

Entwicklung eines optimierten Mälzungsverfahrens im Hinblick auf die Malzqualität, Reduzierung der Mälzungsdauer und Einsparungen von Produktionskosten

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Christian Müller
aus Essen

von der Fakultät III - Prozesswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. Stephan Drusch

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank-Jürgen Methner

Gutachter: Prof. Dr. Dirk Selmar

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Fritz Jacob

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 17. August 2015

Berlin 2015

FÜR MEIKE UND MEINE FAMILIE

Danksagung

Die Forschungsarbeiten wurden zwischen 2010 und 2014 am Fachgebiet Brauwesen der Technischen Universität Berlin durchgeführt und entstanden in Teilen im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt AiF 16299 N, das im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (via AiF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI) gefördert wurde.

An erster Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Frank-Jürgen Methner für das entgegengebrachte Vertrauen, die Bereitstellung und die Betreuung meiner Promotion bedanken. Seine Idee altgediente Mälzungsparameter hinsichtlich der Verarbeitung aktueller Braugerstensorten zu überprüfen, führten zum Thema dieser Arbeit. Er hat von Beginn an den Fortgang der Promotion aufmerksam begleitet und stand stets als kooperativer und anregender Gesprächspartner zur Verfügung.

Auch bei den Herren Prof. Dirk Selmar und Prof. Dr.-Ing. Fritz Jacob bedanke ich mich sehr für die Übernahme der weiteren Gutachterposten.

Besonders danken möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Thomas Kunz und seinen Mitarbeitern des Labors am Fachgebiet Brauwesen für konstruktive Gespräche und begleitende Analysen.

Des Weiteren gebührt besonderer Dank Dipl.-Ing. Philip Wietstock, Dipl.-Ing. Fabian Götz und Dipl.-Ing. Oliver Meinhold für anregende Gespräche, konstruktive Vorschläge und ihre astreine Hilfe bei der praktischen Durchführung von Experimenten. Sie haben maßgeblich zur Realisierung der vorliegenden Dissertation beigetragen.

Außerdem möchte ich mich beim ganzen Team des Fachgebietes Brauwesen der Technischen Universität Berlin und etlichen Mitarbeitern der Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin e. V. für die angenehme Arbeitsatmosphäre herzlich bedanken.

Herr Prof. Dirk Selmar und sein Assistent Dr. Maik Kleinwächter standen mir als Kooperationspartner im oben genannten Forschungsprojekt stets für Rückfragen pflanzenbiologischer Art zur Verfügung, wofür ich mich ebenfalls herzlich bedanken möchte.

Im Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Marc Hovestädt für die überaus hilfreichen fachlichen Anregungen bedanken.

Darüber hinaus danke ich meiner Meike, meinen Eltern Christa und Erwin, sowie deren Partnern Maria und Raymund und meinem Bruder Tobias außerordentlich dafür, dass sie mich mein gesamtes Studium und während meiner Promotion auf jede erdenkliche Weise ermutigt und unterstützt haben.

Kurzreferat

Letzte systematische Untersuchungen der Mälzereitechnologie stammen aus den 80er Jahre, obwohl die Vermälzungseigenschaften der heutigen Braugersten durch intensive Züchtung in den letzten Jahrzehnten optimiert wurden. Die gezielte Züchtung führte zu gesteigerten amylolytischen, zytolytischen und proteolytischen Enzymaktivitäten, und damit zu verbesserten Lösungseigenschaften. Demnach ist davon auszugehen, dass diese einen direkten, positiven Einfluss auf den gesamten Mälzungsprozess haben.

Das Ziel dieser Arbeit war es, ein Mälzungsverfahren für aktuelle Braugerstensorten zu entwickeln, um die Mälzungsdauer und die Produktionskosten, unter Berücksichtigung einer optimalen Malzqualität zu senken.

Zunächst mussten die entscheidenden Einflussparameter der einzelnen Prozessschritte im Hinblick auf die optimale Malzqualität separat untersucht werden.

Für den Prozessschritt des Weichens wurde eine Weichtemperatur von 20 - 25 °C, eine erste Nassweiche von 5 - 6 Stunden, eine ausgedehnte Luftrast von mindestens 17 Stunden und eine möglichst kurze zweite Nassweiche von maximal 1,5 Stunden festgelegt. Bei Anwendung dieser Parameterbereiche konnte die schnellste und homogenste Ankeimung der untersuchten Braugersten beobachtet werden, die zu der höchsten zytolytischen Modifikation und Homogenität des Malzes führte.

Bei Erhöhung der Keimtemperatur von 16 °C auf bis zu 24 °C konnte die Keimzeit um etwa 24 Stunden / 4 °C verkürzt werden, wobei eine nach MEBAK-Spezifikationen adäquate Malzqualität erzielt wurde, ohne den Mälzungsschwand zu erhöhen. Die optimale Keimtemperatur im Hinblick auf die resultierende Malzqualität betrug 20 °C.

Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass niedrige Schwelktemperaturen von 30 - 37,5 °C, gegenüber in der Mälzerei üblichen 50 - 65 °C, ebenfalls zu einer erheblich gesteigerten zytolytischen Modifikation des Malzes führen.

Mit Erhöhung der Keim- und Verringerung der Schwelktemperaturen konnte zudem eine zu weit fortgeschrittene Eiweißlösung im Malz vermieden werden.

Die für eine hohe Malzqualität und Homogenität separat optimierten Mälzungsparameter wurden in einem neuen Mälzungsverfahren zusammengeführt, das anschließend weiterentwickelt wurde.

Letztendlich konnten dabei aus vier aktuellen Braugerstensorten Malze mit einer nach den MEBAK-Spezifikationen angemessenen Qualität innerhalb von fünf Tagen produziert werden. Außerdem wurde gegenüber einem siebentägigen, simulierten Industrieverfahren, das als Referenzmälzung diente, eine vergleichbare Malzqualität bei reduziertem oder vergleichbarem Mälzungsschwand erzielt.

Nachteilig waren lediglich leicht verringerte Extraktgehalte im fertigen Malz aufgrund geringerer α - und β -Amylaseaktivitäten und minimal höherer pH-Werte in den Kongresswürzen.

Positiv hervorzuheben sind vor allem eine höhere Zytolyse sowie Homogenität und eine verringerte und damit für die Verarbeitbarkeit in der Brauerei optimale Proteolyse. Dementsprechend geringere Gehalte peptidseitiger Vorläufer für Maillard-Reaktionen sowie ein reduzierter thermischer Einfluss beim Darren führten zu helleren Kochfarben in den Kongresswürzen, was wiederum auf eine Verbesserung der oxidativen Geschmacksstabilität im späteren Bier schließen lässt.

Hinsichtlich der Verarbeitbarkeit der Malze konnte ein negativer Einfluss der „optimierten Mälzung“ auf das PYF-Verhalten, die DON-Bildung, das Gushingpotenzial und das Läuterarbeit ausgeschlossen werden.

Niedrigere DMS-P-Gehalte im Malz implizierten ein Energieeinsparpotenzial sowohl für die Mälzerei- als auch für die Brauereiindustrie. Außerdem konnte auf Basis des simulierten Industrieverfahrens eine Kostenreduktion von bis zu 4,9 €/t Malz bzw. durchschnittlich 1,2 €/t ermittelt werden. Diese Kostenreduktion ergab sich durch einen etwas geringeren Mälzungsschwand und durch einen um ca. 11 % geringeren Strombedarf, für die Belüftung und die Kälteerzeugung beim Keimen.

Schlussendlich kam das „optimierte Mälzungsverfahren“ im Vergleich zur Referenzmälzung mit fast zwei Tagen weniger aus. Dabei konnte eine höhere Malzqualität, ohne Erhöhung des Mälzungsschwandes, erzielt werden.

Abstract

Malting technology has not been systematically investigated since the eighties although the malting properties of spring barley cultivars have been steadily improved by intensive breeding efforts since then.

Selective breeding led to increased amylolytic, cytolytic and proteolytic enzyme activities which in turn result in a higher modification of malt. It can therefore be assumed, that the improved malting abilities of current barley cultivars should have an influence on the whole malting process.

The present work deals with determining a malting program which is adapted to the properties of modern barley cultivars in terms of a reduction of both malting time and production costs without a significant sacrifice of its quality for brewing.

For this, the most important malting parameters of the three malting steps steeping, germination and kilning were examined and optimized separately.

For steeping, the fastest and most homogenous start of germination, resulting in the highest cytolytic modification and homogeneity in final malt, was gained with steeping temperatures between 20 - 25 °C, maintaining the first wet steep for 5 - 6 hours and

the air rest for at least 17 hours. Furthermore, the second wet steep must not exceed 1.5 hours.

An optimal germination temperature of 20 °C was identified with regard to the resulting malt quality, especially the cytolytic modification. When increasing the germination temperature from 16 °C to 24 °C, a germination time reduction of one day per 4 °C could be detected.

In addition, applying comparably low withering temperatures of 30 - 37.5 °C instead of commonly applied 50 - 60 °C led to a significant improvement of the cytolytic modification of the final malt.

Furthermore, increasing the germination and decreasing the withering temperature could avoid an excessively extensive proteolytic modification.

Taking a high malt quality and homogeneity as well as a good processability into account, the individually optimized malting parameters were united into one malting procedure which was subsequently developed further.

Four current spring barley cultivars were malted and a satisfactory malt quality according to the MEBAK-specifications could be achieved within five production days.

In addition, the “optimized five-day malting procedure” was compared to a seven-day reference malting procedure, originating from an industrial malting plant. The malt produced from the four barley cultivars were comparable in terms of malt quality and malting losses.

The only adverse effects of the accelerated malting procedure on the final malt quality was seen in marginally lower extracts caused by lower α - and β -amylase activities and slightly lower pH values in the congress worts.

Clear advantages were identified concerning a higher cytolytic modification and homogeneity of the final malts, combined with a reduced and, therefore, better proteolytic modification with regard to the processability in the brewery. Accordingly, less amino acids which serve as precursors for the Maillard reaction, combined with a reduced thermal impact during kilning, led to lower malt colours which imply an improved oxidative stability of final beer.

Furthermore, decreased formation of DMS-P may lead to economical advantages for the malting- as well as brewing industry. In spite of higher energy consumption for a prolonged kilning process, approx. 11 % less electrical energy requirement was calculated for the “optimized malting procedure” due to the reduction of the germination period by two days.

Compared to the reference industry procedure, the optimized malting procedure presented several distinctive advantages. In summary, it can be stated that the malt which was produced according to the newly developed procedure yielded improved analytical values for key quality indicators without increasing the malting losses, even though the overall malting procedure was shortened by nearly two days.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1. Einleitung.....	1
2. Separate Optimierung einzelner Mälzungsparameter.....	4
2.1 Weichen	4
2.1.1 Untersuchungen zum Einfluss erhöhter Weichtemperaturen.....	4
2.1.2 Untersuchungen zum Einfluss der Lufrastdauer	9
2.1.3 Untersuchungen zum Einfluss der Nassweichdauer	12
2.2 Keimen	16
2.2.1 Untersuchungen zum Einfluss erhöhter Keimtemperaturen	16
2.3 Darren	20
2.3.1 Untersuchungen zum Einfluss niedriger Schwelktemperaturen.....	21
3. Das „optimierte Mälzungsverfahren“	26
3.1 Zusammenführung der optimierten Mälzungsparameter	26
3.2 Weiterentwicklung des „optimierten Mälzungsverfahrens“	27
3.3 Ergebnisse.....	28
3.3.1 Ankeimung	28
3.3.2 Malzanalysen	29
3.3.3 Laborläutertest	32
3.3.4 Mikrobiologischer Status	33
3.3.5 Mälzungsschwand	35
4. Diskussion	37
4.1 Weichen	37
4.2 Keimen	41
4.3 Darren	45
4.4 Betrachtung des „optimierten Mälzungsverfahrens“.....	48
4.4.1 Reduzierung der Mälzungsdauer.....	48
4.4.2 Betrachtung der Malzqualität	50
4.4.3 Verringerung des Mälzungsschwandes und der Energiekosten	60
4.4.4 Umsetzbarkeit des „optimierten Mälzungsverfahrens“ im Industriemaßstab ..	62
4.4.5 Ausblick.....	64
4.5 Überblick über die Zusammenhänge zwischen den separat optimierten Mälzungsparametern und dem „optimierten Mälzungsverfahren“	65
5. Zusammenfassung	67
6. Literaturverzeichnis	69

7. Anhang.....	77
7.1 Grundlegende Veröffentlichungen dieser Arbeit.....	77
7.1.1 The influence of elevated steeping temperatures on the resulting malt homogeneity and malt quality (2013).....	78
7.1.2 The influence of elevated germination temperatures on the resulting malt quality and malting losses (2014)	88
7.1.3 Variation of the steeping regime for optimising the cytolytic modification using an accelerated malting procedure (2014).....	97
7.1.4 The influence of the withering temperature on the resulting proteolytic and cytolytic modification of pale malt (2014)	105
7.1.5 An accelerated malting procedure - Influences on the malt quality, homogeneity and malting losses (2015)	114
7.2 Sonstige Veröffentlichungen	127
7.2.1 Sonstige Publikationen	127
7.2.2 Sonstige Vorträge	127
7.2.3 Poster.....	127
7.3 Malzanalysedaten zur Untersuchung zum Einfluss der Luftrastdauer (s. Kap. 2.1.2).....	129
7.4 Eidesstattliche Erklärung.....	130

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
abzgl.	abzüglich
AP's	antimikrobielle Peptide
BKL	Blattkeimlänge
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d. h.	das heißt
DON	Deoxynivalenol
etc.	et cetera
FYR	Floating Yeast Ratio
Ind.	Industriemälzungsverfahren
inkl.	inklusive
Kap.	Kapitel
KT	Keimtag
LTP1	lipid-transfer-protein 1
lösl. N.	löslicher Stickstoff
LR	Luftrast
MCT	modifizierter Carlsberg-Test (Gushing-Test)
n. a.	nicht analysiert
n. n.	nicht nachweisbar
NW	Nassweiche
opt.	optimiert
Prop.	Propino
%-P.	Prozentpunkte
PYF	Premature Yeast Flocculation
s.	siehe
Scar.	Scarlett
Tab.	Tabelle
TBZ	Thiobarbitursäurezahl
Trs.	Trockensubstanz
u. a.	unter anderem
WG	Weichgrad
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der zugrundeliegenden Vorgehensweise in dieser Arbeit bei der Entwicklung eines „optimierten Mälzungsverfahrens“: 1. separate Optimierung einzelner Mälzungsparameter, 2. Vereinigung der optimierten Parameter zu einem Mälzungsverfahren und dessen Weiterentwicklung im Hinblick auf die Malzqualität, Reduzierung der Mälzungsdauer und Einsparungen von Produktionskosten.	3
Abbildung 2: Variation der Weichtemperatur - Bewertung des Ankeimverhaltens durch Auszählen der Anteile gespitzter und gegabelter Körner 24 und 48 h nach dem Einweichen. ⁶⁵	6
Abbildung 3: Variation der Weichtemperatur - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts). ⁶⁵	7
Abbildung 4: Variation der Weichtemperatur - Homogenitäten nach Carlsberg (links) und der Homogenitäten der Blattkeimlänge (rechts). ⁶⁵	8
Abbildung 5: Variation der Luftrastdauer - Keimenergien am 1. - 3. Keimtag.....	11
Abbildung 6: Variation der Luftrastdauer - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts).....	12
Abbildung 7: Variation der Nassweichzeiten - Erzielte Weichgrade nach der Luftrast und am 1. Keimtag. ⁶⁷	14
Abbildung 8: Variation der Nassweichzeiten - Keimenergien nach der Luftrast und am 1. Keimtag. ⁶⁷	15
Abbildung 9: Variation der Nassweichzeiten - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts). ⁶⁷	15
Abbildung 10: Variation der Keimtemperatur - Mälzungsschwand der zwischen 16 °C und 28 °C gekeimten Malzproben, die nach 2 bis 5 Keimtagen gedarrt wurden. ⁶⁶	18
Abbildung 11: Variation der Keimtemperatur - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts) nach 2 bis 5 Keimtagen. ⁶⁶	19
Abbildung 12: Variation der Keimtemperatur - Kolbachzahlen (links) und FAN-Gehalte (rechts) nach 2 bis 5 Keimtagen. ⁶⁶	20
Abbildung 13: Variation der Schwelktemperatur - Mürbigkeiten (links) und Modifikation nach Carlsberg (rechts) (Mittelwerte der oberen und unteren Schicht). ⁶⁸	23
Abbildung 14: Variation der Schwelktemperatur - β -Glukangehalte (links) und β -Glukanasenaktivitäten (rechts) (Mittelwerte der oberen und unteren Schicht). ⁶⁸ ...	24
Abbildung 15: Variation der Schwelktemperatur - Kolbachzahlen (links) und Kochfarben (rechts) (Mittelwert der oberen und unteren Schicht). ⁶⁸	24
Abbildung 16: Variation der Schwelktemperatur - Vergleich der Schwelkzeiten. ⁶⁸	25

Abbildung 17: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Bewertung des Ankeimverhaltens durch Auszählen der Anteile gespitzter und gegabelter Körner 23 h (Marthe) und 18 h (andere Braugersten) nach dem Einweichen. ⁶⁹	29
Abbildung 18: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Untersuchung des Ablaufverhaltens der in der 2. und 3. Versuchsreihe produzierten Malze mittels Laborläutertest. ⁶⁹	33
Abbildung 19: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - DON-Gehalte der in der 3. Versuchsreihe produzierten Malze. ⁶⁹	34
Abbildung 20: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - PYF-Potenzial der in der 3. Versuchsreihe produzierten Malze. ⁶⁹	35
Abbildung 21: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Vergleich des Mälzungsschwandes. ⁶⁹	36
Abbildung 22: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Kostenvergleich anhand des Mälzungsschwandes und des Bedarfes an elektrischer Energie. ⁶⁹	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variation der Weichtemperatur - Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Weichtemperatur. ⁶⁵	7
Tabelle 2: Variation der Luftrast - Weich- und Keimdauer	10
Tabelle 3: Programme des MEBAK-Klein- ⁶³ , des Industrie- und des „optimierten Mälzungsverfahrens“	27
Tabelle 4: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Vergleich der Malzanalysen zwischen der 3. Versuchsreihe des „optimierten Mälzungsverfahrens“ und der Referenzmälzung (Industrieverfahren). ⁶⁹	30
Tabelle 5: Variation der Keimtemperatur - Korrektur des Extraktunterschiedes zwischen der Referenztemperatur von 16 °C und 20 °C bzw. 24 °C durch Einbeziehung des Endvergärungsgrades und des löslichen Stickstoffgehaltes.	43
Tabelle 6: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Korrektur der Extraktunterschiede zwischen den Proben des simulierten Industrieverfahrens und dem „optimierten Mälzungsverfahren 3“ durch Einbeziehung des Endvergärungsgrades und des löslichen Stickstoffgehaltes.	51
Tabelle 7: Zusammenfassung der wichtigsten Einflüsse der separat optimierten Einzelparameter und Vor- und Nachteile der finalen Version des „optimierten Mälzungsverfahrens“ gegenüber der Referenzmälzung.	66

1. Einleitung

Die Herstellung von Bier stellt das älteste biotechnologische Verfahren dar, bei dem Getreidestärke enzymatisch aufgeschlossen und der dabei entstehende Zucker durch Hefe zu Alkohol und Kohlendioxid vergoren wird. Nach dem deutschen Reinheitsgebot darf nur Malz als Stärkequelle dienen. Mälzen bedeutet eine bewusst initiierte und kontrollierte Keimung von Getreide, mit dem Ziel einer höchstmöglichen Bildung von spezifischen Enzymen. Diese werden während des Brauprozesses benötigt, um höher molekulare Malzinhaltsstoffe, wie Eiweiß und Stärke, in Aminosäuren und Malzzucker umzuwandeln. Vermälzt werden kann jegliches Getreide, wobei in Deutschland hauptsächlich Gerste verwendet wird.

