 0 – 10 % ziemlich konstant blieben, oder sogar leicht anstiegen und dann aber ab 15 % sich drastisch verkürzten. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von TORBICA et al. (2019), welche sich Mehlmischungen mit 10 und 30 % Sorghum anschauten, wo es bei einer höheren Sorghumkonzentration zu einer erheblichen Verlängerung der Teigentwicklungszeit kam. Auch YOUSIF et al. (2012) berichteten über eine deutlich längere Entwicklungszeit bei einem Anteil von 30 % rotem Sorghummehl, als die Referenzprobe. Konstant blieb hingegen die Teigentwicklungszeit bei einem Vergleich von 0 und 30 % weißem Sorghum, wie in Tab. 47 zu sehen ist. Dennoch stehen diese Beobachtungen von YOUSIF et al. (2012) hinsichtlich der Teigentwicklungszeit im Widerspruch zu den hier gewonnen und in Tab. 84 aufgelisteten Daten. Erst bei höheren Anteilen an Sorghum in den Mehlmischungen zeigte sich auch bei den von YOUSIF et al. (2012) durchgeführten Versuchen eine kürzere Teigentwicklungszeit, welche sie darauf zurückführten, dass kein bzw. ein nicht so starkes Glutennetzwerk wie bei reinem Weizenmehl ausgebildet werden kann.

Hirse

Wie auch schon bei Sorghum konnte der von TORBICA et al. (2019) beschriebene, mit einer geringeren Wasseraufnahme einhergehende Trend, einer längeren Teigentwicklungszeit bei den im Zuge dieser Masterarbeit erhaltenen Daten nicht festgestellt werden. Denn bei Hirse kam es ebenfalls durch einen höheren Anteil in der Mehlmischung zu einer Verkürzung der Teigentwicklungszeit.

Interessanterweise konnten GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) ebenfalls einen geringfügigen, jedoch nicht signifikanten Anstieg der Teigentwicklungszeit beim Zumischen von 5 %

Hirse beobachten, welcher, bei Betrachtung der Daten in Tab. 84, bei 2,5 % noch größer zu sein scheint, als bei 5 %. Ab 10 % kam es bei den hier erhaltenen Werten zu einem signifikanten Abfall der Teigentwicklungszeit, welchen GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) ebenfalls beschrieben.

Buchweizen

Anhand der Daten in Tab. 84 kann die Aussage getroffen werden, dass es bei diesen Versuchen zu einer Verkürzung der Teigentwicklungszeit bei Erhöhung der Buchweizenkonzentration kam. BONAFACCIA und KREFT (1994) stellten bis zu einem Buchweizenanteil von 30 % keine signifikanten Änderungen hinsichtlich der Teigentwicklungszeit fest. Bei GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) war die Zeitspanne der Teigentwicklung bis inklusive 15 % stabil, sank bei 20 % ab und blieb dann auf diesem niedrigeren Niveau bis 30 % konstant. ÖZER et al. (2011) beobachteten, dass ein Zumischen von geringen Buchweizenkonzentrationen zu einer kürzeren Teigentwicklung, im Vergleich mit 100 % Weizenmehl als Referenzprobe, führte und höhere Anteile an Buchweizen die Teigentwicklungszeit verlängerten.

Amaranth

Während GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) und SINDHUJA et al. (2005) eine Verlängerung der Teigentwicklungszeit bei Erhöhung der Amaranthkonzentration beobachteten, wurde in den hier durchgeführten Versuchen, wie in Tab. 84 und Abb. 14 zu sehen ist, eine Verkürzung dieser festgestellt. Als Ursache für die längere Teigentwicklungszeit bei ihren Versuchen nannten SINDHUJA et al. (2005) die langsamere Hydrationsfähigkeit von Amaranthmehl im Gegensatz zu Weizenmehl. Möglicherweise hatte das hier verwendete Amaranthmehl jedoch stärker beschädigte Stärkekörner, als die anderen Mehle, oder verfügte über eine kleinere Partikelgröße, weshalb es schneller Wasser aufnehmen konnte, was eine kürzere Teigentwicklungszeit mit sich brachte.

Tab. 84 - Übersicht der Teigentwicklungszeit [min] der Mehlmischungen (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	6,2 ± 0,75 ^c	6,5 ± 0,21 ^f	6,7 ± 0,21 ^f	6,3 ± 0,31 ^{bc}	6,3 ± 0,21 ^c	6,3 ± 0,50 ^c
2,5 %	7,3 ± 0,59 ^c	6,1 ± 0,26 ^e	6,0 ± 0,29 ^e	6,6 ± 0,21 ^{bcd}	6,5 ± 0,45 ^c	6,4 ± 0,21 ^c
5 %	6,3 ± 1,15 ^c	5,6 ± 0,32 ^d	5,6 ± 0,21 ^d	6,1 ± 0,21 ^b	6,2 ± 0,26 ^c	6,6 ± 0,62 ^c
7,5 %	6,2 ± 0,57 ^c	5,4 ± 0,15 ^d	5,5 ± 0,40 ^d	6,9 ± 0,78 ^d	7,1 ± 0,38 ^d	6,8 ± 0,36 ^c
10 %	3,0 ± 1,34 ^b	4,8 ± 0,10 ^c	4,9 ± 0,20 ^c	6,7 ± 0,25 ^{cd}	6,3 ± 0,51 ^c	7,0 ± 0,32 ^c
15 %	2,1 ± 0,12 ^{ab}	4,3 ± 0,21 ^b	4,5 ± 0,06 ^b	1,9 ± 0,10 ^a	2,2 ± 0,46 ^{ab}	4,5 ± 2,37 ^b
20 %	2,0 ± 0,10 ^{ab}	4,2 ± 0,15 ^{ab}	4,1 ± 0,06 ^{ab}	2,0 ± 0,26 ^a	1,9 ± 0,31 ^{ab}	2,1 ± 0,26 ^a
25 %	1,9 ± 0,70 ^{ab}	4,0 ± 0,06 ^{ab}	4,0 ± 0,06 ^a	1,7 ± 0,20 ^a	2,4 ± 0,06 ^b	1,6 ± 0,25 ^a
30 %	1,5 ± 0,00 ^a	4,0 ± 0,00 ^a	3,8 ± 0,06 ^a	1,5 ± 0,06 ^a	1,7 ± 0,12 ^a	1,6 ± 0,06 ^a

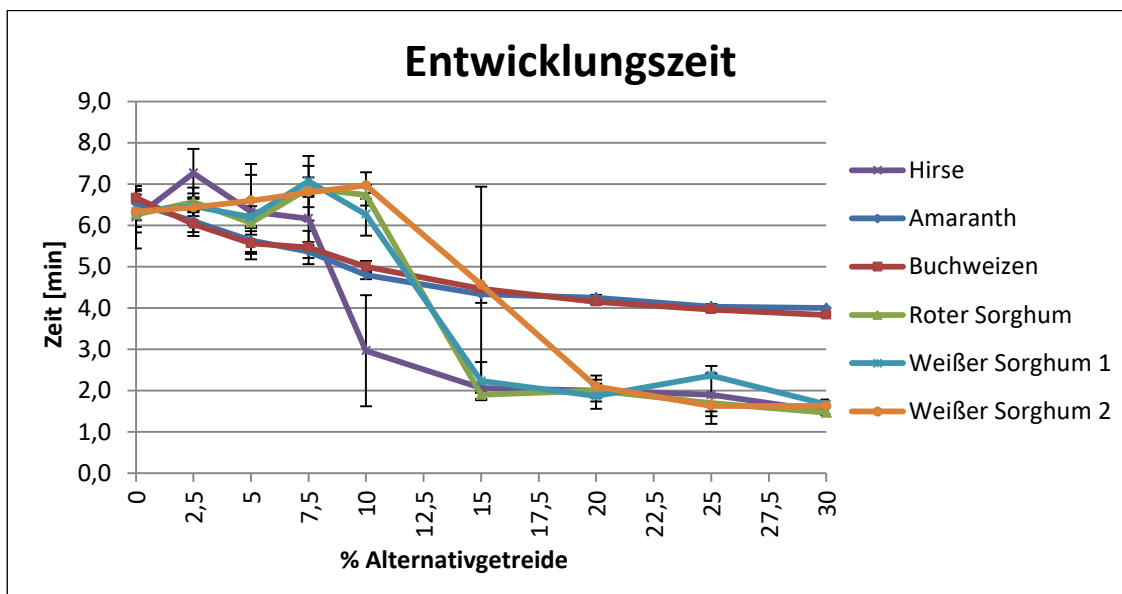


Abb. 14 - Teigentwicklungszeit aller Proben

6.3.1.3. Teigstabilität

Als Teigstabilität gilt jene Zeit zwischen dem ersten und zweiten Schnittpunkt der oberen Spur im Farinogramm mit der Linie der Konsistenz von meist 500 HE (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 179, 2012).

Sorghum

In den niedrigeren Konzentrationsbereichen (bis inklusive 20 % Zumischung Sorghummehl) zeigen die hier gewonnenen und in Tab. 85 angeführten Daten, eine konstante bzw. sogar längere Teigstabilität, als jene von reinem Weizenmehl. YOUSIF et al. (2012) hingegen berichteten von einer kürzeren Teigstabilität bei der Zugabe von Sorghummehl. Bei einer Mehlmischung mit einem Substitutionsgrad von 30 % des Weizenmehls durch das jeweilige Sorghummehl jedoch zeigt sich im Vergleich zur Referenzprobe (100 % Weizenmehl), dass wie bei YOUSIF et al. (2012) eine deutlich verkürzte Teigstabilität festgestellt werden kann.

Hirse

Gegenteilige Effekte zeigen die Daten der Teigstabilität aus Tab. 85 und jene von GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) in Tab. 50, denn GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) berichteten über eine sprunghafte Verbesserung bzw. Verlängerung der Teigstabilität ab 25 % und bei niedrigeren Konzentrationen von einer Verkürzung. In den hier durchgeführten Versuchen führte allerdings ein Hirseanteil ab 20 % zu einer deutlich kürzeren Teigstabilität.

Buchweizen

Während BONAFACCIA und KREFT (1994) und auch GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) beim Zumischen von Buchweizen- zu Weizenmehl einen erheblichen Anstieg der Teigstabilität beobachteten, wurde bei den hier durchgeführten Versuchen (siehe Abb. 15) und von ÖZER et al. (2010) eine beinahe kontinuierliche Abnahme der Teigstabilität, einhergehend mit einer Erhöhung des Buchweizenanteils in der Mehlmischung, festgestellt. Doch braucht bzw. wünscht sich die Lebensmittelindustrie laut ÖZER et al. (2010) eine hohe Teigstabilität, weshalb sich die Frage stellt, inwieweit Buchweizen bzw. auch Amaranth, bei welchen es bereits bei niedrigen Konzentrationen zu starken Rückgängen kommt, überhaupt für einen Einsatz in Mehlmischungen eignen. Darüber hinaus wurde bereits bei den gewählten Konzentrationsstufen (bis 30 % Buchweizen) bemerkt, dass die Handhabung des Teiges bei Erhöhung des Anteils an Buchweizen immer schwieriger wurde. Diesen Effekt beschrieben auch BONAFACCIA und KREFT (1994), jedoch erst ab 50 %.

Amaranth

Ebenso wie von BANERJI et al. (2017) und SINDHUJA et al. (2005) beobachteten, zeigt sich auch in Tab. 85 deutlich, dass die Erhöhung des Amaranthanteils in der Mehlmischung zu einem stetigen Rückgang der Teigstabilität führte. GROBELNIK-MLAKAR et al. (2009) berichteten hingegen von einer Verbesserung und somit Verlängerung der Teigstabilität bei Amaranthzugabe (siehe Tab. 55).

Als Ursache für die Abnahme der Teigstabilität nannten BANERJI et al. (2017), wie bereits in Kapitel 4.5.1.4 erwähnt, die „Verdünnung“ des Glutens und den damit einhergehenden Verlust der viskoelastischen Eigenschaften, welcher auch eine Erhöhung der Klebrigkeit des Teiges mit sich brachte. Durch diese Tatsache unterschieden sich diese Mehlmischungen bei der praktischen Arbeit besonders von den anderen Proben und fielen negativ auf, da die Klebrigkeit die Handhabung extrem erschwerte. Deshalb war Amaranth auch das einzige Alternativgetreide, bei welchem eine Beimischung von maximal 15 % bei den Extensographversuchen möglich war. Aus Teigen mit einem höheren Amaranthanteil war es nicht möglich eine Kugel zu formen bzw. blieben diese danach als flacher Fladen auf der Walze kleben.

Deckungsgleich waren ebenfalls die Ergebnisse der chemischen Analysen von BANERJI et al. (2017) und den hier untersuchten Proben, in dem Sinne, dass Amaranth über einen höheren Asche-, Protein- und Fettgehalt verfügte, aber eine niedrigere Kohlenhydrat- bzw. Stärkekonzentration als Weizenmehl aufwies.

KRAUJUTIENÉ und GAILEVIČIENÉ (2017) erwähnten bereits, dass ein hoher Fettgehalt die Teigstabilität verkürzt bzw. die Bildung eines Glutennetzwerks stört. Diese Beobachtung trifft bei den hier erhaltenen Ergebnissen ausschließlich auf Amaranth zu, wenn die Werte aus Tab. 85 und Tab. 80 miteinander verglichen werden.

Tab. 85 - Übersicht der Teigstabilität [min] der Mehlmischungen (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	11,5 ± 0,44 ^c	12,2 ± 1,00 ^g	11,8 ± 0,87 ^f	10,5 ± 1,98 ^{cd}	10,4 ± 0,35 ^{bc}	11,0 ± 0,90 ^b
2,5 %	13,6 ± 0,95 ^d	9,0 ± 0,10 ^f	8,8 ± 0,17 ^e	12,1 ± 0,21 ^{def}	11,7 ± 0,60 ^{cde}	10,7 ± 0,53 ^b
5 %	13,5 ± 1,53 ^d	7,0 ± 0,57 ^e	6,0 ± 0,46 ^d	10,2 ± 0,17 ^c	9,2 ± 0,55 ^b	11,2 ± 0,90 ^b
7,5 %	15,0 ± 0,49 ^e	5,6 ± 0,40 ^d	6,2 ± 0,40 ^d	13,7 ± 1,45 ^f	12,0 ± 0,70 ^{de}	11,1 ± 0,06 ^b
10 %	15,4 ± 0,06 ^e	4,5 ± 0,12 ^c	4,9 ± 0,26 ^c	11,4 ± 0,92 ^{cde}	10,6 ± 0,87 ^{bc}	11,8 ± 0,49 ^b
15 %	12,0 ± 0,20 ^c	3,7 ± 0,20 ^b	4,1 ± 0,15 ^b	13,1 ± 1,15 ^{ef}	12,2 ± 1,82 ^e	13,8 ± 0,75 ^c
20 %	8,3 ± 0,81 ^b	3,3 ± 0,12 ^{ab}	3,8 ± 0,47 ^{ab}	12,5 ± 0,36 ^{ef}	10,8 ± 0,44 ^{cd}	13,3 ± 0,50 ^c
25 %	6,1 ± 0,46 ^a	3,0 ± 0,10 ^{ab}	3,3 ± 0,12 ^a	7,5 ± 0,40 ^b	9,2 ± 0,06 ^b	11,3 ± 0,96 ^b
30 %	5,9 ± 0,20 ^a	2,7 ± 0,12 ^a	3,2 ± 0,06 ^a	5,2 ± 0,72 ^a	6,7 ± 0,75 ^a	7,1 ± 1,01 ^a

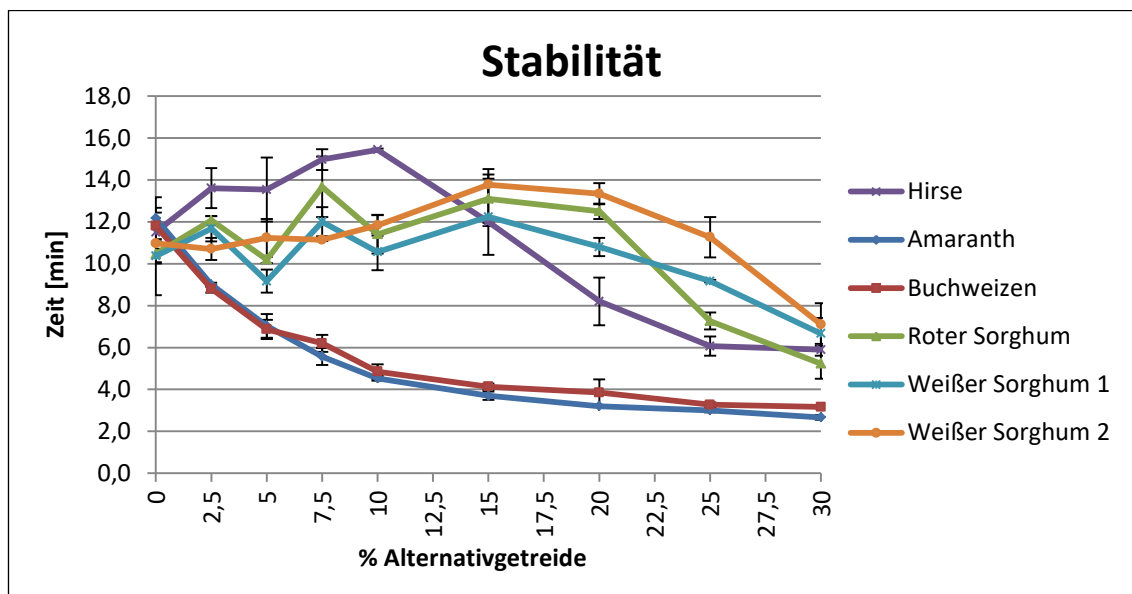


Abb. 15 - Teigstabilität der Mehlmischungen

6.3.1.4. Erweichungsgrad 12 Minuten nach dem Maximum

Der Erweichungsgrad wird als Differenz der Konsistenz am Maximum, entspricht dem Wert der mittleren Linie bei der Teigentwicklungszeit, und nach 12 Minuten mixen definiert (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 179, 2012).

Sorghum

Bei der Teigerweichung 12 Minuten nach dem Maximum lässt sich für die untersuchten Sorghumsorten kein klarer Trend erkennen. Im Gegensatz zu den Daten von TORBICA et al. (2019) in Tab. 44, war auch kein signifikanter Unterschied zwischen einer Beimischung von 10 und 30 % zu erkennen. Allerdings war interessanterweise bei allen drei Sorghumsorten die Teigerweichung bei 20 % Sorghum in der Mehlmischung deutlich geringer als bei 10 und 30 %, was auch in Abb. 16 zu sehen ist.

Hirse

Die Teigerweichung jener Mehlmischungen mit einem Anteil von 7,5, 10 und 15 % Hirse (siehe Tab. 86) zeigten eine signifikant geringere Teigerweichung 12 min nach dem Maximum, als die Referenzprobe aus 100 % Weizenmehl. Wurde der Prozentsatz an Hirse nun in der Mischung weiter erhöht, so führte das zu einer höheren Teigerweichung. TORBICA et al. (2019) berichteten ebenfalls von einer höheren Teigerweichung bei einem Zusatz von Hirsemehl, da das ausgebildete Proteinnetzwerk nur über schwächere Bindungen verfügte. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Tab. 49 allerdings, ist bei den hier erhaltenen Versuchsdaten der Wert der Teigerweichung bei einem Anteil von 30 % Hirse in der Mehlmischung größer als bei 10 %.

GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) beobachteten bei ihren Versuchen eine nicht signifikante Zunahme der Teigerweichung bis zu einem Anteil von 20 % Hirse in der Mischung und ab 25 % wieder eine geringe Abnahme dieser. Dies deckt sich nicht mit den in Tab. 86 aufgelisteten Daten.

Buchweizen

Im Gegensatz zu GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) und BONAFACCIA und KREFT (1994) konnte bei den hier gewählten Konzentrationen der Mehlmischungen, siehe Tab. 86, ein kontinuierlicher, fast linearer Anstieg der Teigerweichung (Abb. 16) bei einer Erhöhung des Anteils an Buchweizen beobachtet werden. Dieses Verhalten der ansteigenden Teigerweichung konnten auch ÖZER et al. (2010) bei der Analyse ihrer Weizen-Buchweizen-Mehlmischungen feststellen. Als Erklärung für diesen Trend kann wahrscheinlich die geringere Fähigkeit der Buchweizenproteine eine vernetzende Struktur im Teig zu bilden gesehen werden.