Der Mälzungsprozess kann in drei Hauptschritte unterteilt werden: Weichen, Keimen und Darren. Das 1 - 2-tägige Weichen des Getreides besteht aus mehreren Nass- und Trockenphasen, auch Luftrasten genannt, und initiiert den Keimvorgang. Im Anschluss daran lässt man das Getreide unter kontrollierten Bedingungen 5 - 7 Tage lang keimen. Der dritte Schritt wird als Darren bezeichnet und bedeutet einen 1 - 2-tägigen Trocknungsprozess, der die Keimung beendet und dem Haltbarmachen des leicht verderblichen Grünmalzes dient. Das Darren wird weiter in zwei Schritte unterteilt, dem Schwelken mit niedrigeren Temperaturen zwischen 50 °C und 65 °C zur enzymeschonenden Vortrocknung und dem Abdarren zur Erzielung des Endwassergehaltes sowie der Bildung von Farb- und Aromastoffen.

Zur Freilegung des stärkehaltigen Endosperms wird bei der Keimung ein Großteil der Zellwände, die vor allem aus Proteinen (Proteolyse) und Hemizellulose (Zytolyse) bestehen, abgebaut, um einen reibungslosen Brauprozess zu gewährleisten. Zytolytisch schlecht gelöste Malze oder Malze mit hohen Anteilen an nicht gekeimten Körnern führen zu hohen Konzentrationen an hochmolekularen β -Glukanen in Würze und Bier, wodurch es zu Läuter- und Filtrationsschwierigkeiten kommen kann. Dadurch erhöhen sich die Produktionskosten in der Brauerei.^{2, 24, 83}

Zur Kosteneinsparung und Kapazitätserhöhung wird in der modernen Brauerei mit kurzen Maisch- und Würzekochverfahren gearbeitet, was Malze hoher Qualität erfordert. Aufgrund dessen sind Mälzereien gezwungen, hochgelöste Malze zu produzieren. Die Produktion solcher Qualitätsmalze führt jedoch bei Einhaltung der in der einschlägigen Literatur empfohlenen Mälzungsparameter zu hohen Produktionskosten und einer ausgedehnten Mälzungsdauer. Hier zu erwähnen ist beispielsweise die Belüftung, die der Sauerstoffversorgung und der Temperierung des Weich- und Keimgutes auf 12 - 17 °C dient. Ein hoher Energiebedarf resultiert dabei

aus dem Stromverbrauch der Ventilatoren und der Kälteanlage und steigt mit der Keimdauer.^{51, 71, 74, 84, 90, 108, 110, 123}

Durch die Ölkrise in den siebziger Jahren sind die Energiekosten enorm gestiegen. Dadurch waren die Technologen in den Mälzereien gezwungen ihr Energiemanagement zu überdenken. Neben der Optimierung der Anlagentechnik wurden diverse Möglichkeiten zur Verkürzung des Mälzungsprozesses untersucht, wie beispielsweise der Einsatz des Wachstumshormons Gibberellinsäure, welcher nach dem deutschen Reinheitsgebot jedoch nicht zugelassen ist. Untersuchungen zum Einfluss des Weichens und Keimens bei höheren Temperaturen als 17° C zeigten eine schnellere Ankeimung der Gerste.^{29, 58, 91, 95, 108}

Dennoch wurde in allen publizierten Untersuchungen zum Einfluss höherer Weich- und Keimtemperaturen die Malzqualität zumindest teilweise negativ beeinflusst, auf das im Späteren näher eingegangen wird. Allerdings konnte eine beschleunigte zytolytische Modifikation der wärmer geführten Malze nachgewiesen werden, was die Grundvoraussetzung für eine beschleunigte Mälzung darstellt.^{12, 72, 84, 103, 108, 110, 111, 123, 130}

Die Mälzereitechnologie wurde seit den 80er Jahren nicht mehr systematisch untersucht, obwohl die Braugersteneigenschaften durch intensive Züchtung in den letzten Jahrzehnten optimiert wurden. Dies führte nicht nur zu verbesserten agronomischen Eigenschaften, wie Ertrag und Resistenzen, sondern auch zu einer erhöhten amylolytischen, zytolytischen und proteolytischen Lösungseigenschaften der Gerste und höheren Extraktgehalten im fertigen Malz.^{19, 33, 34, 41, 62, 64, 97, 99}

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen optimalen Mälzungsprozess für moderne Braugerstensorten zu entwickeln. Konkret sollten dabei die Mälzungsdauer und die Produktionskosten, unter Berücksichtigung einer optimalen Malzqualität, gesenkt werden. Zunächst wurden die wichtigsten Einflussparameter der einzelnen Prozessschritte, wie:

- a) Weichtemperatur
- b) Dauer der Luftrast
- c) Dauer der Nassweichen
- d) Keimtemperatur
- e) Schwelktemperatur

erneut exklusiv betrachtet. Im Anschluss konnten die separat optimierten Mälzungsparameter in einem „optimierten Mälzungsverfahren“ zusammengeführt werden.

In folgender Abbildung ist die Vorgehensweise schematisch dargestellt.

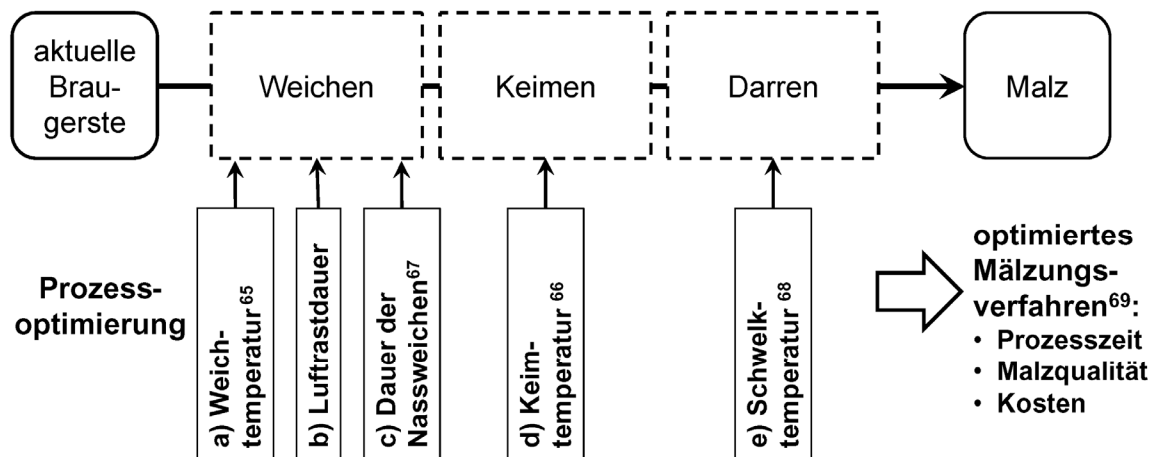


Abbildung 1: Schematische Darstellung der zugrundeliegenden Vorgehensweise in dieser Arbeit bei der Entwicklung eines „optimierten Mälzungsverfahrens“:

1. separate Optimierung einzelner Mälzungsparameter,
2. Vereinigung der optimierten Parameter zu einem Mälzungsverfahren und dessen Weiterentwicklung im Hinblick auf die Malzqualität, Reduzierung der Mälzungsdauer und Einsparungen von Produktionskosten.

Die bedeutendsten Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsreihen wurden in einschlägigen Fachzeitschriften publiziert^{65, 66, 67, 68, 69}.

2. Separate Optimierung einzelner Mälzungsparameter

2.1 Weichen

Das Weichen, der erste Schritt des Mälzungsprozesses, dient der Wasseraufnahme des Getreides und damit der Initiierung der Keimung. Der Weichprozess gilt als kritischster Mälzungsschritt. Der nachfolgende Keimungsprozess und damit die resultierende Malzqualität werden entscheidend beeinflusst. Insbesondere die Homogenität der Ankeimung innerhalb einer Malzcharge ist von großer Bedeutung, da ein inhomogener Keimungsverlauf im weiteren Mälzungsprozess kaum noch ausgeglichen werden kann.^{1, 5, 39, 40}

Die Ankeimung beginnt ab einem Wassergehalt von etwa 30 %. Üblicherweise liegt nach dem Weichen der Wassergehalt des Getreides, der im Fachjargon auch „Weichgrad“ genannt wird, bei 38 - 40 %.¹⁰⁷

Der heutige Weichprozess besteht aus zwei, seltener auch drei Nassweichphasen, in denen das Getreide unter Wasser gesetzt wird. In den dazwischen liegenden Luftrasten wird das vom Korn gebildete Kohlendioxid kontinuierlich oder periodisch aus dem Weichgut abgesaugt. Die wichtigsten technologischen Weichparameter im Hinblick auf eine schnelle Wasseraufnahme, einer homogenen Ankeimung und einem optimalen Keimungsverlauf sind:

- die Weichtemperatur^{51, 71, 74, 90},
- das Weichprogramm¹³⁴, also die Dauer der Nassweichen und Luftrast(en),
- die Belüftung während der Nassweichen und Luftrasten^{29, 120, 125}.

Weitere Einflussfaktoren sind die Gerstensorte, das Erntejahr, die Korngröße, der Eiweißgehalt und die Wasserempfindlichkeit der Gerste.^{11, 16, 17}

2.1.1 Untersuchungen zum Einfluss erhöhter Weichtemperaturen

Einleitung

Die Temperatur des Weichwassers beeinflusst entscheidend die Wasseraufnahmerate des Getreides und ist ein wichtiger Weichparameter. Im Zeitraum zwischen 1960 und 1980 wurden zahlreiche Untersuchungen über den Einfluss der Weichtemperatur veröffentlicht, anhand deren Ergebnisse sich Mälzereien bis heute orientieren. Der damals empfohlene optimale Temperaturbereich lag zwischen 12° C und 17° C und ist heute noch in einschlägiger Fachliteratur zu finden. Es heißt, dass bei Einhaltung dieser Temperaturen zytolytisch hoch gelöste Malze mit hohen Extrakt-⁶³, und Enzymgehalten sowie einer ausgewogenen proteolytischen Lösung produziert werden können.^{51, 71, 74, 90}

Nach Gastl³⁴ ist die optimale proteolytische Lösung eine „Gratwanderung zwischen ausreichender Hefeernährung und der Gewährleistung der Schaumstabilität“ im fertigen Bier.

Aufgrund einer beschleunigten Wasseraufnahme und Ankeimung bei höheren Weichtemperaturen wurden zahlreiche Untersuchungen zur Verkürzung des Mälzungsprozesses veröffentlicht.^{11, 12, 40, 76, 95, 108, 118}

Die nachgewiesenen negativen Einflüsse höherer Weichtemperaturen zwischen 21 °C und 30 °C auf die Malzqualität führten dazu, dass sich ein Weichen bei höheren Temperaturen bisher nicht durchgesetzt hat. Unter anderem resultierten aus der Anwendung hoher Weichtemperaturen niedrigere Extraktgehalte, geringere Enzymaktivitäten und/oder ein schlechteres Ablaufverhalten der Kongressmaische, als Maß für Läuter- und Filtrationsschwierigkeiten in der Brauerei.

Zusammenfassung der eigenen Veröffentlichung

“The influence of elevated steeping temperatures on the resulting malt homogeneity and quality” (2013)⁶⁵

In den früheren, vor 25 - 60 Jahren durchgeführten Untersuchungen wurden sehr lange Nassweichzeiten mit kurzen Luftrasten kombiniert bzw. Nassweichverfahren ohne Luftrast angewendet, was nach heutigen Kenntnissen zu erhöhtem Stress der ankeimenden Gerste führt und die Ankeimung hemmt (s. auch Kap. 2.1.2).^{75, 84}

Seitdem verbesserten sich die Braugersteneigenschaften, wie in Kapitel 1 beschrieben, im Hinblick auf die Vermälzungseigenschaften durch konstante Züchtung erheblich.^{19, 33, 41, 62, 64, 97, 99}

Aufgrund dessen und der veralteten Weichprogramme früherer Untersuchungen sollte der Einfluss der Weichtemperatur erneut überprüft werden. Dazu wurden Weichversuche mit zwei aktuellen zweizeiligen Sommerbraugersten, Marthe (Ernte 2010) und Tipple (Ernte 2010), bei 15 - 35 °C durchgeführt. Die Nassweichzeiten wurden so gewählt, dass nach dem Weichen annähernd gleiche Weichgrade erreicht werden konnten. Alle weiteren Keimungs- (5 Tage, 15 °C, Weichgrad 45 %) und Darrparameter (18 h 50 °C, 5 h 80 °C) waren konstant, um ausschließlich den Einfluss der Weichtemperatur beurteilen zu können.

Ergebnisse

Die in der Abbildung 2 dargestellten Keimenergien wurden 24 und 48 h nach dem Einweichen, durch Auszählen der prozentualen Anteile gespitzter und gegabelter Körner, bestimmt. Es konnte eine schnellere und homogenere Ankeimung bei höheren

Weichtemperaturen bis zu 25 °C gegenüber der Referenztemperatur von 15 °C aufgezeigt werden.

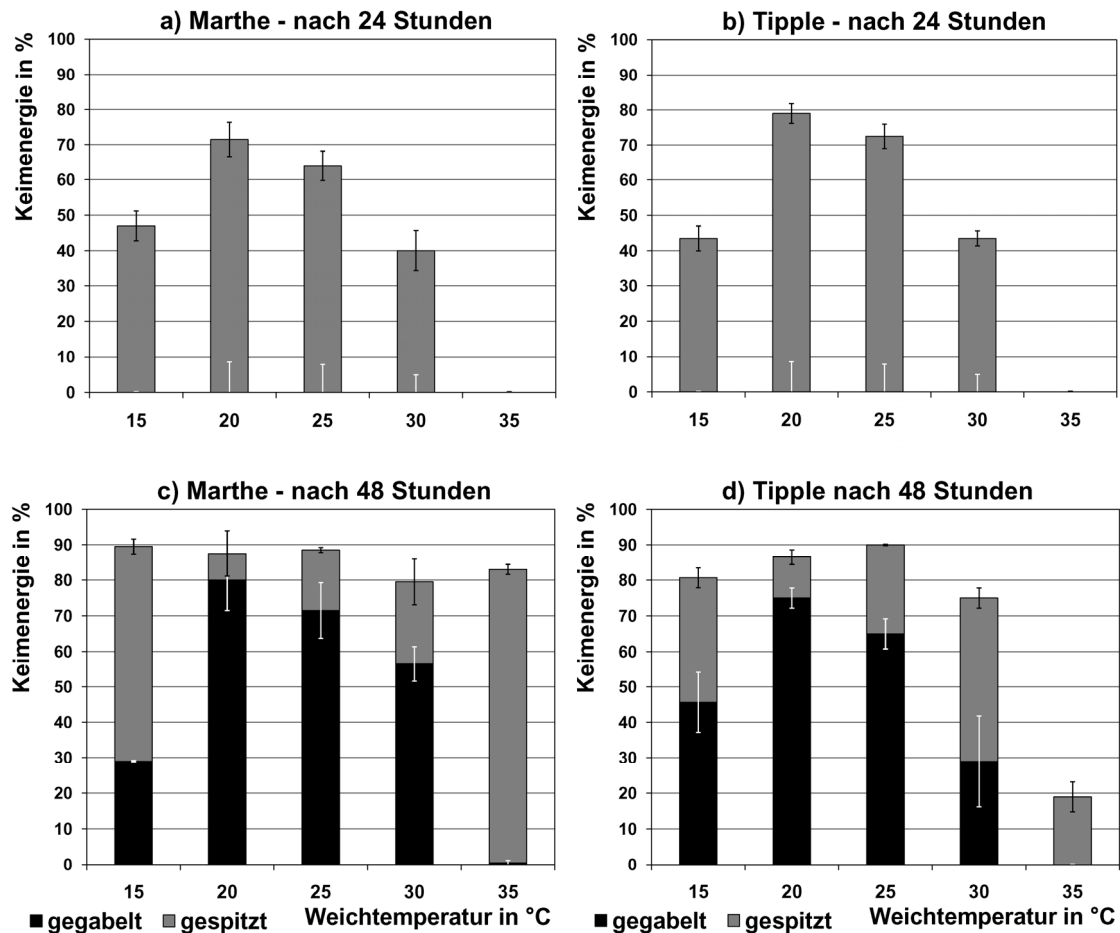


Abbildung 2: Variation der Weichtemperatur - Bewertung des Ankeimverhaltens durch Auszählen der Anteile gespitzter und gegabelter Körner 24 und 48 h nach dem Einweichen.⁶⁵
(Standardabweichung der Doppelbestimmung)

Die schnellere Ankeimung führte bis zu einer Weichtemperatur von 25 °C, bzw. für die meisten untersuchten Parameter sogar bis 30 °C, zu einer deutlich verbesserten Malzqualität im Vergleich zur Referenztemperatur von 15 °C. Die optimale Weichtemperatur lag zwischen 20 °C und 25 °C. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst.

Tabelle 1: Variation der Weichtemperatur - Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Weichtemperatur.⁶⁵

Braugerste	Marthe		Tipple	
	optimaler Temperaturbereich	vorteilhaft gegenüber 15 °C	optimaler Temperaturbereich	vorteilhaft gegenüber 15 °C
Ankeimung	20 – 25 °C	bis 30 °C	20 - 25 °C	bis 25 °C
Malzqualität (generell)	~ 25 °C	bis 35 °C	20 - 25 °C	bis 30 °C
α - und β -Amylase	20 °C	bis 20 °C	20 °C	bis 20 °C
zytolytische Modifikation	20 - 25 °C	bis 35 °C	20 - 25 °C	bis 30 °C
Homogenität (Carlsberg)	20 - 25 °C	bis 30 °C	20 - 25 °C	bis 30 °C
Homogenität (Blattkeimlänge)	20 - 30 °C	bis 35 °C	20 - 25 °C	bis 30 °C
Ablaufzeit (MEBAK)	20 - 35 °C	20 - 35 °C	20 °C	bis 30 °C
Laborläutertest	25 °C	bis 25 °C	20 °C	bis 25 °C

Besonders auffällig war die erheblich beschleunigte Zytolyse bei der Anwendung von Weichtemperaturen bis zu 30 °C für die Gerstensorte Tipple und sogar bis zu 35 °C für die Sorte Marthe. Zur besseren Veranschaulichung sind in Abbildung 3 die Ergebnisse der Malzanalyseparameter Mürbigkeit⁶³ und β -Glukangehalt⁶³ grafisch gegenübergestellt.

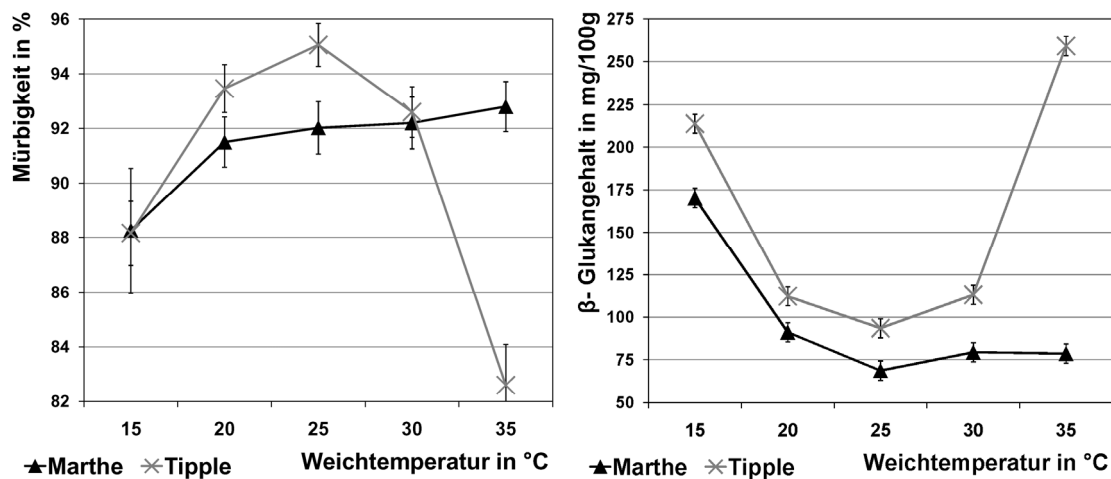


Abbildung 3: Variation der Weichtemperatur - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts).⁶⁵
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63})

Beim Vergleich der Referenztemperatur von 15 °C und dem Bereich zwischen 20 °C und 25 °C konnte eine Erhöhung der Mürbigkeit um etwa 4 - 7 Prozentpunkte und eine Verringerung des β -Glukangehaltes um etwa 100 - 120 mg/100 g Malz aufgezeigt werden.

In Analogie dazu war die Homogenität nach Carlsberg⁶³ um etwa 15 - 23 Prozentpunkte und die Homogenität der Blattkeimlänge⁶³ um etwa 8 Prozentpunkte gesteigert (s. Abb. 4). Diese enorme Verbesserung der Homogenität lässt Rückschlüsse auf eine gleichmäßigere Zytolyse zu, die aufgrund der schnelleren Ankeimung ebenfalls erheblich erhöht wurde. Die deutliche Steigerung der Homogenität der Blattkeimlänge bestätigt die schnellere und gleichmäßigere Ankeimung bei Weichtemperaturen zwischen 20 - 25 °C gegenüber 15 °C (s. Abb. 2).

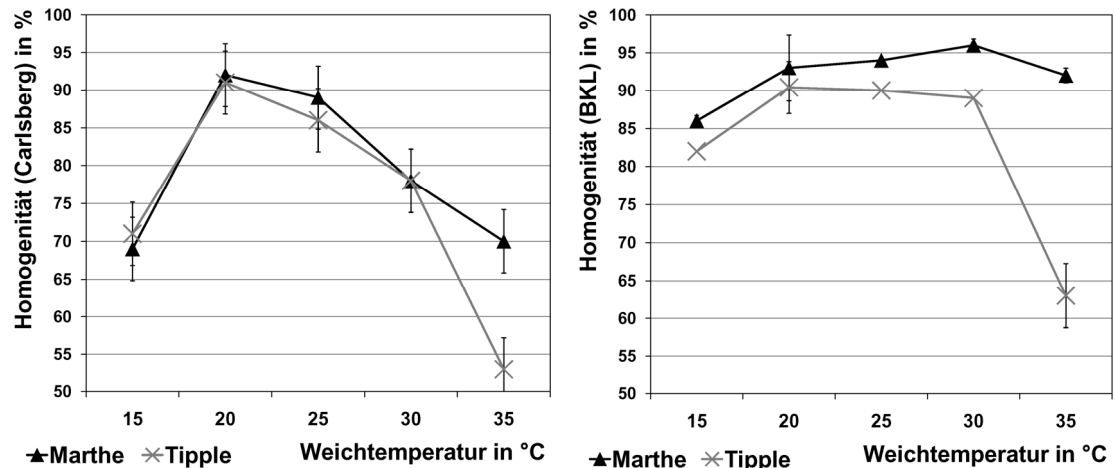


Abbildung 4: Variation der Weichtemperatur - Homogenitäten nach Carlsberg (links) und der Homogenitäten der Blattkeimlänge (rechts).⁶⁵
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63} , bzw. der Doppelbestimmung bei der Blattkeimlänge)

Zusammenfassend konnte anhand der Ergebnisse nachgewiesen werden, dass der in der Literatur empfohlene Temperaturbereich von 12 - 17 °C für die heutigen Braugerstensorten nicht unbedingt gültig ist, bzw. dass die in den letzten Jahrzehnten deutlich verbesserten Vermälzungseigenschaften ein Weichen bei höheren Temperaturen bis 30 °C ohne Nachteile ermöglichen. Die in früheren Untersuchungen nachgewiesenen negativen Einflüsse höherer Weichtemperaturen wie niedrigere Extraktgehalte, geringere Enzymaktivitäten oder ein schlechteres Ablaufverhalten beim Läutern bestätigten sich nicht. Höhere Weichtemperaturen als 30 °C sollten dennoch vermieden werden, da die Ankeimraten beider Gerstensorten bei einer Weichtemperatur von 35 °C deutlich verringert waren und für die untersuchte Braugerstensorte Tipple eine deutlich verringerte zytolytische Modifikation und Homogenität aufgezeigt wurde (s. Abb. 3 und 4).

Die schnellste Ankeimung und die höchste Malzqualität konnte für die untersuchten Braugerstensorten im Bereich zwischen 20 °C und 25 °C erreicht werden. Die in diesem Bereich hervorgerufene Steigerung der Zytolyse und Homogenität eröffnet ein Potenzial für eine mögliche Keimzeitverkürzung.

2.1.2 Untersuchungen zum Einfluss der Luftrastdauer

Einleitung

Das Weichprogramm, d. h. die Dauer der Nassweichen und der zwischenzeitlichen Luftrasten, ist ein weiterer wichtiger Einfluss während des Weichens.

Früher wurden sehr lange Nassweichen oder bis zu 48 Stunden andauernde Vollweichen durchgeführt, was nach heutigem Wissensstand zu einer Schädigung des Getreides führen kann.^{75, 84}

Von den 50er bis in die 80er Jahre gab es veröffentlichte Versuche zu Weichverfahren mit Trockenperioden, den Luftrasten, die eine Weich- bzw. Keimzeitverkürzung möglich machten. Während die Nassweichzeiten für die Wasserversorgung notwendig sind, dient die anschließende Luftrast nach Ablassen des Weichwassers als „Erholungsphase“ für das Getreide. Aufgrund der geringen Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser und der damit einhergehenden Sauerstoffunterversorgung des Getreides während der Nassweichen stellt der Zellstoffwechsel, auch bei Belüftung des Weichwassers, für einige Stunden auf Gärung um. Daher werden Alkohol und Kohlendioxid gebildet, welche die Keimung hemmen. In Untersuchungen von Wilhelmson et al.¹²⁵ stellte das Getreide bei einer Luftrasttemperatur von 20 °C etwa nach 14 - 16 Stunden den Stoffwechsel wieder auf Atmung um. Wegen der im Zuge der Ankeimung steigenden Stoffwechselaktivität sollte das entstehende Kohlendioxid, während der Luftrast aus dem Weichgut abgesaugt werden. Dadurch kann sich das Getreide während der Luftrast von der Sauerstoffunterversorgung erholen, den Stoffwechsel für die Keimung auf Atmung umstellen und nimmt während der folgenden Nassweiche wieder schneller Wasser auf.^{22, 26, 50, 59, 94, 125}

Narziß und Kieninger⁷⁵ empfahlen bereits im Jahr 1967 Luftrastzeiten von mindestens 12 - 13 Stunden, um eine gleichmäßige Ankeimung und eine ausreichende zytolytische Modifikation zu gewährleisten. Dies gilt insbesondere bei der Vermälzung von wasserempfindlichen Braugersten, bei denen ein großer Anteil der Körner durch eine zu starke Wasseraufnahme in der Ankeimung gehemmt wird.

Zusammenfassung eigener unveröffentlichter Untersuchungen

In den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Luftrastdauer erneut thematisiert. Dabei galt es zu überprüfen, wie aktuelle Braugersten auf kurze Luftrasten reagieren und ob sich durch deren Verkürzung die Mälzungsdauer verringern lässt.

Eine Veröffentlichung der Untersuchungen zur Variation der Luftrastdauer fand nicht statt, die Ergebnisse sind aber mit ausschlaggebend für die spätere Diskussion dieser Arbeit.

Material und Methoden

In der relevanten Versuchsreihe wurde der Einfluss von 7-, 11-, 15- und 19-stündigen Luftrasten im Hinblick auf die daraus resultierenden Ankeimung und Malzqualität verglichen. Dazu wurde die Sommerbraugerste Marthe (Ernte 2010, Wassergehalt 13,5 %, Eiweiß 10,5 %, Keimenergie⁶³ 98 %, Wasserempfindlichkeit⁶³ 35 %) verwendet. Für jede Luftrastvariation wurden je 1600 g Gerste im Labor bei 17 °C für 5 Stunden in 10 L-Eimern geweicht. Die Proben wurden nach jeweils 4 Stunden mittels Druckluft für 2 Minuten belüftet, um entstandenes Kohlendioxid aus dem Keimgut zu entfernen und die ankeimende Gerste mit Sauerstoff zu versorgen. Nach den Luftrasten wurden alle Proben in zwei Keimboxen aufgeteilt und in einer automatisierten Labormälzerei (Model A1-2008, Nr. 176 / 1, Schmidt-Seeger, Beilngries) unter gleichen Bedingungen weiter vermälzt. Es folgte eine zweite Nassweiche von 3 Stunden bei 17 °C mit anschließender 5-tägiger Keimung bei 16 °C und einem Weichgrad von 45 %. Dieser wurde durch Aufspritzen von Wasser am ersten und zweiten Keimtag eingestellt. Für die 7-, 11- und 15-Stunden-Proben wurde jeweils eine Box nach einer Keimzeit von 118 Stunden gedarrt und eine Box länger gekeimt, um auf die dieselbe Mälzungszeit der 19-Stunden-Probe zu kommen (s. Tab. 2). Nach der Keimung wurden alle Proben für 22 h bei 62 °C gedarrt.

Tabelle 2: Variation der Luftrast - Weich- und Keimdauer

Probe	19 h	15 h kurz	15 lang	11 h kurz	11 lang	7 h kurz	7 h lang
1. Nassweiche in h	5						
Luftrast in h	19	15	15	11	11	7	7
2. Nassweiche in h	3						
Keimdauer in h	118	118	122	118	126	118	130
Weich- und Keimzeit in h	145	141	145	137	145	133	145

Zur Beurteilung des Einflusses auf das Ankeimverhalten wurde die Keimenergie nach der ersten Nassweiche und an den ersten drei Keimtagen durch Auszählen des prozentualen Anteils gekeimter Körner bestimmt. Die fertigen Malze wurden mittels MEBAK-Methoden⁶³ in Doppelbestimmung analysiert.

Ergebnisse

Allgemein war die Ankeimung aller Gerstenproben in diesem Versuch recht langsam, was mit der geringen Belüftung während der Luftrast (alle 4 Stunden für 2 Minuten) erklärt werden kann (s. Abb. 5). Dennoch konnte eine deutlich homogenere und schnellere Ankeimung nach der 19-stündigen Luftrast nachgewiesen werden, wobei

ein von den anderen Proben abweichender Kurvenverlauf festgestellt wurde. Am ersten Keimtag war die Keimenergie der 19-Stunden-Probe bereits bis zu 8 % höher als die der anderen Proben. Im weiteren Verlauf stieg die Keimenergie der 19-Stunden-Probe weiter an, die der anderen Proben jedoch kaum, sodass der Unterschied noch größer wurde. Wahrscheinlich war die 19-stündige Luftrast für deutlich mehr wasserempfindliche Körner der Gerstenpartie (s. o Wasserempfindlichkeit 35 %) ausreichend genug, um eine während der ersten Nassweiche induzierte Keimhemmung schneller zu überwinden⁷⁵. Am dritten Keimtag stiegen die Keimenergien der 7 °C, 11 °C und 15 °C zwar wieder, erreichten aber noch nicht ganz das Niveau der 19-Stunden-Probe.

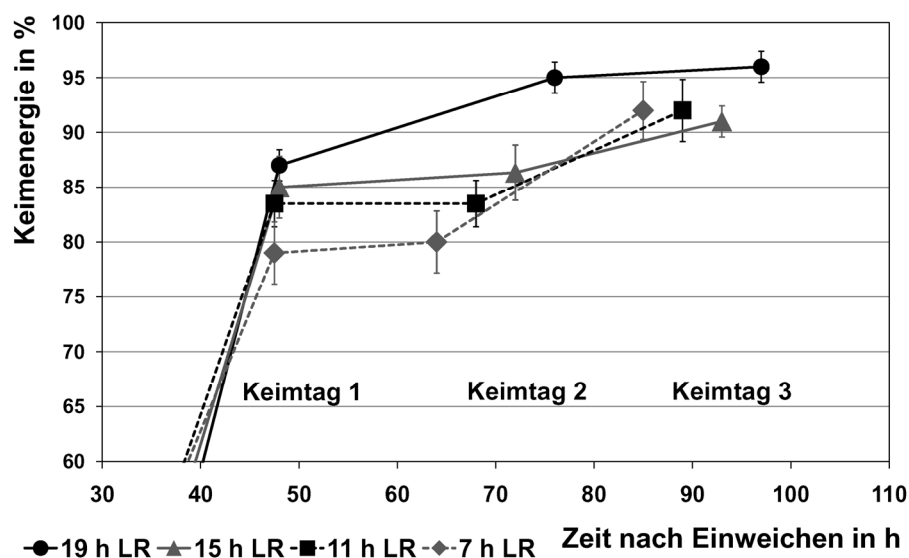


Abbildung 5: Variation der Luftrastdauer - Keimenergien am 1. - 3. Keimtag.
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63})

Analog zur schnelleren und homogenen Ankeimung führte eine längere Luftrast zu einer beschleunigten Zytolyse, was anhand von höheren Mürbigkeiten⁶³ und geringeren β -Glukangehalten⁶³ nachgewiesen werden konnte (s. Abb. 6). Kürzere Luftrasten konnten dabei nicht durch eine verlängerte Keimzeit ausgeglichen werden. Außerdem wurde die zytolytische Modifikation bei Reduzierung der Gesamtmälzungsdauer um die Verkürzung der Luftrast weiter eingeschränkt. Dabei hatte die 7 h-Probe, die ohne Keimzeitverlängerung produziert wurde, eine um 8,6 Prozentpunkte geringere Mürbigkeit und einen etwa 220 mg / 100g höheren β -Glukangehalt gegenüber dem Malz der 19-Stunden-Probe. Bei Betrachtung aller Proben konnte eine Erhöhung der β -Glukangehalte um 70 - 200 % bei Reduzierung der Mälzungsdauer bzw. um 30 - 60 % mit Kompensation der Mälzungsdauer aufgezeigt werden.