Ganz allgemein gaben GAVURNÍKOVÁ et al. (2011) an, dass alle Farinographparameter von der Qualität und Quantität der Proteine, besonders dem Anteil an Gluten, dem Gehalt und der Eigenschaften der Stärke und eventuell vorhandenen enzymatischen Komplexen abhängig sind.

Amaranth

Die Farinographdaten von GROBELNIK-MLAKAR et al. (2009) in Tab. 55 zeigen, auch wie die im Zuge dieser Masterarbeit erhaltenen Daten, dass eine Erhöhung der Amaranthkonzentration in einem Teig aus Weizenmehl und Amaranthmehl zu einem Anstieg der Teigerweichung bei einer Messung dieser 12 min nach dem Maximum führte. Jedoch fällt die Referenzprobe von 100 % Weizenmehl in Tab. 55 aus der Reihe und ist sehr hoch, was auf die Verwendung eines sehr kleberschwachen Mehls hindeuten könnte.

Tab. 86 - Übersicht des Erweichungsgrads der Mehlmischungen 12 Minuten nach dem Maximum [HE]
(unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$)
Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	49 ± 0,6 ^c	45 ± 1,7 ^a	48 ± 2,1 ^a	54 ± 6,1 ^{bcd}	53 ± 5,3 ^{abc}	52 ± 4,6 ^b
2,5 %	43 ± 6,7 ^{bc}	56 ± 3,5 ^b	63 ± 0,6 ^b	52 ± 0,6 ^{bc}	53 ± 4,2 ^{abc}	54 ± 4,0 ^b
5 %	48 ± 5,3 ^c	67 ± 5,6 ^c	75 ± 3,5 ^c	64 ± 6,0 ^{def}	70 ± 13,7 ^d	57 ± 4,0 ^{bcd}
7,5 %	41 ± 5,5 ^{ab}	74 ± 3,0 ^d	79 ± 2,9 ^{cd}	47 ± 4,0 ^b	55 ± 4,0 ^{abc}	55 ± 4,5 ^{bc}
10 %	35 ± 5,0 ^a	87 ± 1,2 ^e	82 ± 2,1 ^d	68 ± 13,3 ^{ef}	64 ± 7,8 ^{cd}	62 ± 3,5 ^{cd}
15 %	41 ± 1,5 ^{ab}	108 ± 4,5 ^f	96 ± 1,5 ^e	33 ± 7,1 ^a	51 ± 9,1 ^{ab}	42 ± 5,0 ^a
20 %	57 ± 2,1 ^d	120 ± 1,7 ^g	100 ± 4,5 ^e	35 ± 2,5 ^a	45 ± 1,5 ^a	35 ± 1,5 ^a
25 %	80 ± 2,3 ^e	130 ± 1,7 ^h	112 ± 7,0 ^f	59 ± 2,6 ^{cde}	52 ± 1,2 ^{ab}	41 ± 2,5 ^a
30 %	82 ± 1,5 ^e	142 ± 4,2 ⁱ	114 ± 2,1 ^f	73 ± 4,2 ^f	62 ± 4,0 ^{bcd}	63 ± 8,5 ^d

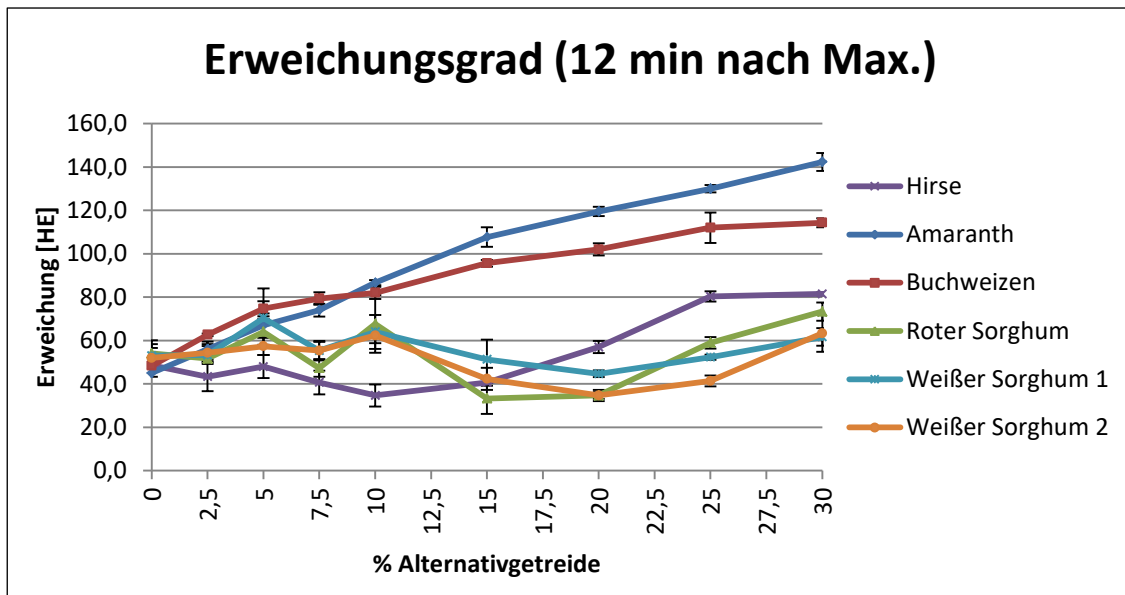


Abb. 16 - Erweichungsgrad (12 min nach dem Maximum) aller Proben

6.3.2. Haubelt Flourgraph E7 „Extenso“

6.3.2.1. Energie

Die Energie der Teige wird als die Fläche unter der vom Extensograph aufgenommenen Kurve berechnet (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 180, 2012).

Sorghum

Anhand der Daten der drei Sorghumproben in Tab. 87 ist schön zu sehen, wie die Energie durch Zugabe von Sorghum zu Weizen drastisch abnahm und bei 30 % Sorghumanteil nur mehr weniger als halb so groß war. Dass das Zumischen von Sorghum zu einer geringeren Energie, als die Referenzprobe von 100 % Weizenmehl führt, konnten auch VÁSQUEZ et al. (2016) bei ihren Versuchen beobachten.

Hirse

Wie eigentlich bei allen anderen Proben, siehe Abb. 17, so führte auch bei Hirse die Konzentrationserhöhung des Alternativgetreides zu einer Abnahme der Energie.

Buchweizen

Ein deutlicher Rückgang der Energie ist bei den Daten von Buchweizen in Tab. 87 zu sehen. So verfügte der Teig mit einer Buchweizenkonzentration von 30 % über sogar weniger als ein Viertel der Energie des Teiges aus 100 % Weizenmehl. Diese kontinuierliche und drastische Abnahme der Energie wird durch die Daten von ÖZER et al. (2010), in Tab. 58, unterstützt. Neben der Verringerung der Energie, zeigte auch die Abnahme der Dehnlänge, welche ÖZER et al. (2010) bei ihren Versuchen beobachteten, dass ein Zusatz von Buchweizen zu Weizenmehl zu einer Reduktion des Gashaltevermögens und somit einer Verschlechterung der Teigqualität führte.

Amaranth

Ein Vergleich der Daten nach 135 min Rastzeit von Tab. 59 und jenen in Tab. 87 zeigt, dass es in beiden Versuchen zu einer signifikanten Abnahme der Teigenergie bei einer Amaranthzugabe und Erhöhung dieser Konzentration kam. Der Konzentrationsbereich bei den im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Extensographversuchen erstreckte sich bei Amaranth jedoch nur von 0 – 15 %, da eine Handhabbarkeit der Teige mit einer höheren Amaranthkonzentration nicht mehr möglich war, weil diese zu klebrig waren.

Tab. 87 - Übersicht der Energie [cm²] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	125 ± 4,5 ^{de}	133 ± 3,5 ^e	128 ± 22,9 ^g	128 ± 5,5 ^e	133 ± 3,8 ^f	131 ± 8,1 ^d
2,5 %	131 ± 4,6 ^e	116 ± 6,7 ^d	112 ± 6,7 ^f	117 ± 11,0 ^{de}	129 ± 6,1 ^f	127 ± 7,1 ^d
5 %	125 ± 3,2 ^{de}	101 ± 5,1 ^c	104 ± 2,1 ^{ef}	121 ± 13,8 ^{de}	119 ± 3,5 ^e	109 ± 6,1 ^c
7,5 %	108 ± 8,1 ^c	86 ± 2,3 ^b	95 ± 6,2 ^e	107 ± 10,1 ^{cd}	110 ± 4,6 ^d	110 ± 11,6 ^c
10 %	116 ± 8,7 ^{cd}	80 ± 6,5 ^b	76 ± 6,2 ^d	110 ± 3,6 ^{cd}	90 ± 6,0 ^c	102 ± 2,0 ^c
15 %	82 ± 12,2 ^b	62 ± 1,7 ^a	58 ± 2,0 ^c	99 ± 15,0 ^{bc}	89 ± 4,0 ^c	83 ± 9,0 ^b
20 %	90 ± 4,7 ^b	-	47 ± 0,6 ^{bc}	82 ± 3,2 ^b	71 ± 1,7 ^b	73 ± 3,2 ^b
25 %	64 ± 13,3 ^a	-	34 ± 3,2 ^{ab}	56 ± 13,7 ^a	54 ± 7,2 ^a	49 ± 8,1 ^a
30 %	50 ± 7,0 ^a	-	28 ± 3,1 ^a	53 ± 3,5 ^a	54 ± 5,2 ^a	48 ± 13,3 ^a

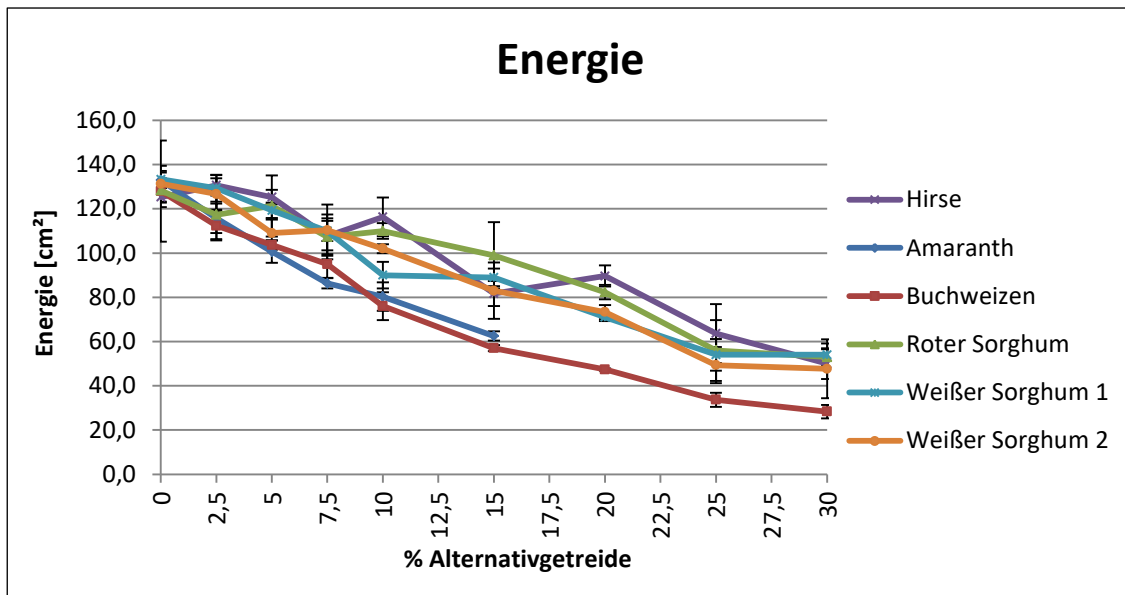


Abb. 17 - Energie aller Proben nach 135 min

6.3.2.2. Dehnwiderstand R50

Als Dehnwiderstand R50 ist jener Widerstand definiert, welcher bei einer Extension von 50 mm gemessen wird (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 180, 2012).

Sorghum

Der Dehnwiderstand bei 50 mm Extension zeigte bei rotem Sorghum (siehe Abb. 18) keinen signifikanten Trend über den hier abgedeckten Versuchsbereich. Bei den beiden weißen Sorghumsorten zeigten sich speziell im unteren Konzentrationsbereich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede, jedoch ist der Dehnwiderstand bei 25 und 30 % von beiden Proben geringer als jener der Referenz (100 % Weizenmehl).

Hirse

Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Daten von Hirse bei den niedrigeren Beimischungsraten. Die Zumischung niedriger Mengen, bis inklusive 15 % Hirse (siehe Tab. 88), führte zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen 100 % Weizenmehl und den Mehlmischungen. Ab 20 % Hirseanteil kam es allerdings zu einem Anstieg des Dehnwiderstands.

Buchweizen

Tab. 88 zeigt, dass ein Anstieg der Buchweizenkonzentration in der Mehlmischung zu einer kontinuierlichen, signifikanten Abnahme des Dehnwiderstands bei 50 mm, in dem untersuchten Versuchsbereich, führte. Die gleiche Beobachtung konnten auch ÖZER et al. (2010) in diesem Konzentrationsbereich machen, berichteten jedoch wieder über einen geringen Anstieg des Dehnwiderstands bei Erhöhung der Buchweizenkonzentration auf 40 %.

Amaranth

Im Gegensatz zu GROBELNIK MLAKAR et al. (2009), welche über einen erheblichen Anstieg des Dehnwiderstands bei steigender Amaranthzugabe berichteten, wurde hier, wie die Messergebnisse in Tab. 88 zeigen, ein Rückgang des Dehnwiderstands bei 50 mm beobachtet.

Tab. 88 - Übersicht des Dehnwiderstands nach 50 mm [HE] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	258 ± 13,6 ^a	275 ± 7,5 ^d	262 ± 27,4 ^e	276 ± 15,7 ^{ab}	264 ± 6,6 ^{cde}	281 ± 17,5 ^{de}
2,5 %	276 ± 19,1 ^a	263 ± 14,9 ^d	236 ± 20,9 ^d	257 ± 12,7 ^a	270 ± 7,2 ^{de}	288 ± 18,0 ^e
5 %	291 ± 18,0 ^{ab}	240 ± 2,3 ^c	233 ± 9,2 ^d	289 ± 3,2 ^{ab}	274 ± 9,2 ^{de}	246 ± 12,0 ^{bc}
7,5 %	276 ± 19,9 ^a	228 ± 11,4 ^c	222 ± 9,6 ^d	271 ± 9,1 ^{ab}	283 ± 2,6 ^e	272 ± 17,2 ^{de}
10 %	275 ± 3,0 ^a	210 ± 5,6 ^b	183 ± 17,0 ^c	289 ± 6,0 ^{ab}	257 ± 4,7 ^{bcd}	272 ± 7,9 ^{de}
15 %	291 ± 8,4 ^{ab}	172 ± 6,6 ^a	145 ± 6,7 ^b	296 ± 18,9 ^b	279 ± 25,0 ^{de}	258 ± 13,9 ^{bcd}
20 %	353 ± 24,1 ^{cd}	-	134 ± 1,0 ^b	291 ± 14,6 ^b	245 ± 9,1 ^{abc}	268 ± 15,0 ^{cde}
25 %	323 ± 41,8 ^{bc}	-	109 ± 4,0 ^a	267 ± 42,8 ^{ab}	227 ± 20,1 ^a	211 ± 13,0 ^a
30 %	371 ± 24,4 ^d	-	105 ± 10,8 ^a	276 ± 15,8 ^{ab}	238 ± 19,2 ^{ab}	238 ± 13,8 ^b

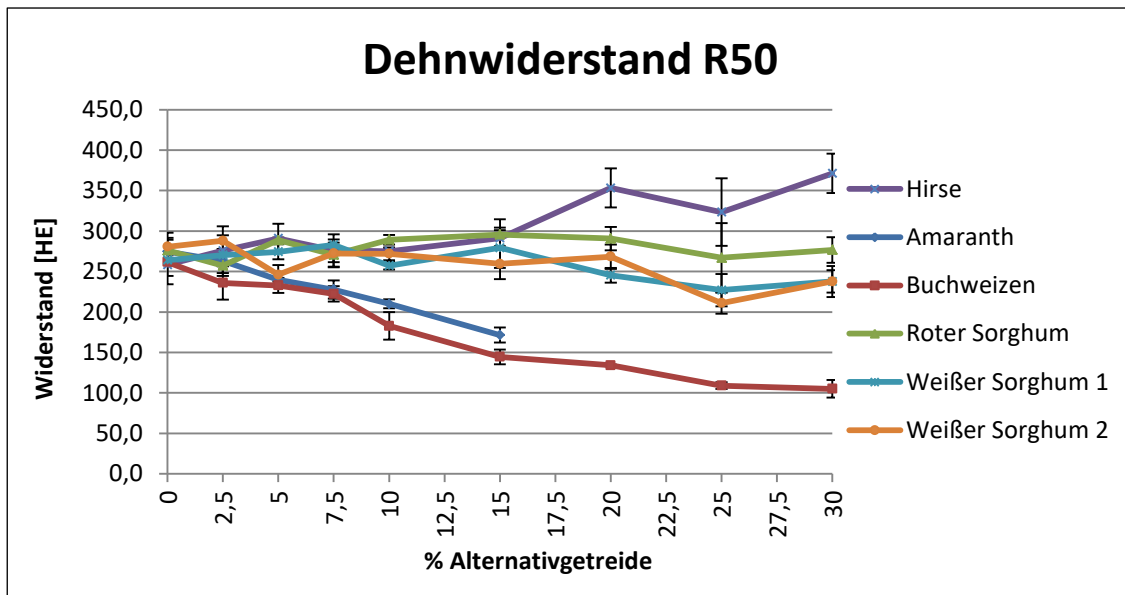


Abb. 18 - Dehnwiderstand bei 50 mm aller Mehlmischungen

6.3.2.3. Dehnbarkeit (Dehnlänge)

Die Dehnbarkeit korreliert mit der vom Haken zurückgelegten Wegstrecke, von dem ersten Moment als er den Teig berührt, bis zu jenem Punkt an dem der Teig reißt (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 180, 2012).

Sorghum

Im Gegensatz zu den von VÁSQUEZ et al. (2016) gemessenen Dehnlängen nahm die Dehnbarkeit sowohl bei rotem Sorghum, als auch den beiden weißen Sorghumsorten beinahe kontinuierlich bei Erhöhung des Sorghumanteils in der Mischung ab. Grundsätzlich stellten VÁSQUEZ et al. (2016) dennoch die These auf, dass die Dehnlänge mit einem höheren Substitutionsgrad abnahm. Sie erklärten, dass die Verringerung der Dehnbarkeit durch die Verdünnung des Glutengehalts und einem Anstieg des Ballaststoffgehalts, welcher das Glutennetzwerk während dem Mixen zerstören kann, zustande kommt.

Hirse

Wie von SAHA et al. (2011) berichtet, konnte bei den hier durchgeführten Versuchen ebenfalls beobachtet werden (siehe Tab. 89), dass die Dehnbarkeit mit steigender

Hirsekonzentration zurückgeht, als Erklärung dafür nannten SAHA et al. (2011), nicht näher erläuterte, Eigenschaften der polymeren Proteinstruktur.

Buchweizen

Während ÖZER et al. (2010) eine kontinuierliche Abnahme der Dehnlänge bei Erhöhung der Buchweizenanteile feststellten, wurde in den in dieser Masterarbeit durchgeführten Versuchen eine relativ konstante Dehnbarkeit bis etwa 20 % beobachtet. Erst bei 25 bzw. 30 % trat ein signifikanter Rückgang der Dehnbarkeit ein (siehe Abb. 19).

Amaranth

Genau wie GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) feststellten, zeigen auch die Ergebnisse in Tab. 89, dass eine höhere Amaranthkonzentration zu einer geringeren Dehnbarkeit führt. Aufgrund dieser Tatsache gaben GROBELNIK MLAKAR et al. (2009) an, dass Amaranth den Teig stärkt bzw. festigt. Als Ursache wurde die Glutenverdünnung vermutet.