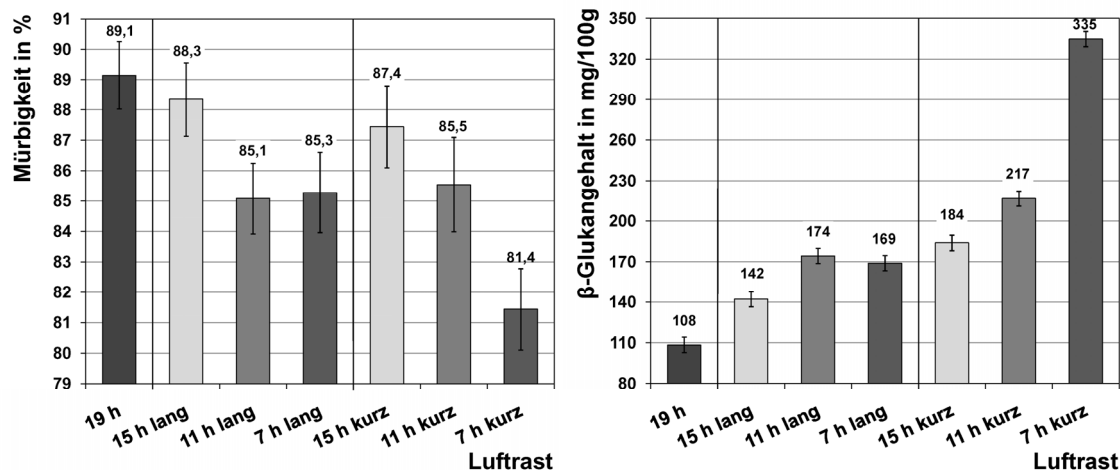


Abbildung 6: Variation der Luftrastdauer - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts).
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63})

Die Homogenität der Malze nach Carlsberg⁶³ (s. Anhang 7.3) wurde bei einer Luftrastdauer unter 15 Stunden um bis zu 5 Prozentpunkte gesenkt. Anhand weiterer Analyseparameter, wie Eiweißlösungsgrad, Extrakt, Kochfarbe⁶³ etc., konnten keine eindeutigen Einflüsse der Luftrastdauer auf die resultierende Malzqualität nachgewiesen werden.

Zusätzliche Versuchsreihen (s. Anhang 7.3) zur Variation der Luftrast bestätigten die beschriebenen Erkenntnisse, aber eine weitere Verlängerung der Luftrast auf bis zu 34 Stunden führte zu keiner weiteren Verbesserung.

Anhand der Untersuchung konnte hinsichtlich der zytolytischen Modifikation und Homogenität für diesen Versuchsaufbau eine optimale Luftrastdauer von 17 - 21 Stunden festgelegt werden.

Eine Reduzierung der Mälzungsdauer war mittels Luftrastverkürzung auch nicht mit der untersuchten aktuellen Braugerste möglich.

2.1.3 Untersuchungen zum Einfluss der Nassweichdauer

Einleitung

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist das Hauptziel des Weichens eine schnelle und gleichmäßige Wasseraufnahme, die für die Initiierung der Keimung essentiell ist. Eine heterogene Ankeimung kann im weiteren Mälzungsprozess kaum noch korrigiert werden.

Die Wasseraufnahme ist dabei hauptsächlich von der Getreideart und -sorte, der Temperatur und dem Weichprogramm abhängig.^{1, 134}

Das Weichprogramm wird neben der Luftrastdauer durch die Länge der Nassweichen festgelegt, wobei in der Regel während der ersten Nassweiche der Gerstenwassergehalt von 12 - 15 % auf über 30 % erhöht wird. Nach der zweiten Nassweiche wird die Gerste mit einem Weichgrad von etwa 38 % in den Keimkasten ausgeweicht.⁸⁴

Die Nassweichen bedeuten aufgrund der geringen Sauerstoffverfügbarkeit Stress für das Getreide (s. auch Kap. 2.1.2).^{47, 48, 125}

Dementsprechend kann die erste Nassweiche länger ausgelegt werden als die zweite, da während der ersten Nassweiche, aufgrund noch geringer Wassergehalte, Stoffwechsel und Atmung noch nicht vollständig aktiv sind.^{1, 37}

Nach Dietrich et al.²⁹ und Sims¹⁰⁷ besteht eine direkte Korrelation zwischen dem erzielten Weichgrad und der Keimaktivität, wobei eine höhere Wasseraufnahme zu einem intensiveren Wachstum und damit zu einer beschleunigten Enzymbildung und Modifikation führt.

Zusammenfassung der eigenen Veröffentlichung

“Variation of the steeping regime for optimising the cytolytic modification using an accelerated malting procedure” (2014)⁶⁷

In einer weiteren Reihe von Labor- und Kleinmälzungsversuchen⁶⁷ wurde der Einfluss der Nassweichzeiten auf die Wasseraufnahme und das Keimungsverhalten der heutzutage angebauten Sommerbraugersten Propino (Ernte 2012) und Scarlett (Ernte 2011) untersucht. Dabei sollte während der Entwicklung des „optimierten Mälzungsverfahrens“ (s. Kap. 3) ein optimales Weichprogramm für eine schnelle und homogene Ankeimung entwickelt werden.

Hierzu wurde die erste Nassweiche zwischen 2 und 8 Stunden und die zweite zwischen 1 und 2,5 Stunden variiert. Für alle Versuche wurde eine 18-stündige Luftrast eingehalten. Die anderen nicht variierten Mälzungsparameter entsprachen dem zweiten in dieser Arbeit entwickelten „optimierten Mälzungsverfahren“ (s. Tab. 3: „optimiert 2“, Kap. 3.1).

Ergebnisse

In allen Versuchsreihen konnte eine lineare Korrelation $R^2 > 0,96$ zwischen der Dauer der ersten Nassweiche von bis zu 6 Stunden und der Wasseraufnahme bzw. der Keimenergie⁶³ zum Ende der Luftrast berechnet werden. Dabei waren die Wasseraufnahmen und die Ankeimraten der beiden untersuchten Braugersten unterschiedlich schnell.

Der Weichgrad und die Ankeimrate konnten mit längeren ersten Nassweichen als 6 Stunden bzw. zweiten Nassweichen als 1,5 Stunden nicht weiter signifikant gesteigert werden.

Zudem führte eine Verlängerung der zweiten Nassweiche von einer auf 2,5 Stunden lediglich zu einer Weichgraderhöhung von unter einem Prozentpunkt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden weitere Versuche in der Labormälzerei mit anschließender Analyse der fertigen Malze durchgeführt. Hierbei wurden die Nassweichzeiten 3 h/ 2 h, 4 h/ 1 h, 5 h/ 2 h und 6 h/ 20 min (1. NW / 2. NW) verglichen. Die wichtigsten Ergebnisse im Hinblick auf die Wasseraufnahme, Ankeimung und die Malzparameter Mürbigkeit und β -Glukangehalt⁶³, welche die Zytolyse beschreiben, sind in den Abbildungen 7 - 9 dargestellt.

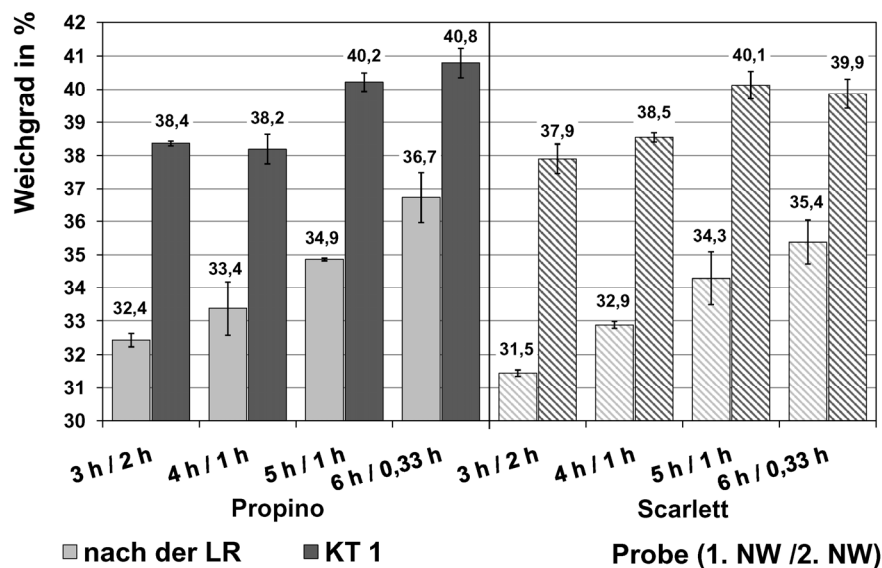


Abbildung 7: Variation der Nassweichzeiten - Erzielte Weichgrade nach der Luftrast und am 1. Keimtag.⁶⁷
(Standardabweichung der Doppelbestimmung)

Die erhöhte Wasseraufnahme bei ausgedehnteren ersten Nassweichen führte in dieser Versuchsreihe zur einer schnelleren und homogenen Ankeimung, welche durch Auszählen des prozentualen Anteils gekeimter Körner nach der Luftrast und am ersten Keimtag bewertet wurde (s. Abb. 8).

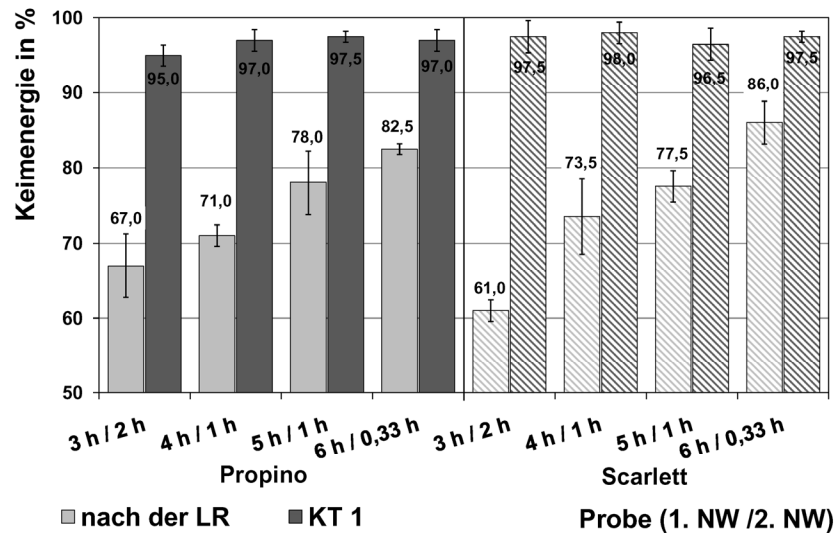


Abbildung 8: Variation der Nassweichzeiten - Keimenergien nach der Luftrost und am 1. Keimtag.⁶⁷
(Standardabweichung der Doppelbestimmung)

Die schnellere Ankeimung führte wiederum zu einer erhöhten zytolytischen Modifikation, was sich in um 1,6 - 5 Prozentpunkte gesteigerten Mürbigkeiten⁶³ und bis zu 55 mg / 100 g Malz niedrigeren β -Glukangehalten⁶³ zeigte (s. Abb. 9).

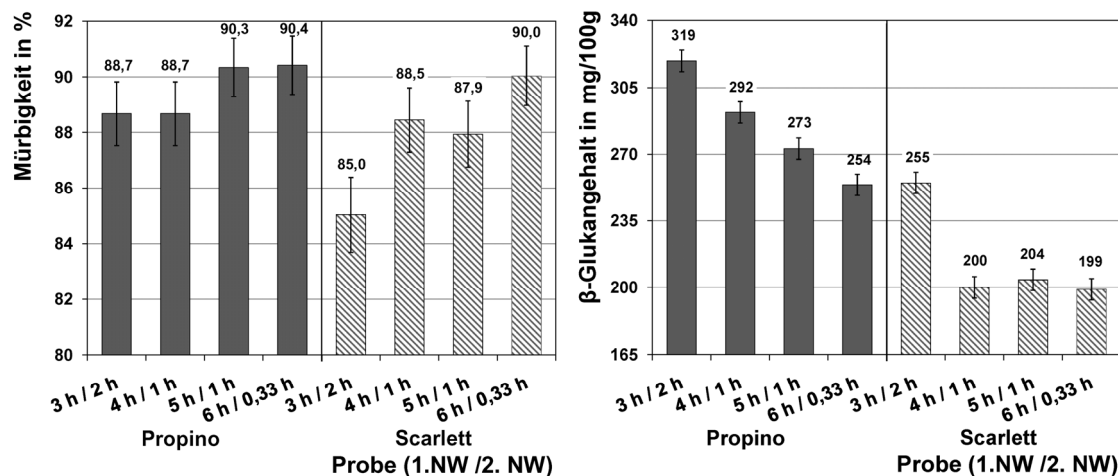


Abbildung 9: Variation der Nassweichzeiten - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts).⁶⁷
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63})

Zusammengefasst konnte für das angewendete Weichprogramm eine optimale erste Nassweiche von 5 - 6 Stunden und zweite Nassweiche von 20 - 90 Minuten ermittelt werden, da dabei die höchste zytolytische Modifikation erzielt wurde.

Außerdem konnte ein optimaler Weichgrad von 40 - 41 % nach dem Weichen für den beschriebenen Versuchsaufbau identifiziert werden, wohingegen in Untersuchungen der 60er bis 80er Jahre^{84, 107} ein Ausweichen bei Weichgraden von 38 - 40 % empfohlen wurde.

2.2 Keimen

Die Einflüsse auf die Keimung des Getreides, als zweiter Prozessschritt des Mälzens, sind vielfältig. Die wichtigsten technologischen Einflussparameter sind die Keimzeit, der Weichgrad und die Temperatur im Keimgut. Eine Erhöhung dieser Parameter geht mit einer gesteigerten Modifikation der Malze, aber auch mit einem erhöhten Mälzungsschwand einher. Der auf die Trockensubstanz der Gerste bezogene Mälzungsschwand ergibt sich aus dem Gewichtsverlust durch Atmung und aus dem Wachstum der Wurzeln, die nach dem Darren durch Abreiben entfernt werden. Er schmälert die Mälzungsausbeute und damit den Gewinn der Mälzerei.^{12, 40, 72, 76, 91, 108, 110, 130}

Zur Reduzierung des Mälzungsschwandes kann das Wachstum und die Atmung durch niedrige Weichgrade, durch niedrige bzw. im Laufe der Keimung fallende⁷³ Temperaturen und/oder durch Anreicherung des Kohlendioxidgehaltes im Keimgut gebremst werden. Der Kohlendioxidgehalt wird durch den Umluft- / Frischluft-Anteil im Keimkasten eingestellt, wobei nach Zastrow et al.¹³¹ Konzentrationen von bis zu 13 % erreicht werden können.

Weitere technologische Parameter sind die Intensität der Belüftung, die Zeitpunkte der Weichgradeinstellung durch Aufspritzen von Wasser und die Häufigkeit des Wendens des Keimgutes.¹¹⁰

2.2.1 Untersuchungen zum Einfluss erhöhter Keimtemperaturen

Einleitung

In den 60er bis 80er Jahren wurden zahlreiche Studien zum Einfluss höherer Keimtemperaturen und Weichgrade durchgeführt. Das Ziel dabei war eine Verkürzung der Keimzeit, um die hohen Energiekosten zu senken und die Kapazitäten der Mälzereien zu erhöhen.

Das Keimen bei höheren Weichgraden führt, neben der intensivierten proteolytischen und zytolytischen Modifikation, automatisch zu einem erhöhten Energieverbrauch für das Zurücktrocknen beim Darren. Die Erhöhung der Keimtemperatur hingegen resultiert neben einer höheren zytolytischen Modifikation zusätzlich in einem geringeren Energiebedarf zur Kühlung der Keimluft.^{108, 60, 89}

In der Literatur werden Keimtemperaturen zwischen 12 °C und 17 °C bei 5 - 6 Keimtagen, früher auch 7 - 9 Keimtagen, empfohlen, um zytolytisch hoch gelöste Malze mit hohen Extraktgehalten⁶³ und ausgewogenen Eiweißlösungsgraden (Kolbachzahl⁶³) produzieren zu können.^{73, 84, 110, 123}

Bei höheren Keimtemperaturen wurden eine Reihe negativer Einflüsse, wie verringerte Enzymaktivitäten und Extraktgehalte sowie ein erhöhter Mälzungsschwand, festgestellt.^{12, 72, 84, 91, 110, 111, 123, 130}

Sommer¹¹⁰ wertete die von Schilfarth et al.¹⁰³ und Weith¹²³ publizierten Untersuchungen zum Einfluss höherer Keimtemperaturen auf die Zytolyse hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit aus. Dabei konnte eine Erhöhung des Mälzungsschwandes um 0,3 % / °C bei einer gleichzeitigen Verringerung der Extraktgehalte um 0,4 % / °C für den Keimtemperaturbereich von 12 - 20 °C ermittelt werden, weshalb von einer warmen Keimung zur Beschleunigung des Mälzungsprozesses abgeraten wurde.

Außerdem wurde von erheblich reduzierten Eiweißlösungsgraden und zu geringen Aminosäuregehalten in den Malzen berichtet, was im späteren Brauprozess aufgrund einer unzureichenden Versorgung der Hefe zu Gärschwierigkeiten führen kann.^{73, 84, 109, 123, 130}

Baxter et al.¹² stellten eine Verschlechterung der Läutereigenschaften bei höheren Keimtemperaturen fest. Bei den Untersuchungen wurden Keimtemperaturen von 16 °C, 20 °C und 25 °C verglichen.

Ein hervorzuhebender Vorteil höherer Keimtemperaturen war neben der Keimzeitverkürzung eine beschleunigte und weitergehende zytolytische Lösung.^{72, 84, 103, 110, 111, 123, 130}

Zusammenfassung der eigenen Veröffentlichung

"The influence of elevated germination temperatures on the resulting malt quality and malting losses" (2014)⁶⁶

Bei den Versuchen über den Einfluss erhöhter Weichtemperaturen dieser Arbeit, konnte bereits ein positives Verhalten heutiger Braugersten aufgezeigt werden (s. Kap. 2.1.1)⁶⁵. Deshalb sollte auch der Einfluss der Keimtemperatur im Hinblick auf die Verwendung heutzutage angebauter Braugersten erneut betrachtet werden.

Zur Untersuchung des Einflusses höherer Keimtemperaturen auf das Keimungsverhalten, die resultierende Malzqualität und den Mälzungsschwand wurde die Sommerbraugerste Marthe (Ernte 2010) in Kleinmälzungsversuchen bei Keimtemperaturen zwischen 16 °C und 28 °C in 4 °C-Schritten vermälzt. Durch die Anwendung desselben Weich- (15 °C; 5 h 1. NW, 19 h LR, 4 h 2. NW) und Darrprogramms (15 h 50 °C, 4,5 h 80 °C) und die Einstellung eines konstanten Weichgrades von 45 % für alle Versuche konnte der Einfluss der Keimtemperatur exklusiv studiert werden.