Tab. 89 - Übersicht der Dehnbarkeit [mm] der Mehlmischungen nach 135 Minuten (unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$) Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	196 ± 6,4 ^f	195 ± 4,6 ^b	193 ± 20,3 ^c	195 ± 3,1 ^e	201 ± 8,2 ^e	192 ± 11,5 ^e
2,5 %	194 ± 8,1 ^{ef}	188 ± 10,5 ^{ab}	193 ± 5,3 ^c	191 ± 8,6 ^{de}	192 ± 5,7 ^{de}	185 ± 8,5 ^e
5 %	181 ± 2,6 ^{de}	183 ± 3,8 ^{ab}	191 ± 7,8 ^{bc}	182 ± 11,7 ^{cde}	186 ± 4,0 ^{cd}	187 ± 11,9 ^e
7,5 %	170 ± 3,0 ^d	178 ± 3,2 ^a	194 ± 6,1 ^c	178 ± 11,0 ^{cd}	177 ± 4,7 ^c	179 ± 8,6 ^{de}
10 %	178 ± 12,6 ^d	179 ± 7,2 ^a	193 ± 8,2 ^c	174 ± 9,3 ^c	163 ± 11,1 ^b	175 ± 1,5 ^{de}
15 %	140 ± 17,6 ^c	178 ± 7,0 ^a	197 ± 2,5 ^c	166 ± 13,2 ^{bc}	160 ± 8,7 ^b	163 ± 7,8 ^{cd}
20 %	137 ± 1,5 ^c	-	187 ± 4,0 ^{bc}	151 ± 2,0 ^b	152 ± 1,2 ^b	147 ± 5,8 ^c
25 %	119 ± 6,6 ^b	-	175 ± 16,8 ^{ab}	123 ± 15,5 ^a	136 ± 12,4 ^a	134 ± 11,0 ^{ab}
30 %	90 ± 6,8 ^a	-	160 ± 2,6 ^a	119 ± 4,5 ^a	131 ± 1,5 ^a	118 ± 21,6 ^a

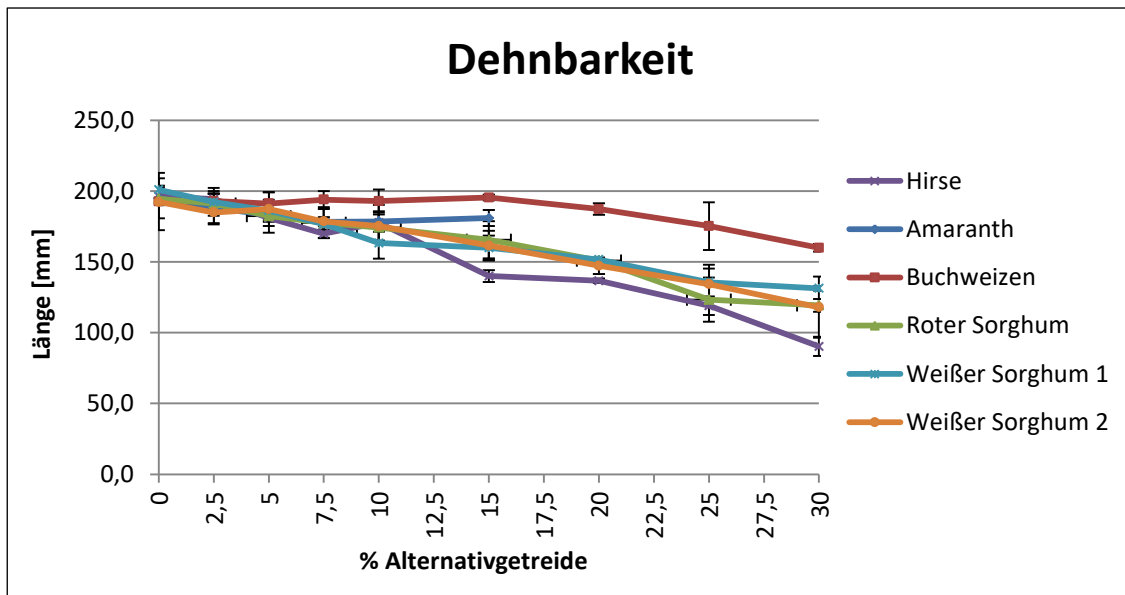


Abb. 19 - Dehnbarkeit aller Proben

6.3.2.4. Maximaler Dehnwiderstand

Aus der maximalen Höhe der aufgezeichneten Kurven kann der maximale Dehnwiderstand abgelesen werden und gilt als jener Widerstand, der unmittelbar vor dem Abreißen des Teiges gemessen wird (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, ICC Standard No. 180, 2012).

Sorghum

Der maximale Dehnwiderstand aller Weizen-Sorghum-Mischungsverhältnisse, von 2,5 – 10 % von VÁSQUEZ et al. (2016) (siehe Tab. 56) lag unterhalb jenem von einem Teig ausschließlich aus Weizenmehl. Diese Beobachtung trifft bei den hier durchgeführten Versuchen und in Tab. 90 angeführten Ergebnissen ausschließlich auf den roten Sorghum zu. Allerdings konnte bei allen drei getesteten Sorghumsorten mitverfolgt werden, dass ein Anstieg des Sorghumanteils in der Mehlmischung tendenziell zu einer Abnahme des maximalen Dehnwiderstands führte.

Hirse

Wie in Tab. 90 zu sehen ist, war der maximale Dehnwiderstand bei einem Substitutionsgrad von 25 und 30 % Hirse signifikant geringer als bei der Referenzprobe. SAHA et al. (2011) berichteten über einen minimal höheren Dehnwiderstand bei

höherem Weizenmehlanteil in der Mischung, allerdings verwendeten sie Mischungen mit viel höheren Hirse-Anteilen von 60 und 70 %.

Buchweizen

Sowie der Dehnwiderstand bei einer Extension von 50 mm, sank auch der maximale Dehnwiderstand bei Erhöhung der Buchweizenanteile in den hier durchgeführten Versuchen (siehe Abb. 20). Diese Ergebnisse wurden auch von ÖZER et al. (2010) festgestellt. Allerdings berichteten ÖZER et al. (2010), wie bereits beim Dehnwiderstand bei 50 mm auch, beim maximalen Dehnwiderstand über einen Anstieg von diesem, wenn die Buchweizenkonzentration von 30 auf 40 % erhöht wurde.

Amaranth

Der maximale Dehnwiderstand der Amaranth-Weizen-Mischungen zeigte, wie in Tab. 90 zu sehen ist, eine kontinuierliche Abnahme bei Erhöhung des Anteils des Alternativgetreides in der Mischung. Diese Verringerung war höher als bei Hirse und den untersuchten Sorghumsorten; ähnlich hoch wie jene von Buchweizen.

Tab. 90 - Übersicht des maximalen Dehnwiderstands [HE] der Mehlmischungen nach 135 Minuten
(unterschiedliche Buchstaben innerhalb derselben Spalte bedeuten signifikante ($\alpha < 0,05$)
Unterschiede der Mittelwerte)

	H	A	BW	RS	WS1	WS2
0 %	465 ± 26,2 ^{cd}	497 ± 21,6 ^e	488 ± 47,0 ^g	476 ± 10,6 ^d	485 ± 14,3 ^{ef}	495 ± 25,1 ^d
2,5 %	487 ± 5,7 ^d	444 ± 22,5 ^d	421 ± 28,8 ^f	443 ± 19,5 ^{cd}	495 ± 14,2 ^f	501 ± 35,5 ^d
5 %	509 ± 21,7 ^d	388 ± 13,1 ^c	384 ± 10,6 ^e	475 ± 27,4 ^d	460 ± 4,6 ^{de}	430 ± 11,0 ^c
7,5 %	469 ± 31,9 ^{cd}	336 ± 15,1 ^b	338 ± 7,0 ^d	430 ± 13,9 ^c	439 ± 8,5 ^d	440 ± 32,2 ^c
10 %	481 ± 13,0 ^{cd}	312 ± 17,8 ^b	262 ± 19,6 ^c	452 ± 30,6 ^{cd}	394 ± 7,1 ^c	407 ± 10,1 ^c
15 %	432 ± 15,7 ^{bc}	234 ± 11,3 ^a	192 ± 5,7 ^b	414 ± 29,5 ^{bc}	389 ± 27,5 ^c	355 ± 21,8 ^b
20 %	468 ± 40,0 ^{cd}	-	159 ± 1,7 ^b	375 ± 12,5 ^b	324 ± 6,1 ^b	341 ± 29,5 ^b
25 %	377 ± 57,8 ^a	-	118 ± 2,6 ^a	305 ± 52,8 ^a	266 ± 33,6 ^a	248 ± 22,6 ^a
30 %	393 ± 32,0 ^{ab}	-	107 ± 11,2 ^a	299 ± 12,2 ^a	271 ± 29,0 ^a	272 ± 32,0 ^a