Des Weiteren wurde die für die Kompensation eines steigenden Mälzungsschwandes notwendige Keimzeitverkürzung ermittelt, um einen höheren Mälzungsschwand im

Vornhinein ausschließen zu können. Dafür wurde Grünmalz 3, 4, 5 und 6 Tage nach dem Einweichen gedarrt und analysiert.

Ergebnisse

Bei den angewendeten Mälzungsparametern war eine Reduzierung der Keimzeit von etwa 24 Stunden je Keimtemperaturerhöhung um 4 °C notwendig, um einen gleichwertigen bzw. niedrigeren Mälzungsschwand im Vergleich zur Referenzprobe (5 Keimtage, 16 °C) zu erzielen. Deshalb standen die in der Abbildung 10 umrahmten Proben im Fokus der Untersuchungen.

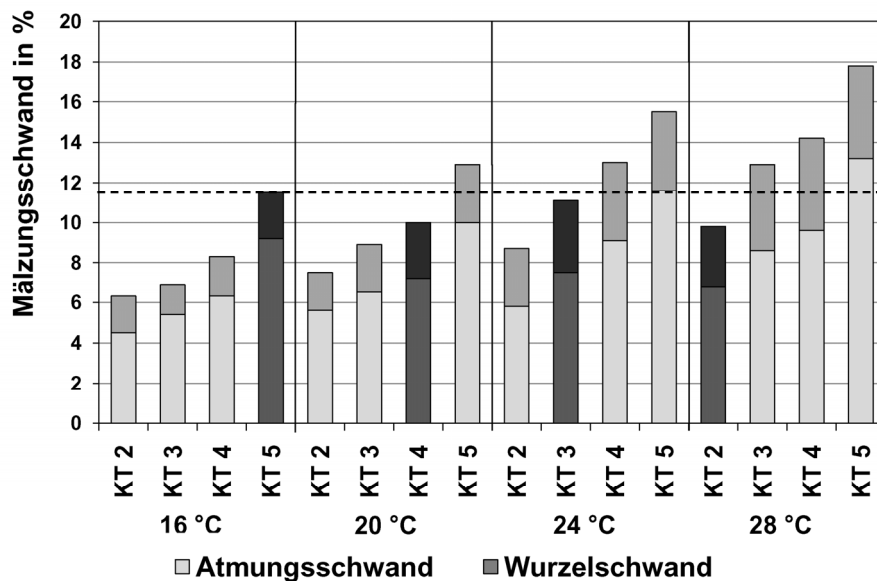


Abbildung 10: Variation der Keimtemperatur - Mälzungsschwand der zwischen 16 °C und 28 °C gekeimten Malzproben, die nach 2 bis 5 Keimtagen gedarrt wurden.⁶⁶

Generell war die Ankeimung bei Keimtemperaturen von 20 - 28 °C schneller als bei 16 °C, aber hinsichtlich der Malzqualität war die um 3 Tage verkürzte Keimung bei 28 °C für eine adäquate zytolytische und proteolytische Lösung nicht ausreichend. Die Keimzeitverkürzung um einen Tag beim Keimen bei 20 °C und um zwei Tage beim Keimen bei 24 °C führte jedoch zu einer Malzqualität innerhalb der von der MEBAK⁶³ empfohlenen Spezifikationen.

Der einzige offensichtlich negative Einfluss der höheren Keimtemperaturen war trotz Keimzeitverkürzung eine Verringerung des Extraktgehaltes um etwa -0,2 % / °C. Allerdings wurden leicht höhere Endvergärungsgrade⁶³ für die wärmer gekeimten Malze nachgewiesen. Der Endvergärungsgrad der vergorenen Kongresswürzen⁶³ gab einen Hinweis auf eine in der Brauerei mögliche Alkoholausbeute im Bezug auf den eingesetzten Extrakt des Malzes. Aufgrund dessen könnte das Ausmaß der

Extraktreduzierung durch die höheren Endvergärungsgrade größtenteils wieder auszugleichen sein.

Anhand der zytolytischen Malzparameter Mürbigkeit⁶³ und β -Glukangehalt⁶³ konnte eine einwandfreie Zellwandlösung bis zu einer Keimtemperatur von 24 °C trotz entsprechender Keimzeitverkürzung nachgewiesen werden (s. Abb. 11). Demnach war es möglich die reduzierte Keimzeit durch die Anwendung höherer Keimtemperaturen zu kompensieren.

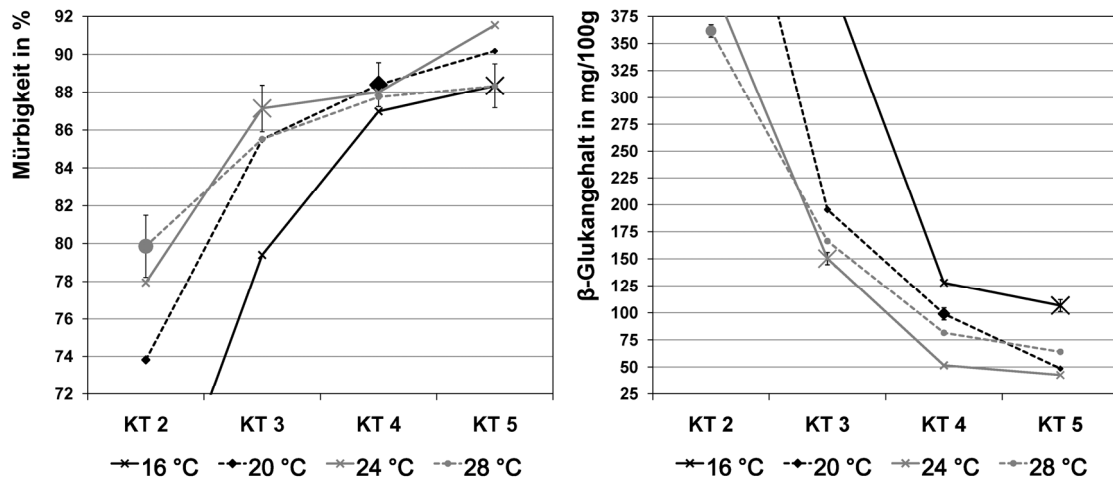


Abbildung 11: Variation der Keimtemperatur - Mürbigkeiten (links) und β -Glukangehalte (rechts) nach 2 bis 5 Keimtagen.⁶⁶
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63} für die Proben, die nach der Auswertung des Mälzungsschwandes für eine beschleunigte Mälzung in Frage kommen)

Des Weiteren wurde die proteolytische Modifikation der Malze mit steigender Keimtemperatur reduziert, was sich anhand von niedrigeren Kolbachzahlen⁶³ und geringeren Gehalten an freiem Aminostickstoff (FAN⁶³) im Malz bestimmen ließ (s. Abb. 12). Auch dies bestätigte die Ergebnisse früherer Untersuchungen^{73, 84, 109, 123, 130}.

Die Eiweißlösung stieg im Referenzmalz während der Keimung stetig an. Dadurch war im fertigen 16 °C-Malz, das fünf Tage gekeimt wurde, eine nach MEBAK⁶³-Spezifikationen deutlich überhöhte Kolbachzahl und ein relativ hoher FAN-Gehalt von 162 mg / 100 g Malz zu finden. Durch die höheren Keimtemperaturen bis 28 °C hingegen wurde die Kolbachzahl über die gesamte Keimung nur leicht erhöht und lag optimal im von der MEBAK⁶³ empfohlenen Normbereich. Dies kann mit einem Gleichgewicht zwischen dem Eiweißabbau zu niedermolekularem FAN und der Verwertung der Aminosäuren durch das Wurzelwachstum erklärt werden. Dabei wiesen die 20 °C und 24 °C-Malze, die im Vergleich zur Referenz ein bzw. zwei Tage

kürzer gekeimt wurden, einen für die Hefeernährung im späteren Brauprozess ausreichenden FAN-Gehalt auf.

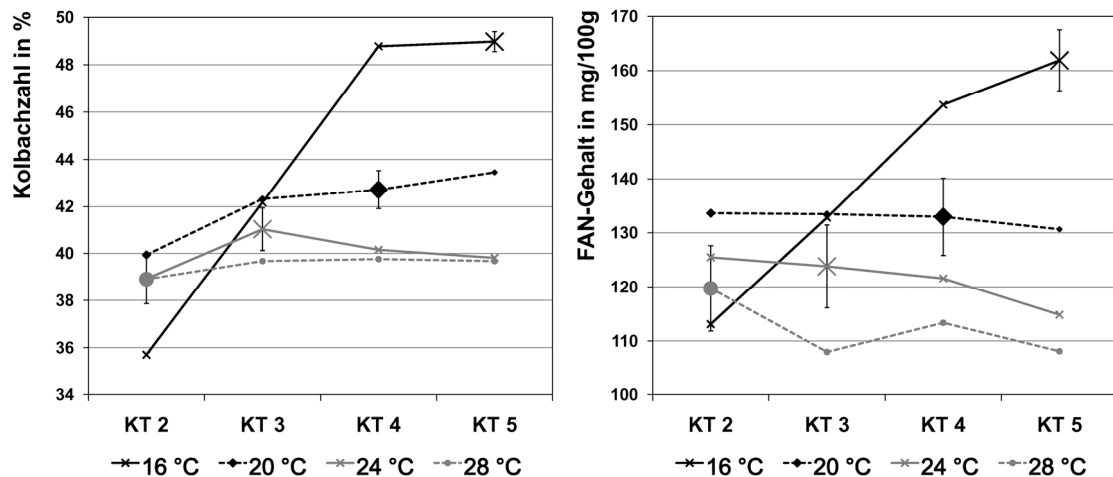


Abbildung 12: Variation der Keimtemperatur - Kolbachzahlen (links) und FAN-Gehalte (rechts) nach 2 bis 5 Keimtagen.⁶⁶
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63} für die Proben mit zum Referenzmalz vergleichbaren Mälzungsschwand)

Weitere Malzparameter, wie die Enzymaktivitäten der α - und β -Amylasen und die Läutereigenschaften der beschleunigt vermälzten Proben, waren mit der Referenz vergleichbar.

Zusammenfassend lag die optimale Keimtemperatur zur Verkürzung der Mälzungszeit in dieser Versuchsreihe zwischen 20 °C und 22 °C. In diesem Bereich war eine Keimzeitverkürzung von 1 - 1,5 Tagen möglich, ohne die Malzqualität im Vergleich zum Referenzmalz maßgeblich zu beeinflussen und ohne den Mälzungsschwand zu erhöhen.

2.3 Darren

Beim Darren, dem dritten und letzten Hauptschritt des Mälzungsprozesses, wird die Keimung durch Trocknen des hinreichend gelösten Grünmalzes von einem Wassergehalt von 42 - 48 % bis auf 3 - 5 % abgebrochen, um das leicht verderbliche Grünmalz als Darmmalz lagerfähig zu machen.^{82, 86, 98}

Dazu wird erwärmte Luft von unten durch das heutzutage in Schichthöhen von 0,8 - 1,2 m liegende Gut gedrückt. Die Temperatur der erwärmten Zuluft wird dabei durch Verdunstungskühlung, also durch die Wasseraufnahme in den unteren, noch nicht trockenen Schichten, verringert. Die mit Feuchte gesättigte Luft kann in den oberen Schichten kein Wasser mehr aufnehmen. Erst wenn sich die Trocknung bis in die oberste Schicht fortgesetzt hat, steigt die Ablufttemperatur über dem Gut merklich an. Man spricht bei diesem, nach einigen Stunden eintretenden, Temperaturanstieg

vom „Durchbruch“. Dieser setzt etwa bei einem durchschnittlichen Wassergehalt des Malzes von etwa 11 - 13 % ein. Der erste Abschnitt des Darrens bis zum Durchbruch wird als Schwelken bezeichnet und geschieht bei moderaten Temperaturen zwischen 50 °C und 65 °C, um eine Schädigung der während des Keimens gebildeten oder freigesetzten Enzyme möglichst zu vermeiden. Das Schwelken dauert je nach Darrsystem zwischen 12 und 24 Stunden in Abhängigkeit des Ausgangsweichgrades, der Temperaturprogramm und der Ventilatorleistung.^{57, 79, 82, 86, 98}

Bei den moderaten Schwelktemperaturen, insbesondere bei noch hohen Feuchtegehalten im Gut, finden Wachstum der Wurzel- und Blattkeime sowie ein enzymatischer Abbau von hochmolekularen Substanzen, wie Stärke, Hemizellulose und Eiweiß, statt. Bei geringeren Feuchtegehalten werden die Enzyme inaktiviert und unempfindlicher gegenüber höheren Temperaturen von 70 - 85 °C. Diese werden beim zweiten Darrschritt, dem Abdarren, genutzt, um den Feuchtegehalt des Malzes innerhalb von 3 - 6 Stunden weiter auf 3 - 5 % zu senken.^{36, 79, 82, 98}

Chemische Reaktionen, wie u. a. die Bildung von Farb- und Aromastoffen durch Maillardreaktionen, finden hauptsächlich während der Abdarrphase bei Temperaturen über 70 °C statt. Die Geschwindigkeit des Darprozesses wird, neben der Schichthöhe des Grünmalzes, dem Luftdurchsatz und der Luftfeuchtigkeit, hauptsächlich durch die Temperatur der Zuluft beeinflusst.^{10, 36, 105}

2.3.1 Untersuchungen zum Einfluss niedriger Schwelktemperaturen

Einleitung

Frühere Untersuchungen zum Einfluss der Schwelk- und Dar temperatures wurden, wie die bereits beschriebenen Untersuchungen zur Weich- und Keimtemperatur, in den 60er bis 80er Jahren veröffentlicht.

Es konnte nachgewiesen werden, dass bei geringeren Schwelktemperaturen eine höhere zytolytische Lösung im Malz erzielt und höhere Enzymaktivitäten im fertigen Malz vorhanden sind.^{32, 36, 42, 80, 82}

Eine geringere Deaktivierung der α - und β -Amylasen führt wiederum zu höheren Extraktgehalten und Endvergärungsgraden^{8, 42}. Im Gegensatz zu den Hemizellulasen, wie z. B. β -Glukanasen, deren Aktivität bei niedrigeren Temperaturen höher ist^{15, 18, 77, 80, 92}, wirken die proteolytischen Enzyme besser bei hohen Schwelktemperaturen zwischen 50 °C und 70 °C^{8, 49, 77, 78, 80, 81, 82, 98}. Deshalb scheint die Anwendung von niedrigen Schwelktemperaturen nach Narziß und Lintz⁷⁸ als Möglichkeit zur Begrenzung hoher Eiweißlösungsgrade geeignet zu sein.

Allerdings werden durch niedrige Schwelk- und Darrtemperaturen die Darrzeiten erhöht¹⁰⁵. Ein weiterer Nachteil des Schwelkens bei niedrigeren Temperaturen ist eine gesteigerte Atmung des Grünmalzes, und damit verbunden ein höherer Mälzungsschwand. Reinikainen et al.⁹⁶ beobachteten eine zwei bis vierfache Atmungsaktivität des Grünmalzes während der ersten Stunden des Schwelkens, gegenüber der Atmung während der Keimung.

Zusammenfassung der eigenen Veröffentlichung

“The influence of the withering temperature on the resulting proteolytic and cytolytic modification of pale malt” (2014)⁶⁸

Das Ziel dieser Untersuchung war die Bestätigung einer gesteigerten Zytolyse und gehemmten Proteolyse bei der Anwendung niedrigerer Schwelktemperaturen für aktuelle Braugersten. Zudem sollte abgeschätzt werden, ob die beschriebenen Vorteile zur Kompensierung einer Keimzeitverkürzung genutzt werden können, um den Mälzungsprozess trotz einer Darrzeitverlängerung zu beschleunigen.

Dazu wurde Grünmalz der Braugerste Marthe (Ernte 2010) nach der Keimung mittels flüssigen Stickstoffs schockgefroren, um für alle Darrversuche dasselbe Ausgangsmaterial nutzen und Unterschiede in der Malzqualität vergleichen zu können, ohne den Einfluss anderer Mälzungsparameter berücksichtigen zu müssen. Proben des tiefgefrorenen Grünmalzes wurden dann unter Variation der Schwelktemperatur im Kleinmaßstab in einer Schichthöhe von 35 cm gedarrt. Hierbei, wurden sehr niedrige Schwelktemperaturen von 30 °C, 37,5 °C und 45 °C mit in der Industrie üblichen Temperaturen von 52,5 °C und 60 °C verglichen. Die verschiedenen Schwelktemperaturen wurden über den gesamten Prozess konstant gehalten und die Malze bei Erreichen eines Wassergehaltes von 13 % ± 0,3 % in allen Versuchen für 4 Stunden bei 80 °C abgedarrt.

Wie bereits erläutert ergeben sich durch die Trocknung des Malzes von unten inhomogene Verhältnisse durch unterschiedliche Trocknungsgeschwindigkeiten und Temperaturverläufe in den verschiedenen Schichthöhen.^{79, 86}

Durch die Anwendung niedrigerer Schwelktemperaturen sollte daher ein geringerer Temperaturunterschied und damit gleichmäßigere Verhältnisse in den unterschiedlichen Schichten vorherrschen. Zum Nachweis dessen wurden Malzanalysen von Proben aus der oberen und unteren Darrschicht verglichen.

Ergebnisse

Anhand der Proben aus der unteren und oberen Malzschicht konnten erhebliche Unterschiede in der Malzqualität – unabhängig von der angewendeten

Schwelktemperatur – festgestellt werden. In den oberen Schichten wurden höhere zytolytische und proteolytische Lösungen ermittelt.

Allerdings wiesen die meisten Analyseparameter, insbesondere die β -Glukangehalte, Kolbachzahl, und Farbe⁶³, bei niedrigeren Schwelktemperaturen geringere Unterschiede zwischen den verschiedenen Darrschichten auf. Somit konnte die vorher aufgestellte These, dass eine höhere Homogenität bei niedrigeren Schwelktemperaturen zu erreichen ist, indirekt bewiesen werden.