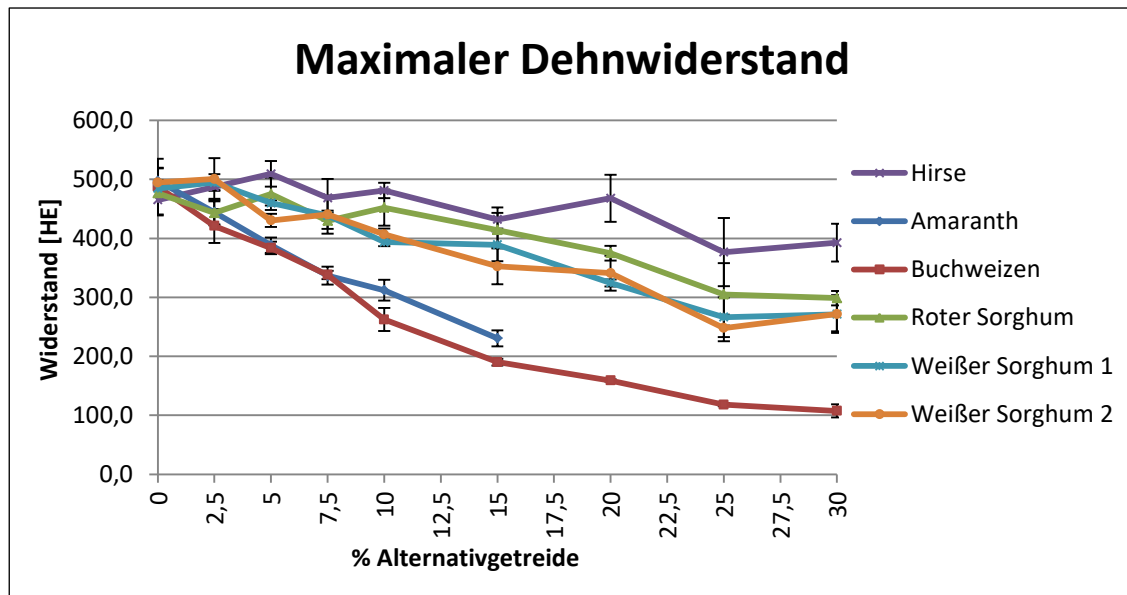


Abb. 20 - Maximaler Dehnwiderstand aller Mehlmischungen

7. Schlussfolgerung und Ausblick

Anhand der gewonnenen Daten und herangezogenen Literatur zeigte sich, dass durch das Beimischen von Alternativgetreide die rheologischen Eigenschaften maßgeblich verändert werden können. Somit stellt diese Methode eine Möglichkeit dar, die Handhabbarkeit der Weizenteige, besonders für die industrielle Produktion, wieder auf das gewohnte Niveau bzw. vielleicht sogar noch näher an das Ideal zu bringen bzw. in die gewünschte Richtung zu lenken.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse hinsichtlich der chemischen Analysen im Großteil ähnlich zu den gefundenen Literaturwerten waren. Besonders auffällig bei den chemischen Merkmalen war, dass Amaranth und auch Weizen sich hinsichtlich des Protein-, Fett- und Aschegehalts signifikant von allen anderen Versuchsproben und auch voneinander unterscheiden haben.

Ein Vergleich der sekundären Pflanzenstoffe mit wissenschaftlichen Artikeln war nur in wenigen Fällen möglich, da häufig andere Methoden, welche Ergebnisse in anderen Einheiten zur Folge hatten, verwendet wurden.

Auch die rheologischen Eigenschaften konnten kaum mit Vergleichswerten abgeglichen werden, da wenig veröffentlichte Literatur zu diesem Themengebiet gefunden wurde. Allerdings spiegelte sich die Einzigartigkeit von Amaranth hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung auch bei den physikalischen Messgrößen und den rheologischen Eigenschaften, besonders den Extensographversuchen, wider. Anzumerken gilt noch einmal, dass Amaranth als einziges Mehl selbst im Technikum der Universität zu Mehl gemahlen wurde, wohingegen alle anderen Proben schon gemahlen von verschiedenen Firmen bezogen wurden. Ob und inwieweit sich die von den anderen Proben abweichenden Ergebnisse von Amaranth auf diesen Umstand zurückführen lassen oder typisch für Amaranth sind, müsste in weiteren Analysen untersucht werden.

Interessante zukünftige Forschungsfragen könnten sein, inwiefern sich ein Zusammenhang zwischen der Mehlszusammensetzung (Fett-, Protein-, Stärke- und Aschegehalt) und den rheologischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Stabilität, Teigerweichung und Dehnbarkeit, herstellen lässt. Aufgrund der geringen Datenmenge konnte diese Fragestellung jedoch nicht in dieser Arbeit behandelt werden.

Die Idee des Beimischens von Mehlen aus alternativen Körnerfrüchten zu klassischen Weizenteigen kam aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen, deren Einfluss auf die chemische Zusammensetzung und den damit verbundenen Herausforderungen in der industriellen Verarbeitung zustande. Im Zuge dieser Masterarbeit wurde eine Reihe von Versuchen durchgeführt. Anhand der dabei erhaltenen Daten kann ungefähr vorausgesagt werden, wie sich Teige durch die Beimischung alternativer Körnerfrüchte voraussichtlich verändern.

Basierend auf den mit dem Haubelt Flourgraph E6 gewonnenen Daten, lässt sich sagen, dass die Wasseraufnahme bei einer Beimischung bei fast allen alternativen Körnerfrüchten gesunken ist. Eine Ausnahme davon stellten Buchweizen, hier blieb die Wasseraufnahme über den gesamten Versuchsbereich (bis 30 %) annähernd konstant, und Amaranth, bei welchem die Wasseraufnahme bei einer Erhöhung des Anteils in der Mischung zunahm, dar.

Ab 10 bzw. 15 % kam es bei allen untersuchten Sorghumsorten und Hirse zu einer drastischen Verkürzung der Teigentwicklungszeit. Bei Amaranth und Buchweizen hingegen kam es zu einer langsamen, aber kontinuierlichen Abnahme der Entwicklungszeit.

Ein Beimischungsgrad von 10 % Hirse und 15 % Sorghum (sortenunabhängig) führte zu einem Anstieg der Teigstabilität, bevor bei einer weiteren Erhöhung des Mischungsanteils die Stabilität wieder abnahm. Wurden jedoch Amaranth oder Buchweizen zu Weizenmehl hinzugemischt, war ersichtlich, dass die Stabilität schon bei kleinen Mengen stark nachließ. Infolgedessen nahm auch der Erweichungsgrad mit einer Erhöhung des Anteils dieser beiden Mehle in den Mischungen kontinuierlich zu.

Der grundsätzliche Trend beim Erweichungsgrad 12 Minuten nach dem Maximum zeigte, dass dieser bei rotem und den beiden weißen Sorghumsorten bei 15 und 20 % Anteil in der Mehlmischung geringer wurde, bevor dieser bei einer weiteren Erhöhung dieser Mehle in den Mischungen wieder anstieg. Fällt zukünftig die Entscheidung auf Hirsemehl als Mischungskomponente, so wird der Erweichungsgrad bis 15 % konstant bleiben, bei höheren Konzentrationen ist allerdings zu berücksichtigen, dass dieser ansteigt.

Ein Überblick über die mit dem Haubelt Flourgraph E7 ermittelten Versuchswerte zeigte, dass es bei einer Erhöhung des Mischungsanteils von Mehl alternativer Körnerfrüchte tendenziell zu einer Abnahme der Teigenergie kam.

Die Beimischung von Sorghum (rotem und weißem) schien, zumindest in dieser Arbeit, keinen Einfluss auf den Dehnwiderstand bei einer Extension von 50 mm zu haben. Während es bei Hirse ab 20 % zu einem höheren Dehnwiderstand kam, bewirkten Amaranth und Buchweizen erneut das Gegenteil, denn bei diesen beiden Weizenalternativen kam es zu einer kontinuierlichen Abnahme des Dehnwiderstands mit einer Erhöhung des Anteils dieser in der Mehlmischung.

Wird zukünftig entschieden einem Weizenteig Hirse, roten oder weißen Sorghum zuzumischen, so ist zu bedenken, dass die Dehnlänge bzw. Dehnbarkeit abnimmt. Bei Zugabe von Amaranth nahm diese zwar auch ab, blieb aber im Bereich von 7,5 bis 15 % konstant. Eine Beimischung von Buchweizen hatte bis 25 % keinen Einfluss auf die Dehnlänge, danach ist sie allerdings gesunken.

Beim maximalen Dehnwiderstand gilt zu berücksichtigen, dass eine Zugabe von Amaranth- und Buchweizenmehl einen deutlichen Rückgang mit sich brachte. Wurde jedoch Hirse bzw. roter Sorghum in den Mehlmischungen verwendet, so blieb der maximale Dehnwiderstand bis ca. 10 % annähernd konstant und sank bei weiterer Erhöhung jedoch ab. Der maximale Dehnwiderstand bei den beiden hier untersuchten weißen Sorghumsorten ließ ab 5 bzw. 7,5 % Anteil in der Mehlmischung nach.

All diese hier angeführten Beobachtungen basieren ausschließlich auf den in dieser Arbeit gewonnen Daten. Diese teigverändernden Eigenschaften müssten bei weiterführenden Versuchen berücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Zugabe von Mehlen alternativer Körnerfrüchte zu Weizenteigen die rheologischen Eigenschaften zum Teil massiv beeinflusst. Diese Tatsache gilt es bei der Teigherstellung zu berücksichtigen. Die Höhe des prozentualen Anteils von Alternativgetreide ist neben einer Vielzahl anderer Faktoren auch davon abhängig, welche Weizenalternative zum Einsatz kommt und um welches Produkt bzw. welche Rezeptur es sich handelt.

8. Literaturverzeichnis

Zeitschrift:

ABDELHALIM, T. S.; N. M. KAMAL und A. B. HASSAN (2019): Nutritional potential of wild sorghum: Grain quality of Sudanese wild sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L. Moench). Food Sci Nutr 7, 1529-1539.

AFIFY, A. E.-M. M. R.; H. S. EL-BELTAGI; S. M. ABD EL-SALAM und A. A. OMRAN (2012): Effect of Soaking, Cooking, Germination and Fermentation Processing on Proximate Analysis and Mineral Content of Three White Sorghum Varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench). Not Bot Horti Agrobo 40, 92-98.

AHMED, A.; N. KHALID; A. AHMAD; N. ABBASI; M. LATIF und M. RANDHAWA (2014): Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: A review. Journal of Agricultural Science 152, 349-369.

AL-RABADI, G. J.; P. J. TORLEY; B. A. WILLIAMS; W. L. BRYDEN und M. J. GIDLEY (2012): Particle size heterogeneity in milled barley and sorghum grains: Effects on physico-chemical properties and starch digestibility. Journal of Cereal Science 56, 396-403.

ALVAREZ-JUBETE, L.; E. K. ARENDT und E. GALLAGHER (2009): Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. International Journal of Food Sciences and Nutrition 60, 240-257.

ANDERSON, R. A.; H. F. CONWAY und A. J. PEPLINSKI (1970): Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. Die Stärke 22, 130-135.

BANERJI, A.; L. ANANTHANARAYAN und S. LELE (2017): Rheological and nutritional studies of amaranth enriched wheat *chapatti* (Indian flat bread). J Food Process Preserv 42, 1-8.

BEIKZADEH, S.; S. SHOJAEI-ALIABADI; E. DADKHODAZADE; Z. SHEIDAEI; A. ABEDI; L. MIRMOGHATAIE und M. SEYEDE HOSSEINI (2019): Comparison of Properties of Breads Enriched with Omega-3 Oil Encapsulated in β -Glucan and *Saccharomyces cerevisiae* Yeast Cells. Appl Food Biotechnol 7, 11-20.