In den Abbildungen 13 und 14 sind die Analyseparameter Modifikation, Mürbigkeit, β -Glukangehalt⁶³ sowie die β -Glukanaseaktivitäten der bei den verschiedenen Temperaturen geschwelkten Malze gegenübergestellt. Anhand der Ergebnisse konnte eine signifikant gesteigerte Zytolyse für die niedrigen Schwelktemperaturen aufgezeigt und die Temperaturempfindlichkeit der β -Glukanasen^{15, 18, 77, 80, 92} erneut bestätigt werden.

Mit Ausnahme der Modifikation nach Carlsberg⁶³ korrelierten die einzelnen Parameter und Schwelktemperatur mit Bestimmtheitsmaßen $R^2 > 0,95$. Beim Vergleich der 30- und 60 °C-Proben resultierte eine erhebliche Inaktivierung der β -Glukanasenaktivität um etwa 88 % in einem 60 mg / 100 g höheren β -Glukangehalt und in einer um 8 Prozentpunkte niedrigeren Mürbigkeit. Die Modifikation nach Carlsberg wurde nur geringfügig negativ beeinflusst.

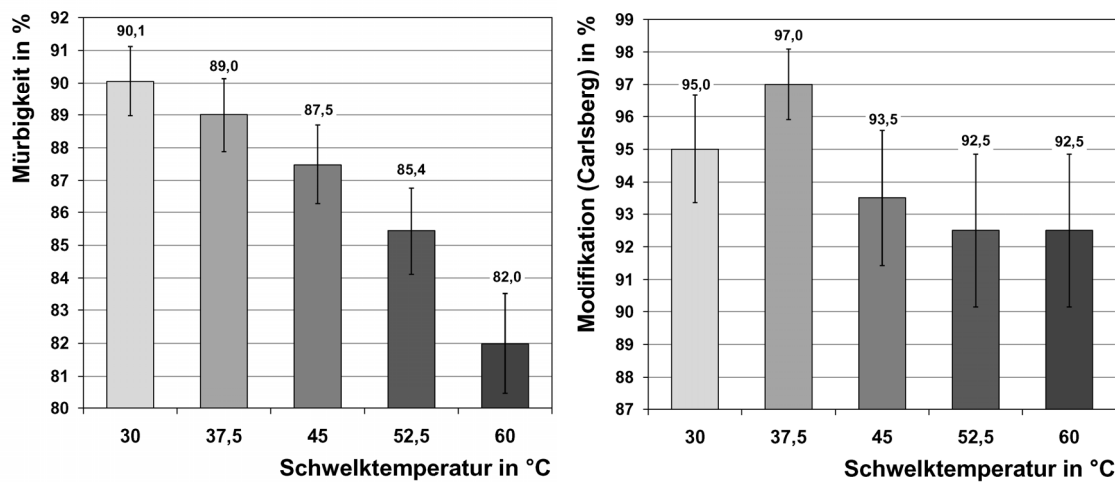


Abbildung 13: Variation der Schwelktemperatur - Mürbigkeiten (links) und Modifikation nach Carlsberg (rechts) (Mittelwerte der oberen und unteren Schicht).⁶⁸
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63})

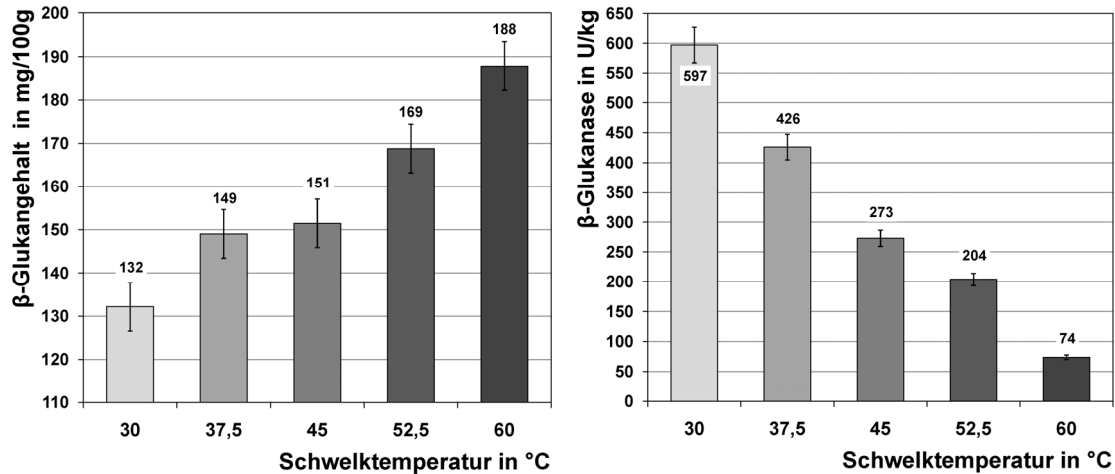


Abbildung 14: Variation der Schwelktemperatur - β-Glukangehalte (links) und β-Glukanasenaktivitäten (rechts) (Mittelwerte der oberen und unteren Schicht).⁶⁸
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63} bzw. 5 %; Megazyme, Wicklow, Ireland)

In Abbildung 15 sind die Kochfarben⁶³ und Kolbachzahlen⁶³ der bei unterschiedlichen Temperaturen geschwelkten Malze gegenübergestellt. Mit der Senkung der Schwelktemperatur von 60 °C auf 30 °C wurde die Kolbachzahl um 2,7 Prozentpunkte verringert und die Kochfarben der Kongresswürzen um etwa 4 EBC heller. Für andere Malzanalyseparameter, wie Extrakt, DMS-P-Gehalt⁶³ und Enzymaktivitäten der α- und β-Amylasen konnten keine maßgeblichen Unterschiede oder Trends für hohe oder niedrige Schwelktemperaturen ermittelt werden.

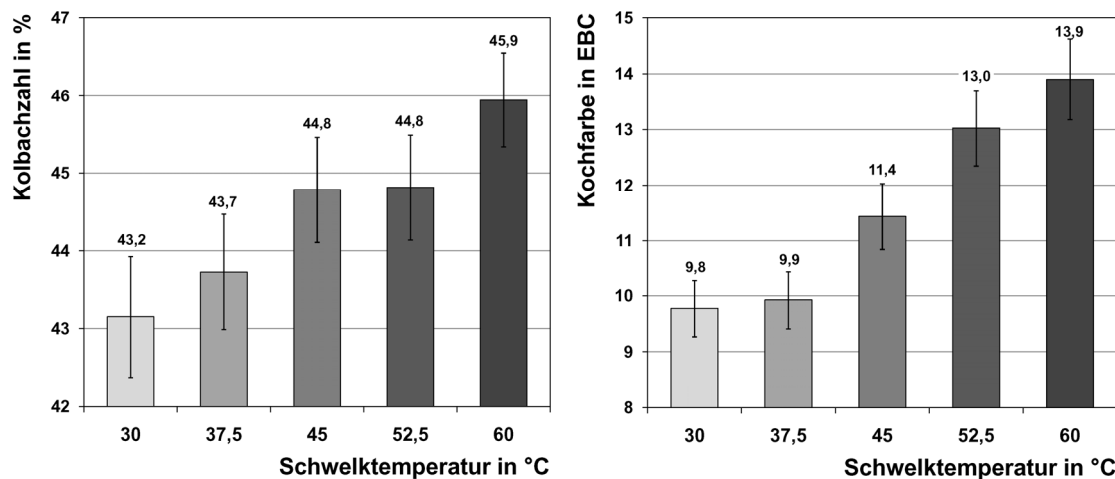


Abbildung 15: Variation der Schwelktemperatur - Kolbachzahlen (links) und Kochfarben (rechts) (Mittelwert der oberen und unteren Schicht).⁶⁸
(Standardabweichung nach Wiederholbarkeit r^{63})

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die optimale Schwelktemperatur hinsichtlich der Zytolyse und Proteolyse in dieser Versuchsreihe zwischen 30 °C und 37,5 °C lag. Allerdings wurde die Schwelkzeit beim Vergleich von 60 °C mit 37,5 °C

verdoppelt (s. Abb. 16). Dabei korrelierten zwischen 37,5 °C und 60 °C die Schwelktemperatur und die Schwelkdauer linear mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,98$. Bei 30 °C wurde die Schwelkdauer verdreifacht und dementsprechend auch der Strombedarf für den Darrventilator erhöht. Der Energiebedarf für die Zulufterwärmung wurde dahingegen durch die Darrzeitverlängerung nicht signifikant verändert.

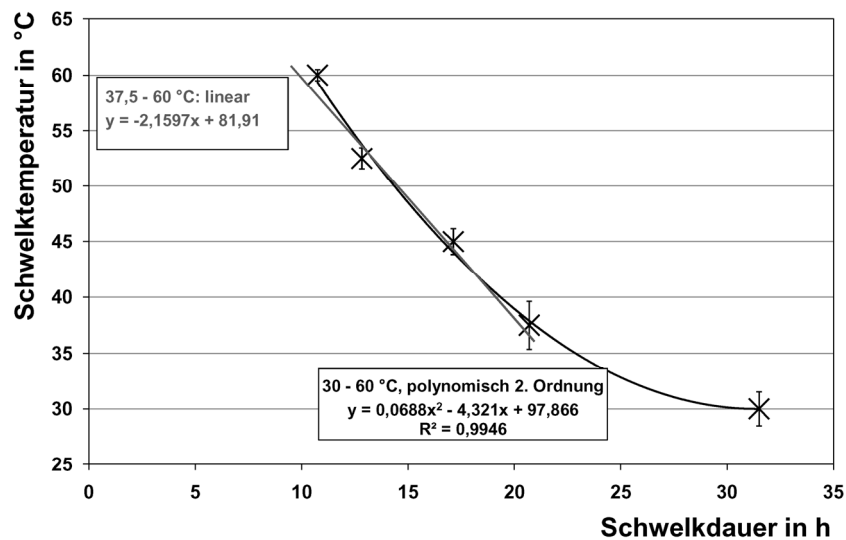


Abbildung 16: Variation der Schwelktemperatur - Vergleich der Schwelkzeiten.⁶⁸

3. Das „optimierte Mälzungsverfahren“

3.1 Zusammenführung der optimierten Mälzungsparameter

Ziel der Arbeit war es, ein „optimiertes Mälzungsverfahren“ für aktuelle Braugersten zu entwickeln, deren Lösungseigenschaften sich in den letzten Jahrzehnten durch intensive Züchtung verbessert haben (s. Kap.1). Dabei sollte die Mälzungsdauer verkürzt, eine nach MEBAK-Spezifikationen adäquate Malzqualität erzielt und Produktionskosten eingespart werden.

Zunächst wurden dazu die Parameter Weich- (s. Kap. 2.1.1)⁶⁵, Keim- (s. Kap. 2.2.1)⁶⁶ und Schwelktemperatur (s. Kap. 2.3.1)⁶⁸, die Dauer der Luftrast (s. Kap. 2.1.2) sowie der beiden Nassweichen (s. Kap. 2.1.3)⁶⁷ separat untersucht. Im Anschluss wurden die Forschungsergebnisse in einem „optimierten Mälzungsverfahren“ vereinigt, welches in weiteren Schritten im Hinblick auf die resultierende Malzqualität und den Mälzungsschwand angepasst wurde.

Die Untersuchungen zu hohen Keimtemperaturen⁶⁶ zeigten, dass bei Temperaturen zwischen 20 °C und 22°C eine Keimzeiteinsparung von 1 - 1,5 Tagen möglich ist. Außerdem konnte in allen anderen, separaten Untersuchungsreihen zu den Einflüssen einzelner Mälzungsparameter eine beschleunigte zytolytische Modifikation für die jeweils gefundenen, optimalen Bereiche festgestellt werden, wodurch eine mögliche Keimzeitverkürzung impliziert wurde. Anhand dessen wurde eine Gesamtdauer von fünf Produktionstagen für das „optimierte Mälzungsverfahren“ festgelegt. Dabei sollte das Mälzungsverfahren gemäß dem deutschen Reinheitsgebot ohne Wachstumsregulatoren auskommen.

Zur Bewertung der Anwendbarkeit des „optimierten Mälzungsverfahrens“ standen die fünf heutzutage angebauten Sommerbraugersten Marthe, Propino, Grace, Scarlett und Tipple zu Verfügung.

Zusätzlich zur Bewertung der Malzqualitäten anhand der MEBAK-Spezifikationen⁶³ wurde das „optimierte Mälzungsverfahren“ mit zwei 7-tägigen Referenzmälzungsverfahren, dem Kleinmälzungsverfahren nach MEBAK⁶³ und einem herkömmlichen Industrieverfahren mit fallender Keimtemperatur⁷³ verglichen. Dabei sollte die Malzqualität hinsichtlich der zytolytischen und proteolytischen Lösung, der Enzymkraft, der Verarbeitbarkeit (Läuterarbeit, PYF) und des Mälzungsschwandes gegenüber herkömmlich produzierten Malzen in nicht relevantem Maße negativ beeinflusst werden.

In der Publikation

“An accelerated malting procedure - Influences on malt quality and cost savings by reduced energy consumption and malting losses” (2015)⁶⁹

sind drei der Versuchsreihen zur Weiterentwicklung des „optimierten Mälzungsverfahrens“ und deren wichtigsten Ergebnisse beschrieben. Die Mälzungsparameter aller angewendeten Mälzungsprogramme sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Programme des MEBAK-Klein⁶³, des Industrie- und des „optimierten Mälzungsverfahrens“

Mälzungs- verfahren	Gerste	Weichen	Keimen	Darren	Weich- dauer	Keim- dauer	Darr- dauer	Gesamt- dauer
MEBAK	Marthe	NW 5 h 14 °C LR 19 h 14 °C NW 4 h 14 °C	116 h 14 °C	16 h 50 °C 1 h 60 °C 1 h 70 °C 5 h 80 °C	28 h	116 h	23 h	167 h
Industrie	Marthe, Propino, Grace, Scarlett, Tipple	NW 4 h 14 °C LR 15 h 16 °C NW 2 h 14 °C	24 h 18 °C 24 h 16 °C 77 h 15 °C	1 h 60 °C 12 h 65 °C 1 h 70 °C 1 h 75 °C 1 h 80 °C 2 h 82 °C ½ h 84 °C	21 h	125 h	18½ h	165 h
optimiert 1	Marthe	NW 3 h 23,5 °C LR 18 h 22 °C NW 1¼ h 21 °C	11 h 21 °C 17 h 22 °C 31 h 22,5 °C 14 h 20,5 °C	7 h 35 °C 4½ h 40 °C 3 h 45 °C 2 h 50 °C	22¾ h	73 h	25 h	121 h
optimiert 2	Propino,	NW 3½ h 22 °C LR 18 h 21 °C NW 2½ h 20 °C	11 h 20 °C 24 h 22 °C 24 h 21 °C 15 h 19,5 °C	2 h 55 °C 1½ h 60 °C 4 h 80 °C 1 h 82 °C	24 h	74 h		123 h
optimiert 3	Grace, Scarlett, Tipple	NW 5½ h 22 °C LR 18 h 21 °C NW 1¼ h 20 °C	8 h 20 °C 24 h 21 °C 42 h 20 °C	6½ h 37,5 °C 4½ h 40 °C 2½ h 45 °C 2 h 50 °C 2 h 55 °C 1½ h 60 °C 4 h 80 °C 1 h 82 °C	24¾ h	74 h	24 h	123 h

3.2 Weiterentwicklung des „optimierten Mälzungsverfahrens“

Bereits nach der ersten Version des „optimierten Mälzungsverfahrens“ lagen alle untersuchten Malzanalyseparameter innerhalb der von der MEBAK empfohlenen Spezifikationen. Im Vergleich zu den Referenzmalzen war dabei zwar die Malzqualität des „optimiert“ produzierten Malzes (Marthe 2010) gleichwertig bzw. die zytolytische

Modifikation positiv beeinflusst, aber der Mälzungsschwand um 1 - 2 Prozentpunkte erhöht (s. Abb. 21).

Zur Bestätigung der Ergebnisse wurde die Versuchsreihe mit vier weiteren Braugersten (Propino, 2012; Grace, 2011; Scarlett, 2011; Tipple, 2010) wiederholt. Um den Mälzungsschwand, der einen erheblichen Kostenfaktor in der Mälzerei darstellt, zu verringern, wurden gleichzeitig die Weich- und Keimtemperaturen um etwa 1 °C gesenkt (s. Kap. 2.2.1)⁶⁶.

Außerdem diene in den weiteren Versuchsreihen nur noch das an die Industrieproduktion angepasste Verfahren als Referenzmälzung, da es gegenüber dem MEBAK-Standardverfahren⁶³ ein Malz mit einer durchweg höheren Qualität bei einem geringeren Mälzungsschwand hervorbrachte. Damit sollte das zu entwickelnde „optimierte Mälzungsverfahren“ mit dem Verfahren „höheren Maßstabs“ verglichen werden.

Mit dem weiterentwickelten „optimierten Mälzungsverfahren 2“ konnte letztendlich für drei der vier untersuchten Braugersten ein gleichwertiger Mälzungsschwand erzielt werden. In dieser Versuchsreihe war jedoch die proteolytische Modifikation der untersuchten Braugersten im Vergleich zur Industriemälzung etwas zu niedrig. Dies resultierte in für die Hefeernährung unzureichenden FAN-Gehalten⁶³.

Nach Sommer¹⁰⁹ ergibt sich aus der Erhöhung des Weichgrades um 1 % bei der Keimung eine Zunahme des löslichen Stickstoffs⁶³ um 20 - 50 mg/L im fertigen Malz, unabhängig von der eingestellten Keimtemperatur. Zur Erhöhung der Proteolyse wurde deshalb in der dritten Versuchsreihe der Zielweichgrad um 0,5 bis 1,5 %, in Abhängigkeit der Eiweißlösung der jeweiligen Gerste, erhöht.

Zusätzlich wurde das Weichprogramm geändert, indem die erste Nassweiche verlängert und die zweite verkürzt wurde. Dadurch sollte die zytolytische Modifikation des Malzes aufgrund eines höheren Weichgrades nach dem Ausweichen und einer damit eher einsetzenden Keimung weiter gesteigert werden (s. Kap. 2.1.3)⁶⁷.

Zur Kompensation eines zu erwartenden, erneuten Anstieges des Mälzungsschwandes wurde die Keimtemperatur noch einmal um etwa 1 °C verringert (s. Kap. 2.2.1)⁶⁶.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Ankeimung

Zur Überprüfung des Einflusses der verschiedenen Mälzungsverfahren auf das Ankeimverhalten der untersuchten Braugersten wurden die Keimenergien, 18 oder

23 Stunden, nach dem Einweichen durch Auszählen der prozentualen Anteile gespitzter Körner bestimmt. Dabei konnte für alle „optimiert vermälzten“ Braugersten eine schnellere und damit homogenere Ankeimung aufgezeigt werden (s. Abb. 17).

Für die Braugersten Propino, Scarlett und Tipple wurde die Ankeimrate durch die Änderung der Nassweichzeiten⁶⁷ im zweiten Entwicklungsschritt des „optimierten Mälzungsverfahrens 3“ erheblich beschleunigt. Bereits 18 Stunden nach dem Einweichen war bei über 80 % der Körner ein Wurzelwachstum sichtbar.

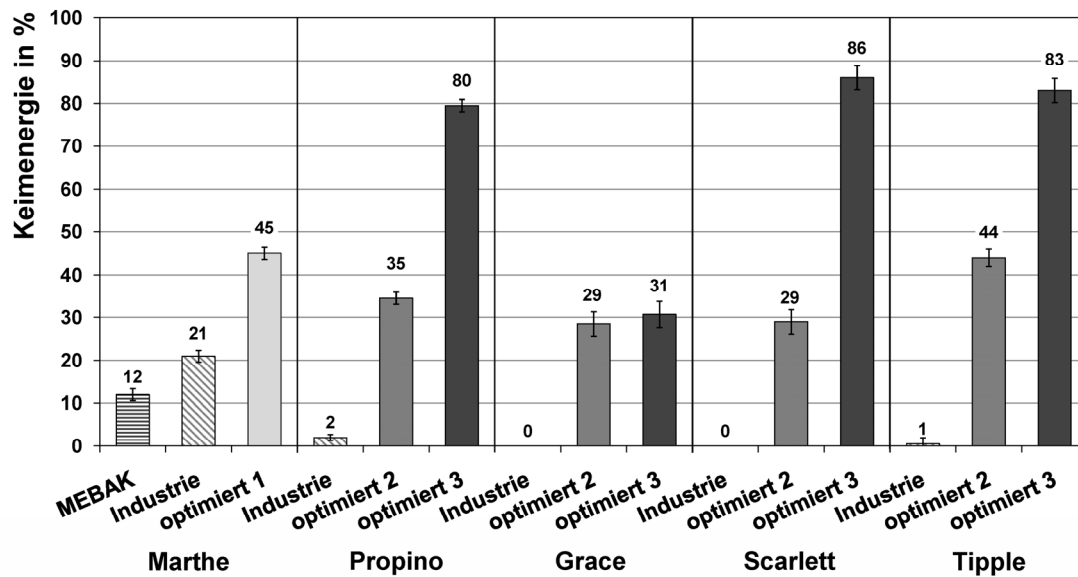


Abbildung 17: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Bewertung des Ankeimverhaltens durch Auszählen der Anteile gespitzter und gegabelter Körner 23 h (Marthe) und 18 h (andere Braugersten) nach dem Einweichen.⁶⁹
(Standardabweichung der Doppelbestimmung)

3.3.2 Malzanalysen

Generell lagen sämtliche Malzanalyseparameter aller beschleunigt und nach dem Industrieverfahren produzierten Malze⁶⁹ innerhalb der von der MEBAK empfohlenen Spezifikationen⁶³ (s. Tab. 4). Im folgenden Abschnitt sind die Unterschiede des zielführenden „optimierten Mälzungsverfahrens 3“ gegenüber dem simulierten Industrieverfahren im Hinblick auf die Malzqualität beschrieben. Die Ergebnisse der Entwicklungsstufen des „optimierten Mälzungsverfahrens“ sind, mit Ausnahme der Auswertung des Mälzungsschwandes, nicht dargestellt und können der zugehörigen Veröffentlichung⁶⁹ entnommen werden.

Tabelle 4: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Vergleich der Malanalysen zwischen der 3. Versuchsreihe des „optimierten Mälzungsverfahrens“ und der Referenzmälzung (Industrieverfahren).⁶⁹

(* 95 %, ** 99 %, *** 99.9 % statistisch sicherer Unterschied nach t-Test für unabhängige Stichproben anhand der Standardabweichung X1: nach der Wiederholbarkeit r^{63} ; X2: von 5 % nach Megazyme, Wicklow, Ireland; X3: der Doppelbestimmung X4: von 15,2 % nach Bartnett et al.⁹).

Braugerstensorte	Propino		Grace		Scarlett		Tipple		Differenz Ø	Differenz in %
Mälzungsverfahren	Ind.	opt. 3	Ind.	opt. 3	Ind.	opt. 3	Ind.	opt. 3		
Extrakt (Trs.) in % ^{X1}	82,9	82,1*	82,1	81,4*	82,3	81,4**	83,6	82,5**	-0,86*	-1,04
pH-Wert ^{X1}	5,90	5,94*	5,88	5,93*	5,97	6,07*	5,92	5,98*	0,06*	1
α -Amylase (Trs.) in U/g ^{X2}	270	203**	264	233*	316	289*	250	226*	-37*	-14
β -Amylase (Trs.) in U/g ^{X2}	877	739**	995	904*	700	761*	758	726*	-50*	-6
Endvergärungsgrad in % ^{X1}	83,9	83,6	83,4	83,9	83,4	83,5	83,7	84,1	0,2	0
Mürbigkeit in % ^{X1}	90,8	93,8**	87,4	89,3*	86,3	91,2**	87,3	89,3*	2,9*	3
Modifikation (Carlsberg) in % ^{X1}	92,0	97,0*	88,5	95,6*	90,0	94,0*	92,0	96,0*	5,0*	6
Viskosität (8,6 %) in mPa*s ^{X1}	1,43	1,47**	1,46	1,49*	1,46	1,51**	1,47	1,49*	0,04*	2
β -Glukangeh. (Trs.) in mg/100g ^{X1}	180	156**	200	257***	159	172*	197	160**	2	1
β -Glukanase (Trs.) in U/kg ^{X2}	254	515***	225	598***	314	869***	368	666***	372***	128
Homogenität (Carlsberg) in % ^{X1}	77	87*	71	79*	74	78*	79	82	6,3*	8
Homogenität (BKL) in % ^{X3}	83	88*	70	74**	91	92	82	87*	3,8*	5
Ablaufzeit ^(keine Angabe)	40	25	25	30	22	35	30	50	6	20
Lösl. N. (Trs.) in mg/100g ^{X1}	702	670	744	694*	724	634*	686	635*	-56*	-8
Kolbachzahl in % ^{X1}	42,7	40,0**	43,4	40,7**	43,7	37,9**	47,6	44,1**	-3,7**	-8
FAN (Trs.) in mg/100g ^{X1}	149	133*	134	135	133	122*	154	131**	-12*	-9
Kochfarbe in EBC ^{X1}	6,6	5,3**	6,3	5,0**	7,1	5,3**	6,8	4,9**	-1,6**	-24
TBZ ^(keine Angabe)	13	9	11	8	13	8	12	11	-3,3	-27
DMS-P in mg/kg ^{X4}	4,5	4,4	6,1	5,2*	7,3	6,2*	4,6	3,8*	-0,7*	-13

Die beschleunigt produzierten Malze wiesen einen um bis zu 1 % niedrigeren Extraktgehalt⁶³ als die nach dem Industrieverfahren hergestellten Malze auf. Dies kann mit durchschnittlich 14 % geringeren α - bzw. 6 % geringeren β -Amylaseaktivitäten und 0,06 höheren pH-Werten in den Kongresswürzen⁶³ erklärt werden (Weiteres dazu s. Diskussion, Kap. 4.4.2.1).

Die das Ausmaß der zytolytischen Modifikation beschreibenden Analyseparameter Viskosität⁶³ und β -Glukangehalt⁶³ der Kongresswürzen sowie die Mürbigkeit⁶³ und Modifikation nach Carlsberg⁶³ wurden unterschiedlich durch das „optimierte

Mälzungsverfahren“ beeinflusst. Dennoch lagen alle Parameter in den von der MEBAK⁶³ empfohlenen Spezifikationen.

Die Parameter Mürbigkeit⁶³ und Modifikation nach Carlsberg⁶³ zeigten für alle Gerstensorten eine durch das „optimierte Mälzungsverfahren“ signifikant gesteigerte Zytolyse auf, wobei die Mürbigkeit um 2 - 5 Prozentpunkte und die Modifikation um 4 - 7 Prozentpunkte gesteigert wurde.

Im Gegensatz dazu waren die Viskositäten⁶³ der Kongresswürzen der nach dem Industrieverfahren gemälzten Proben geringfügig niedriger (0,02 - 0,05 mPa*s) als die der „optimierten Mälzung“.

Die β -Glukangehalte⁶³ der Malze wiesen bei den beiden verglichenen Verfahren keinen eindeutigen Trend auf, wobei die Gehalte der Propino- und Tipplemalze um 13 - 19 % niedriger, und die der Grace- und Scarlettmalze um 8 - 28 % höher lagen. Zudem gab es keine nachweisliche Korrelation zwischen den β -Glukangehalten und den β -Glukanaseaktivitäten, die in den Malzen des „optimierten Verfahrens“ zwei bis dreifach und damit erheblich höher waren.

Bei der Betrachtung der Homogenität der Malze, die mittels der Calcofluor-Methode nach Carlsberg⁶³ und der Homogenität der Blattkeimlängen⁶³ beurteilt wurde, konnte dahingegen ein eindeutiger Trend aufgezeigt werden, wobei generell alle beschleunigt vermälzten Proben homogener waren. Die Homogenität nach Carlsberg, die die Homogenität der zytolytischen Modifikation bewertet, war um 3 - 10 Prozentpunkte gesteigert. Dies korrelierte mit der gesteigerten Zytolyse, die anhand der Parameter Mürbigkeit und Modifikation für alle untersuchten Braugersten aufgezeigt werden konnte. Analog wurde auch die Homogenität der Blattkeimlängen um 1 - 5 Prozentpunkte erhöht.

Die proteolytische Modifikation war beim „optimierten Mälzungsverfahren“ um 5 - 12 % geringer gegenüber dem industriellen Verfahren, was anhand der Gehalte an löslichem Stickstoff⁶³ berechnet wurde. Daher lagen alle Kolbachzahlen der beschleunigt vermälzten Proben näher am Optimum von 40 %⁶³. In Korrelation zum löslichen Stickstoff waren auch die FAN-Gehalte der nach dem „optimierten Verfahren“ produzierten Malze niedriger.

Die Thiobarbitursäurezahl (TBZ)⁶³ gibt Auskunft über die thermische Belastung beim Darren oder Würzekochen und wird über die Gehalte einer Vielzahl von Maillard-Reaktionsprodukten, hauptsächlich jedoch 5-Hydroxymethylfurfural, bestimmt. Dementsprechend führte ein um 8 - 38 % reduzierter thermischer Einfluss beim Schwelken in Kombination mit geringeren Mengen peptidseitiger Vorläufer (FAN)⁶³ für

Maillard-Reaktionen zu 1,3 - 3 EBC helleren Kochfarben⁶³ in den Kongresswürzen der „optimiert vermälzten“ Proben. Die bei den Maillard-Reaktionen gebildeten und färbenden Melanoidine sind leicht sauer, wodurch die pH-Werte, wie zuvor beschrieben, in den „Industrie“-Malzen leicht niedriger waren.

Der Gehalt des Dimethylsulfid-Precursors (DMS-P)⁶³ S-Methylmethionin (SMM) in den fertigen Malzen, das während der Keimung hauptsächlich im Keimling gebildet wird²⁷, ist ein bedeutender Parameter für den späteren Brauprozess. Das SMM muss durch Hitzeeinwirkung beim Darren bzw. beim Würzekochen im späteren Brauprozess in ausreichendem Umfang gespalten werden. Dabei entsteht das flüchtige Dimethylsulfid (DMS), das nach der Abspaltung ausgetrieben werden muss, um einen kohlrartigen Fehlgeruch im Bier zu vermeiden. 2 - 18 % geringere beim „optimierten Mälzungsverfahren“ gebildete DMS-P-Gehalte implizierten somit energetische Vorteile für die Mälzerei- sowie für die Brauereiindustrie.

3.3.3 Laborläutertest

In der Brauerei kann es, trotz der Verarbeitung von Malzen einer nach MEBAK-Spezifikationen adäquaten Qualität, zu Läuter- und Filtrationsschwierigkeiten kommen^{100, 119, 135}. Neben den Parametern, welche die Zytolyse beschreiben (siehe oben), dient der Parameter Ablaufzeit⁶³ der Einschätzung im Hinblick auf das zu erwartende Läuter- und Filtrationsverhalten. Bei Betrachtung dieses Parameters konnte kein eindeutiger Trend für eines der beiden verglichenen Mälzungsverfahren und keine Korrelation zu den zytolytischen Malzparametern aufgezeigt werden (s. Tab. 4). Dennoch deuteten die Ablaufzeiten aller Malze mit < 60 Minuten auf keine zu erwartenden Läuterprobleme hin.

Zusätzlich wurden die produzierten Malze mittels eines am Fachgebiet Brauwesen, TU Berlin entwickelten Laborläutertest^{65, 66, 68, 70} untersucht, um einen negativen Einfluss des „optimierten Mälzungsverfahrens“ weitergehend auszuschließen. Der Test wertet die nach 300 Sekunden Läuterzeit gesammelte Würze einer Standardlabormaische aus und ist dazu geeignet, Unterschiede zwischen Malzen derselben Gerstencharge aufzuzeigen^{65, 66, 68, 70}. Eine generelle Korrelation zu anderen Analyseparametern kann nicht aufgezeigt werden.

Beim Vergleich der Malze, die mit dem optimierten und dem Referenzverfahren hergestellt wurden, konnten gleichwertige Läutereigenschaften für die Malze der Braugersten Propino, Grace und Scarlett bzw. ein signifikant besseres Ablaufverhalten für das Tipple-Malz nachgewiesen werden (s. Abb. 18).

Anhand beider Analysenmethoden sind daher keine negativen Einflüsse bei der Verwendung des „optimierten Mälzungsverfahrens“ auf das Läuterverhalten zu erwarten.

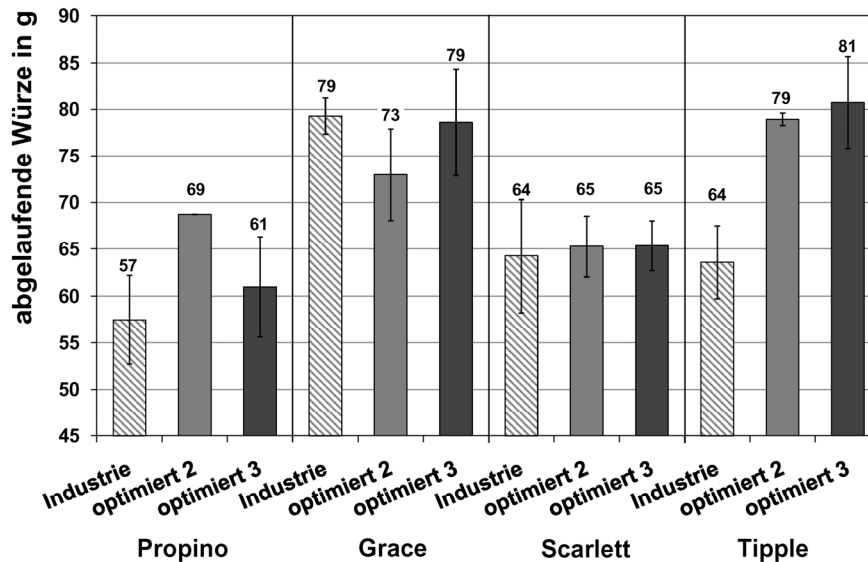


Abbildung 18: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Untersuchung des Ablaufverhaltens der in der 2. und 3. Versuchsreihe produzierten Malze mittels Laborläutertest.⁶⁹
(Standardabweichung der Dreifachbestimmung)

3.3.4 Mikrobiologischer Status

Nach dem Review von Vanne et al.¹¹⁶ wachsen Schimmelpilze während der Keimung kontinuierlich weiter und das Temperaturoptimum für die Fusarium-Pilze liegt bei 22 - 27 °C.

Deshalb lag nahe, dass das Wachstum durch hohe Temperaturen beim Weichen und Keimen, wie beim „optimierten Mälzungsverfahren“ angewendet, begünstigt wurde.

Schimmelpilze, wie Fusarium-Arten, sollen für eine Vielzahl von negativen Einflüssen auf die Bierqualität verantwortlich sein. Für die Malze des „optimierten Mälzungsverfahrens 3“ wurden deshalb die Gehalte des meist untersuchten Fusarium-Mykotoxins Deoxynivalenol (DON)^{23, 106, 116, 133}, das Verhalten der Malze im Hinblick auf eine frühzeitige Hefeflockulation (Premature Yeast Flocculation - PYF)^{4, 6, 14, 56, 117} und das Gushingpotenzial^{14, 20, 25, 85, 129} untersucht.

Bezüglich der DON-Gehalte konnte kein Trend beim Vergleich der beiden Mälzungsverfahren gefunden werden (s. Abb. 19). Bei der Braugerste Propino war der DON-Gehalt bei Anwendung des „optimierten Mälzungsverfahrens“ geringer und bei der Braugerste Scarlett höher als in den dazugehörigen Referenzmalzen. Die anderen beiden Gersten wiesen vernachlässigbare Unterschiede auf. Allerdings lagen alle Proben deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1250 ppb.