BERNARDO, C. O.; J. L. RAMÍREZ ASCHERI; C. W. PILER CARVALHO; D. W. HIDALGO CHÁVEZ; I. B. ARAÚJO MARTINS; R. DELIZA; D. DE GRANDI CASTRO FREITAS und V. A. VIEIRA QUEIROZ (2019): Impact of extruded sorghum genotypes on the rehydration and sensory properties of soluble beverages and the Brazilian consumers' perception of sorghum and cereal beverage using word association. Journal of Cereal Science 89, 1-9.

BONAFACCIA, G.; R. ACQUISTUCCI und Z. LUTHAR (1994): Proximate chemical composition and protein characterization of the buckwheat cultivated in Italy. Fagopyrum 14, 43-48.

- BONAFACCIA, G. und I. KREFT (1994): Technological and qualitative characteristics of food products made with buckwheat. *Fagopyrum* 14, 35-42.
- BORA, P.; S. RAGAEI und M. MARCONE (2019): Characterisation of several types of millets as functional food ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 70, 714-724.
- BOUDRIES, N.; N. BELHANECHÉ; B. NADJEMI; C. DEROANNE; M. MATHLOUTHI; B. ROGER und M. SINDIC (2009): Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydrate Polymers* 78, 475-480.
- CHAUHAN, A.; D. C. SAXENA und S. SINGH (2016): Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture* 2, 1-8.
- CHÁVEZ-SERVÍN, J. L.; H. F. CABRERA-BAEZA; E. A. JIMÉNEZ UGALDE; A. MERCADO-LUNA; K. de la TORRE-CARBOT; K. ESCOBAR-GARCÍA; A. A. BARREYRO; J. SERRANO-ARELLANO und T. GARCÍA-GASCA (2017): Comparison of chemical composition and growth of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) between greenhouse and open field systems. *Int. J. Agric. Biol.* 19, 577-583.
- CHUCK-HERNÁNDEZ, C.; S. O. SERNA-SALDÍVAR und S. GARCÍA-LARA (2013): Susceptibility of different types of sorghums during storage to *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Journal of Stored Products Research* 54, 34-40.
- DAS, S.; R. KHOUND; M. SANTRA und D. K. SANTRA (2019): Beyond Bird Feed: Proso Millet for Human Health and Environment. *Agriculture* 9, 1-19.
- DE LA HERA, E.; M. GOMEZ und C. M. ROSELL (2013): Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. *Carbohydrate Polymers* 98, 421-427.
- DZIADEK, K.; A. KOPEĆ; E. PASTUCHA; E. PIATKOWSKA; T. LESZCZYŃSKA; E. PISULEWSKA; R. WITKOWICZ und R. FRANCIK (2016): Basic chemical composition and bioactive compounds content in selected cultivars of buckwheat whole seeds, dehulled seeds and hulls. *Journal of Cereal Science* 69, 1-8.
- EBURUCHE, O. B.; R. N. ATTAUGWU; H. E. UFONDU und P. O. UVERE (2019): Composition and hardness of malting red and white kaffir sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] dried under the sun. *J Food Sci Technol* 56, 3513-3523.
- ESPINOSA-RAMÍREZ, J. und S. O. SERNA-SALDÍVAR (2016): Functionality and characterization of kafirin-rich protein extracts from different whole and decorticated sorghum genotypes. *Journal of Cereal Science* 70, 57-65.
- EWART, J. A. D. (1967): Amino acid analyses of cereal flour proteins. *J Sci Food Agric* 18, 548-552.

FAO (2002): Food energy – methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition paper 77.

GABROVSKÁ, D.; V. FIEDLEROVÁ; M. HOLASOVÁ; E. MAŠKOVÁ; H. SMRČINOV; J. RYSOVÁ; R. WINTEROVÁ; A. MICHALOVÁ und M. HUTAŘ (2002): The nutritional evaluation of underutilized cereals and buckwheat. Food and Nutrition Bulletin 23, 246-249.

GAVURNÍKOVÁ, S.; M. HAVRLETOVÁ; L'. MENDEL; I. ČIČOVÁ; M. BIELIKOVÁ und J. KRAIC (2011): Parameters of wheat flour, dough, and bread fortified by buckwheat and millet flours. Agriculture 57, 144-153.

GROBELNIK MLAKAR, S.; M. BAVEC; M. TURINEK und F. BAVEC (2009): Rheological Properties of Dough Made from Grain Amaranth-Cereal Composite Flours Based on Wheat and Spelt. Czech J. Food Sci. 27, 309-319.

GUARDIANELLI, L. M.; M. V. SALINAS und M. C. PUPPO (2019): Chemical and thermal properties of flours from germinated amaranth seeds. Journal of Food Measurement and Characterization 13, 1078-1088.

KONG, X.; J. BAO und H. CORKE (2009): Physical properties of *Amaranthus* starch. Food chem 113, 371-376.

KRAUJUTIENĖ, I. und D. GAILEVIČIENĖ (2017): Influence of various flour used for production of yeast wheat bund and cupcakes. Annals. Food Science and Technology 18, 65-69.

KUMAR, S.; M. SADIQ und A. ANAL (2020): Comparative study of physicochemical and functional properties of pan and microwave cooked underutilized millets (proso and little). LWT-Food Science and Technology 128, 1-8.

LLOPART, E. E. und S. R. DRAGO (2016): Physicochemical properties of sorghum and technological aptitude for popping. Nutritional changes after popping. LWT-Food Science and Technology 71, 316-322.

MAHAJAN; H. und M. GUPTA (2015): Nutritional, functional and rheological properties of processed sorghum and ragi grains. Cogent Food & Agriculture 1, 1-9.

MARIOTTI, F.; D. TOMÉ und P. MIRAND (2008): Converting Nitrogen into Protein – Beyond 6.25 and Jones' Factors. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 48, 177-184.

MARSTON, K.; H. KHOURYIEH und F. ARAMOUNI (2016): Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. LWT-Food Science and Technology 65, 637-644.

MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; E. PEÑAS und B. HERNÁNDEZ-LEDESMA (2020): Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the

development of gluten-free foods. Food and Chemical Toxicology 137, 1-26.

MATTILA, P.; S. MÄKINEN; M. EUROLA; T. JALAVA; J.-M. PIHLAVA; J. HELLSTRÖM und A. PIHLANTO (2018): Nutritional Value of Commercial Protein-Rich Plant Products. Plant Foods Hum Nutr 73, 108-115.

MIRANDA-RAMOS, K. C.; N. SANZ-PONCE und C. M. HAROS (2019): Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. LWT-Food Science and Technology 114, 1-8.

MOTLHAODI, T.; T. BRYNGELSSON; S. CHITE; M. FATIH; R. ORTIZ und M. GELETA (2018): Nutritional variation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] accessions from southern Africa revealed by protein and mineral composition. Journal of Cereal Science 83, 123-129.

MOUNJOUENPOU, P.; R. PONKA; S. N. N. NGOGO EYENGA; A. TCHUISSEU; E. EHABE und R. NDOJOUENKEU (2020): Physico-chemical and nutritional characterization of cereals brans enriched breads. Scientific African 7, 1-10.

NATHAKATTUR SARAVANABAVAN, S.; M. MANCHANAHALLY SHIVANNA und S. BHATTACHARYA (2011): Effect of popping on sorghum starch digestibility and predicted glycemic index. J Food Sci Technol 50, 387-392.

NIETO-MAZZOCCO, E.; A. SALDAÑA-ROBLES; E. FRANCO-ROBLES; A. K. RANGEL-CONTRERAS; A. CERÓN-GARCÍA und C. OZUNA (2019): Optimization of sorghum, rice, and amaranth flour levels in the development of gluten-free bakery products using response surface methodology. J Food Process Preserv 44, 1-9.

ÖZER, M. S.; O. KOLA und H. DURAN (2010): Effects of buckwheat flour combining phospholipase or DATEM on dough properties. J Food Agric Environ 8, 13-16.

OHIMAIN, E. I. (2015): Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread. Eur Food Res Technol 240, 257-271.

OVSIAANNIKOVA, L.; L. VALEVSKAYA; V. YURKOVSKA; S. ORLOVA und O. SOKOLOVSKAYA (2019): New aspects of using millet grain in bread manufacturing. Food Science and technology 13, 66-73.

OZYIGIT, E.; İ. EREN; S. KUMCUOGLU und S. TAVMAN (2020): Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS) analysis of gluten-free cake batters: The effect of dietary fiber enrichment. Journal of Food Engineering 275, 1-13.

PRZYBYLSKA-BALCEREK, A.; J. FRANKOWSKI und K. STUPER-SZABLEWSKA (2019): Bioactive compounds in sorghum. Eur Food Res Technol 245, 1075-1080.

RAO, B. D.; M. ANIS; K. KALPANA; K. V. SUNOOJ; J. V. PATIL und T. GANESH (2016): Influence of milling methods and particle size on hydration properties of sorghum flour and quality of sorghum biscuits. LWT-Food Science and Technology 67, 8-13.

REYES, M. F.; J. L. CHÁVEZ-SEVERÍN; C. GONZÁLEZ-CORIA; A. MERCADO-LUNA; K. de la TORRE CARBOT; A. AGUILERA-BARREYRO; R. FERRIZ-MARTÍNEZ; J. SERRANO-ARELLANO und T. GARCÍA-GASCA (2018): Comparative Account of Phenolics, Antioxidant Capacity, α -Tocopherol and Anti-nutritional Factors of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Grown in the Greenhouse and Open Field. *Int. J. Agric. Biol.* 20, 2428-2436.

ROBIN, F.; C. THÉODULOZ und S. SRICHUWONG (2015): Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *Int J Food Sci Technol* 50, 2152-2159.

ROCHETTI, G.; G. GIUBERTI; M. BUSCONI; A. MAROCCO; M. TREVISAN und L. LUCINI (2020): Pigmented sorghum polyphenols as potential inhibitors of starch digestibility: An in vitro study combining starch digestion and untargeted metabolomics. *Food Chem* 312, 1-8.

SAHA, S.; A. GUPTA; S. R. K. SINGH; N. BHARTI; K. P. SINGH; V. MAHAJAN und H. S. GUPTA (2011): Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. *LWT-Food Science and Technology* 44, 616-621.

SHEN, R.; Y. MA; L. JIANG; J. DONG; Y. ZHU und G. REN (2018): Chemical composition, antioxidant, and antiproliferative activities of nine Chinese proso millet varieties. *Food and Agricultural Immunology* 29, 625-637.

SIMWAKA, J. E.; M. V. M. CHAMBA; Z. HUIMING; K. G. MASAMBA und Y. LUO (2017): Effect of fermentation on physicochemical and antinutritional factors of complementary foods from millet, sorghum, pumpkin and amaranth seed flours. *IFRJ* 24, 1869-1879.

SINDHUJA, A.; M. L. SUDHA und A. RAHIM (2005): Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. *Eur Food Res Technol* 221, 597-601.

SIWATCH, M.; R. B. YADAV und B. S. YADAV (2019): Chemical, physiochemical, pasting and microstructural properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) flour as affected by different processing treatments. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 11, 3-13.

SRINIVASAN, A.; S. P. EKAMBARAM; S. S. PERUMAL; J. ARULDHAS und T. ERUSAPPAN (2019): Chemical characterization and immunostimulatory activity of phenolic acid bound arabinoxylans derived from foxtail and barnyard millets. *J Food Biochem* 44, 1-9.

TIEN, N. N. T.; L. N. D. TRINH; N. INOUE; N. MORITA und P. V. HUNG (2018): Nutritional composition, bioactive compounds, and diabetic enzyme inhibition capacity of three varieties of buckwheat in Japan. *Cereal Chem* 95, 615-624.

- TORBICA, A.; K. M. BLAŽEK; M. BELOVIĆ und E. J. HAJNAL (2019): Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology. *Journal of Cereal Science* 89, 1-8.
- TYL, C.; A. MARTI; J. HAYEK; J. ANDERSON und B. P. ISMAIL (2017): Effect of growing location and variety on nutritional and functional properties of proso millet (*Panicum miliaceum*) grown as a double crop. *Cereal Chem* 95, 288-301.
- VÁSQUEZ, F.; S. VERDÚ; A. R. ISALS; J. M. BARAT und R. GRAU (2016): Effect of low degrees of substitution in wheat flour with sorghum, oat or corn flours on physicochemical properties of composite flours. *Cogent Food & Agriculture* 2, 1-12.
- VITALI, D; D. AMIDŽIĆ KIARIĆ und I. V. DRAGOJEVIĆ (2010): Nutritional and Functional Properties of Certain Gluten-Free Raw Materials. *Czech J. Food Sci.* 28, 495-505.
- VOJTÍŠKOVÁ, P.; P. ŠVEC; V. KUBÁŇ; E. KREJZOVÁ; M. BITTOVÁ; S. KRÁČMAR und B. SVOBODOVÁ (2014): Chemical composition of buckwheat plant parts and selected buckwheat products. *Potravinárstvo* 8, 247-253.
- WIJNGAARD, H. H. und E. K. ARENDT (2006): Buckwheat. *Cereal Chem* 83, 391-401.
- WU, K.; R. GAN; S. DAI; Y.-Z. CAI; H. CORKE und F. ZHU (2016): Buckwheat and Millet Affect Thermal, Rheological, and Gelling Properties of Wheat Flour. *Journal of Food Science* 81, 627-636.
- YOUSIF, A.; D. NHEPERA und S. JOHNSON (2012): Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chem* 134, 880-887.
- YU, D.; J. CHEN; J. MA; H. SUN; Y. YUAN; Q. JU; Y. TENG; M. YANG; W. LI; K. FUJITA; E. TATSUMI und G. LUAN (2018): Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour. *LWT-Food Science and Technology* 92, 220-226.
- ZHU, F. (2016): Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry* 203, 231-245.

Buch:

- MATISSEK, R.; M. FISCHER und G. STEINER (2018): *Lebensmittelanalytik*. 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Deutschland. ISBN: 978-3-662-55722-8.

Bericht:

DIE REPUBLIK ÖSTERREICH, VERTRETEN DURCH DIE BUNDESMINISTERIN FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (Hrsg.) (2018): Grüner Bericht 2018, Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Paul Gerin GmbH & Co KG, Wien. 59. Auflage. Online unter: <https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/send/2-gr-bericht-terreich/1899-gb2018>, 28.01.2021.

Sammelwerk:

ARE, A. K.; R. K. SRIVASTAVA; G. MAHALINGAM; S. GORTHY; A. GADDAMEEDI; A. KUNAPAREDDY; A. KOTLA und J. JAGANATHAN: Application of Plant Breeding and Genomics for Improved Sorghum and Pearl Millet Grain Nutritional Quality. Hrsgb: J. R.N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 51-68.

BEAN, S. R.; L. ZHU; B. M. SMITH; J. D. WILSON; B. P. IOERGER und M. TILLEY: Starch and Protein Chemistry and Functional Properties. Hrsgb: J. R. N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 131-170.

BETA, T. und V. U. NDOLO: Postharvest Technologies. Hrsgb: J. R. N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 69-84.

BOBKOV, S.: Biochemical and Technological Properties of Buckwheat Grains. Hrsgb: M. ZHOU; I. KREFT; S.-H. WOO; N. CHRUNGGOO; G. WIESLANDER, Elsevier Inc., USA. ISBN: 978-0-12-803692-1 (2016) 423-429.

CHISI, M. und G. PETERSON: Breeding and Agronomy. Hrsgb: J. R. N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 23-50.

PEREZ-REA, D. und R. ANTEZANA-GOMEZ: The Functionality of Pseudocereal Starches. Hrsgb: M. SJÖÖ; L. NILSSON, Elsevier Ltd., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-08-100896-6 (2018) 531-536.

REYES-MORENO, C.; E.-O. CUEVAS-RODRÍGUEZ und P.-C. REYES-FERNÁNDEZ: Amaranth. In: Whole Grains. Processing, Product Development, and Nutritional Aspects. Hrsgb: S. Mir; A. Manickavasagan; M. Shah, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton. ISBN: 978-0-8153-8242-3 (2019).

SERNA-SALDIVAR, S. O. und J. ESPINOSA-RAMÍREZ: Grain Structure and Grain Chemical Composition. Hrsgb: J. R. N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 85-129.

SHEWRY, P.: The Major Seed Storage Proteins of Spelt Wheat, Sorghum, Millets and Pseudocereals. Hrsgb: P. BELTON; J. TAYLOR, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 3-540-42939-5 (2002) 16-20.

SYTAR, O.; W. BIEL; I. SMETANSKA und M. BRESTIC: Bioactive Compounds and Their Biofunctional Properties of Different Buckwheat Germplasms for Food Processing. Hrsgb: M. ZHOU; I. KREFT; G. SUVOROVA; Y. TANG; S. H. WOO, Elsevier Inc., USA. ISBN: 978-0-12-811006-5 (2018) 191-198.

TAYLOR, J. R. N.: Sorghum and Millets: Taxonomy, History, Distribution and Production. Hrsgb: J. R. N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 1-21.

TAYLOR, J. R. N. und J. KRUGER: Sorghum and Millets: Food and Beverage Nutritional Attributes. Hrsgb: J. R. N. TAYLOR; K. G. DUODO, Elsevier Inc., Vereinigtes Königreich. ISBN: 978-0-12-811527-5 (2019) 171-224.

Diplomarbeit/Dissertation:

HORAK, C.: Untersuchung qualitätsbestimmender Parameter in Hafer und anderen Getreidearten. Diplomarbeit an der Universität Wien, Wien (2012).

SPITALER, U.: Quantitative Analyse des Anthocyan- und Phenolgehaltes von Weizen (*Triticum aestivum* L.) mittels UV/Vis-Spektroskopie und HPTLC. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien (2016).

TRAUGOTT, K. S.: Optimierung der Mälzbedingungen von Hafer, Quinoa und Amaranth. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien (2015).

Arbeitsanweisung:

HUMER, S. (2010): FRAP Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay according to Benzie and Strain (1999), SOP 1-26.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (2012): ICC STANDARD No. 179.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (2012): ICC STANDARD No. 180.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (1994): ICC STANDARD No. 105/2.

MEGAZYME (2011): Total Starch, Assay Procedure, K-TSTA 07/11.

Internetquelle:

RUDOLPH, E. (2018): Österreicher sind Brotesser. Online unter: <https://www.forum-ernaehrung.at/artikel/detail/news/detail/News/oesterreicher-sind-brotesser/>, 29.05.2020.

Lebenslauf

M O N I K A W I E S B Ö C K

geboren am 26. Mai 1996 in Wien

österreichische Staatsbürgerschaft



AUSBILDUNG

Jän. 2019 – laufend	Universität für Bodenkultur Wien Masterstudium Lebensmittelwissenschaften und -technologie
Okt. 2014 – Dez. 2018	Universität für Bodenkultur Wien Bachelorstudium Lebensmittel- und Biotechnologie Bachelorarbeit am Institut für Lebensmittelwissenschaften, <i>Assoziationen zwischen Grundgeschmacksrichtungen und Altersgruppen</i> , Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Klaus Dürschmid
Jun. 2014	BG BRG Purkersdorf Matura, naturwissenschaftlicher Zweig

BERUFSERFAHRUNG

Sept. 2019	Fleischwaren Berger Ges.m.b.H & Co KG , Praktikantin im Qualitätslabor
Aug. 2019	Richard Dietrich KG – Vorarlberger Kostbarkeiten , Feriapraktikantin
Jul. 2018	Wirtschaftskammer Österreich (WKÖ) , Praktikantin im Fachverband der Nahrungs- und Genussmittelindustrie
Feb. 2018 - laufend	Universität für Bodenkultur , Tutorin der LV „Angewandte Qualitätsmanagement Übungen“
Jul. 2017	TANN (SPAR Österreichische Warenhandels-AG) , Praktikantin in der Abteilung Wurstverpackung
Sept. 2016	AGES – Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit , Praktikantin in der Abteilung „Lebensmittel“
Sept. 2015	Universität für Bodenkultur , Praktikantin am Institut für Lebensmitteltechnologie
Jul. 2013, 2014, 2016	Stadtgemeinde Pressbaum , Praktikantin in der Finanzabteilung
Jul. 2012	IMS Höllinger gmbh , Praktikantin