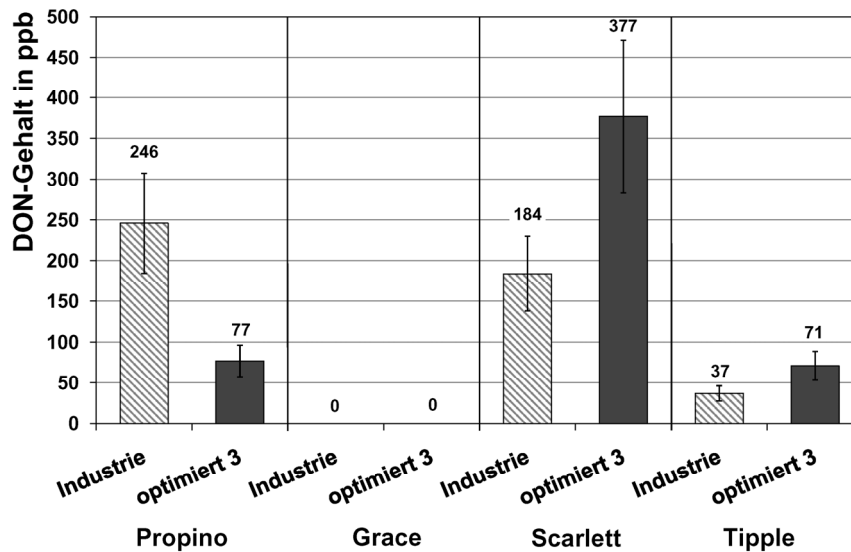


Abbildung 19: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - DON-Gehalte der in der 3. Versuchsreihe produzierten Malze.⁶⁹
(Standardabweichung 25 % nach Neogen, Lexington, USA)

Eine vorzeitige Hefeflockulation (PYF) führt zum frühzeitigen Absetzen der Hefe vor Abschluss der Hauptgärung. Dies geht mit zu geringen Endvergärungsgeraden, einer höheren mikrobiologischen Anfälligkeit und unerwünscht hohen Konzentrationen von Gärungsnebenprodukten, wie z. B. Diacetyl und Acetaldehyd, einher. Zudem führt PYF zu verlängerten Produktionszeiten und höheren Kosten durch einen erhöhten Analysenaufwand.

Diverse Forschungsgruppen haben gezeigt, dass PYF dem Malz zugeschrieben werden kann. Zwei Theorien werden zurzeit untersucht, die beide auf einer Pilzinfektion des Getreides basieren. Zum einen werden vom Pilz ausgeschleuste Xylanasen für PYF verantwortlich gemacht. Diese bauen den Spelzenbestandteil Arabinoxylan teilweise zu hochmolekularen Arabinoxylanen ab, die wiederum Brücken zwischen Lektinen auf den Hefezellwänden bilden. Durch die resultierende Verklumpung der Hefezellen setzt sich die Hefe vorzeitig ab. Andere Forschungsgruppen verfolgen die Theorie, dass das Getreide bei bestimmten Pilzinfektionen antimikrobielle Peptide (AP), wie Lipid Transfer-Proteine (LTP1), bildet, die die Zellwandstruktur der Hefe perforieren. Dadurch soll es zum frühzeitigen Absterben und Absetzen der Hefezellen kommen.^{4, 6, 14, 56, 117}

Für die Beurteilung des Einflusses des „optimierten Mälzungsverfahrens“ auf das PYF-Verhalten wurden die produzierten Malze mittels Asahi-Test⁴⁴ untersucht. Asahi setzte die Grenze zwischen PYF-positiv und negativ bei einer „Floating Yeast Ratio“ (FYR) bei 70 % zu setzen, schlug aber vor, dass diese Grenze aufgrund des großen Einflusses der angewendeten Technologie auf PYF brauereispezifisch festgelegt werden sollte.

Anhand der Ergebnisse des Asahi-Testes konnte ein positiver Einfluss der „optimierten Mälzung“ gegenüber dem simulierten Industrieverfahren aufgezeigt werden, der jedoch lediglich für die Tipple-Malze signifikant war (s. Abb. 20). Dabei konnte für die Tipple-Malze ein PYF-positives Verhalten durch das „optimierte Mälzungsverfahren“ in ein nahezu PYF-negatives Verhalten verändert werden.

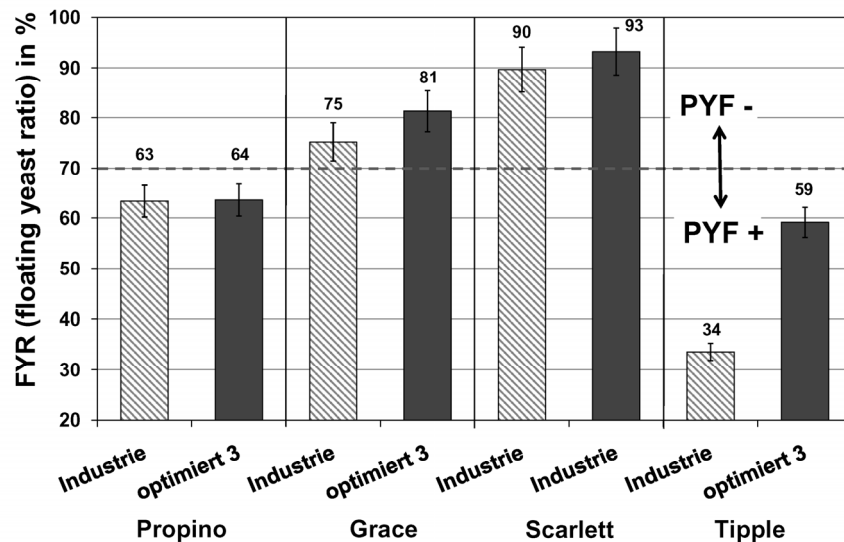


Abbildung 20: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - PYF-Potenzial der in der 3. Versuchsreihe produzierten Malze.⁶⁹
(Der Asahi-Test ist keine akkreditierte Analysenmethode, deshalb wurde eine Standardabweichung von 5 % angenommen.)

Blechová et al.¹⁴ haben beschrieben, dass die AP's einen Einflussfaktor auf primäres Gushing darstellen und die PYF-Analyse mit dem Gushingpotenzial korreliert.

Weitere untersuchte Faktoren für primäres Gushing sind Hydrophobine und LTP1, die von den Fusarien ausgeschieden bzw. durch extrazelluläre Enzyme der Fusarien freigesetzt werden. Beide oberflächenaktive Proteine dienen als Kondensationskeime für die CO₂-Entbindung und verursachen daher ein Übersäumen des Bieres.^{20, 25, 85, 129}

Aus diesem Grund wurde das Gushingpotenzial mittels modifiziertem Gushing-Test nach Carlsberg (MCT)⁶³ untersucht, wobei für keine der produzierten Malze ein Gushingpotenzial nachgewiesen wurde.

Zusammenfassend konnte ein negativer Einfluss des „optimierten Mälzungsverfahrens“ auf die DON-Bildung, das PYF-Verhalten und das Gushingpotenzial für die untersuchten Braugerstenchargen ausgeschlossen werden.

3.3.5 Mälzungsschwand

Der Gewichtsverlust zwischen der Gersten- und Malztrockensubstanz wird Mälzungsschwand genannt. Ein kleiner Anteil davon entsteht durch das

Abschwemmen von Schwimmergerste, dem Absaugen von Gersten- und Malzstäuben beim Transport und dem Aussieben von Malzgrießen, also zerriebenen Malzkörnern bei der Malzreinigung. Hauptsächlich entsteht der Mälzungsschwand jedoch durch den veratmeten Malzzucker beim Keimen und Schwelken (Atmungsschwand) und durch die nach dem Darren entfernten Wurzeln (Wurzelschwand). Bezogen auf die Trockensubstanz beträgt der Mälzungsschwand in der Regel etwa 6 - 12 % in Abhängigkeit von der Gerstensorte und dem Jahrgang, aber vor allem von den angewendeten Mälzungsparametern.³⁴

Wie bereits beschrieben (s. Kap. 3.2), waren der Mälzungsschwand der Marthemalze beim „optimierten Mälzungsverfahren 1“ gegenüber den Referenzmalzen um 1 - 2 Prozentpunkte erhöht (s. Abb. 21). Das beschleunigte Wachstum und der gesteigerte Stoffwechsel konnte demnach nicht durch die Keimzeitverkürzung von etwa zwei Tagen kompensiert werden. Bereits beim „optimierten Mälzungsverfahren 2“ war die Parameteranpassung im Hinblick auf den Schwand für drei von vier Braugersten und beim zielführenden Verfahren 3, für alle der vier untersuchten Braugerstensorten erfolgreich. Dabei konnten ein bis zu 0,9 Prozentpunkte geringerer Schwand für die Braugersten Propino und Scarlett erzielt werden. Für die Malze der Braugersten Grace und Tipple war der Schwand etwa gleichwertig.

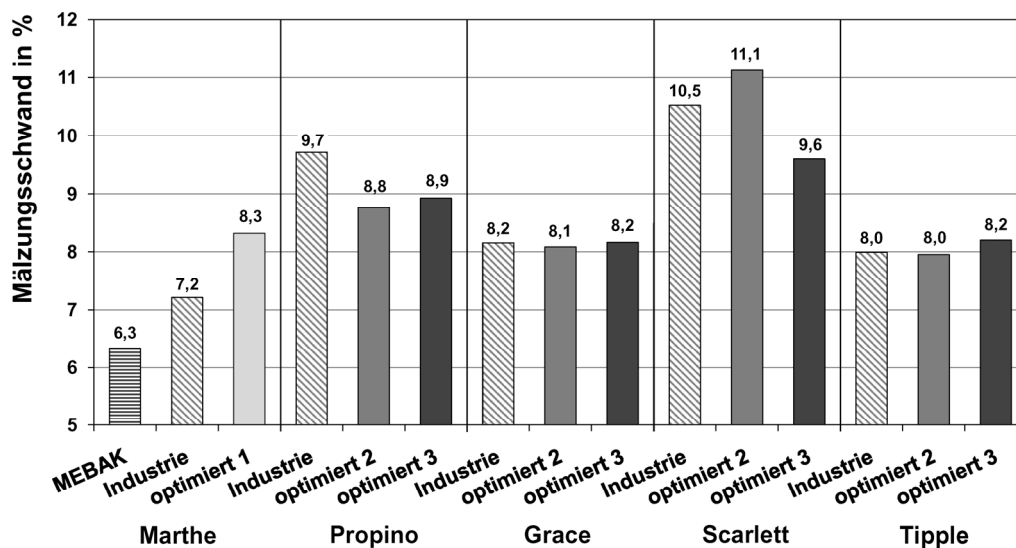


Abbildung 21: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Vergleich des Mälzungsschwandes.⁶⁹

Zusammenfassend konnte das etwa zwei Tage kürzere, „optimierte Mälzungsverfahren“ dahingehend weiterentwickelt werden, dass eine vergleichbare Malzqualität gegenüber den Referenzmalzen erzielt wurde ohne den Mälzungsschwand zu erhöhen.

4. Diskussion

In der folgenden Diskussion werden zunächst die separaten Untersuchungen der einzelnen Mälzungsparameter (s. Kap. 2)^{65, 66, 67, 68} kritisch betrachtet. Anschließend werden die Zusammenhänge mit dem „optimierten Mälzungsverfahren“ (s. Kap. 3)⁶⁹ verglichen. Dabei stehen die Mälzungsdauer, die resultierende Malzqualität und die Einsparungen von Produktionskosten im Vordergrund. Abschließend wird die Umsetzbarkeit der Ergebnisse aus den Laborversuchen im Industriemaßstab diskutiert.

4.1 Weichen

Der Weichprozess gilt als kritischer Mälzungsschritt, da der darauffolgende Keimungsprozess und die daraus resultierende Malzqualität entscheidend beeinflusst wird. Die wichtigsten in dieser Arbeit untersuchten technologischen Weichparameter wurden im Hinblick auf eine schnelle Wasseraufnahme und ein homogenes Ankeimverhalten optimiert. Konkret wurden die Weichtemperatur und das Weichprogramm, also die Dauer der Luftrast und der Nassweichen, variiert (s. Kap. 2.1)^{65, 67}.

Weichen bei höheren als in der Literatur empfohlenen Temperaturen von 12 - 17 °C^{51, 71, 74, 90} stellte sich entgegen früherer Untersuchungen^{12, 16, 40, 76, 95, 108, 118} als vorteilhaft heraus. Aufgezeigte Nachteile, wie niedrige Extraktgehalte, geringe Enzymaktivitäten und/oder schlechtes Ablaufverhalten⁶³ der bei höheren Temperaturen geweichten Malze, konnten in den Untersuchungen dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Im Gegenteil, es konnte sogar eine verbesserte Malzqualität bei Weichtemperaturen bis 30 °C im Vergleich zur Referenztemperatur von 15 °C erzielt werden. Der optimale Weichtemperaturbereich im Hinblick auf die Enzymaktivitäten der α - und β -Amylasen, die zytolytische Modifikation, die Homogenität und das Ablaufverhalten lag zwischen 20 °C und 25 °C. Dabei konnte anhand der gemessenen β -Glukangehalte eine um 45 - 60 % gesteigerte Zytolyse und anhand der Carlsberg-Methode eine um 20 - 30 % verbesserte Homogenität gegenüber der Referenztemperatur von 15 °C nachgewiesen werden. Der Grund für die erheblich gesteigerte Zytolyse sowie Homogenität war eine deutlich schnellere und gleichmäßigere Ankeimung der Gerstenkörner.

Der wesentliche Teil früherer Untersuchungen erfolgte bereits vor 25 - 60 Jahren. Seitdem konnten die Braugerstensorten, wie in Kapitel 1 beschrieben, im Hinblick auf die Vermälzungseigenschaften durch einen konstanten Züchtungsfortschritt erheblich verbessert werden.^{19, 33, 34, 41, 62, 64, 97, 99}

Stone und Nicolas^{112, 113} stellten variierende Temperaturempfindlichkeiten in unterschiedlichen Weizensorten fest, was auch für die beiden in der vorliegenden Arbeit⁶⁵ untersuchten Braugersten Marthe und Tipple bestätigt wurde. Die Braugerste Tipple zeigte sich dahingehend deutlich temperaturempfindlicher als die Braugerste Marthe, wobei nicht untersucht wurde, ob dies sortenspezifisch ist oder von den jeweiligen Aufwuchsbedingungen abhängt.

Aufgrund des gefundenen optimalen Weichtemperaturbereiches von 20 - 25 °C für beide Braugersten scheinen heutige Braugerstensorten generell nicht so temperaturempfindlich zu sein wie frühere. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich die durchschnittlichen Frühjahrstemperaturen aufgrund des Klimawandels seit den 60er Jahren um etwa 2 °C erhöht haben¹³⁶. Nach Korrf¹³⁷ ist die Gerstenqualität neben dem saisonalen Temperaturmittelwert¹³⁶ hauptsächlich von den „klimatischen Eck- und Extremwerten“¹³⁷ abhängig. Beim jährlichen Auswahlprozess der Züchter könnten sich dabei Braugersten mit erhöhter Wärmetoleranz durchgesetzt haben.

Die erneute Überprüfung des Einflusses der Weichtemperatur war zudem aus technologischer Sicht wichtig, weil in den früheren Untersuchungen^{12, 16, 40, 76, 95, 108, 118} sehr lange Nassweichzeiten in Kombination mit kurzen Luftrasten bzw. Nassweichverfahren ohne Luftrast (bis zu 48 Stunden) angewendet wurden. Beides führt nach heutigem Kenntnisstand zu erhöhtem Stress für das Getreide und hemmt die Ankeimung. Der Stress resultiert dabei aus der geringen Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser und einer damit einhergehenden Sauerstoffunterversorgung des Getreides während der Nassweichen. Das führt wiederum dazu, dass der Stoffwechsel von Atmung auf Gärung umgestellt wird und die Bildung Alkohol und Kohlendioxid die Keimung hemmt. Während der Luftrast kann sich das ankeimende Getreide von der eher anaerob geprägten Nassweiche erholen, den Stoffwechsel wieder auf Atmung umstellen und dadurch im Verlauf der zweiten Nassweiche wieder schneller Wasser aufnehmen.^{22, 26, 50, 59, 94, 125}

Bereits im Jahr 1967 empfahlen Narziß und Kieninger⁷⁵ deshalb Luftrasten von mindestens 12 bis 13 Stunden, um eine gleichmäßige Ankeimung und eine ausreichende zytolytische Modifikation zu gewährleisten.

In den Untersuchungen dieser Arbeit (s. Kap. 2.1.2) wurde zum einen überprüft, ob dieser Zusammenhang auch für aktuelle Braugerstensorten gültig ist und zum anderen, ob eine Beschleunigung des Mälzungsprozesses durch eine Verkürzung der Luftrast möglich ist. Dazu wurde die Luftrast zwischen 7 und 34 Stunden variiert.

Dabei konnte eine optimale Luftrastdauer von 17 - 19 Stunden im Hinblick auf die resultierende Zytolyse und Homogenität identifiziert werden. Eine derart ausgedehnte

Luftrast ist auch unter Berücksichtigung der Erkenntnisse von Wilhelmson et al.¹²⁵ sinnvoll. Aus deren Messungen der Alkoholkonzentration in der Weichgutabluft ergab sich, dass der Stoffwechsel erst nach etwa 14 - 16 Stunden Luftrast wieder vollständig auf Atmung umgestellt wird.

Eine weitere Verlängerung der Luftrast über den optimalen Bereich hinaus führte zu keiner weiteren Verbesserung der Malzqualität, da die Erholungsphase bereits abgeschlossen war.

Möglicherweise dehnten Narziß und Kieninger⁷⁵ ihren optimalen Bereich von 12 - 13 Stunden nicht weiter aus, da von einem üblichen täglichen Chargenwechsel im Mälzungsprozess ausgegangen wurde, bei dem für das Weichen inkl. Ein- und Ausweichen nur 24 Stunden zur Verfügung stehen. Bei heutigen Weichverfahren arbeitet man jedoch mit kürzeren Nassweichen, sodass eine ausgedehntere Luftrast möglich ist.

Eine Verkürzung der Mälzungsdauer durch eine Reduzierung der Luftrast war allerdings auch für die untersuchten aktuellen Braugerstenzüchtungen nicht möglich. Dies konnte anhand von 80 - 130 % höheren β -Glukangehalten bei Luftrasten von 15 - 7 Stunden gegenüber 19 Stunden nachgewiesen werden. Allerdings wurde in diesem Zusammenhang der Einfluss höherer, als die in der Literatur empfohlenen Temperaturen von 12 - 17 °C^{51, 71, 74, 90}, nicht untersucht. Möglicherweise würden jedoch höhere Luftrasttemperaturen die benötigte Erholungsphase nach der ersten Nassweiche aufgrund eines beschleunigt einsetzenden Stoffwechsels verkürzen. Damit könnte eine Reduzierung der Mälzungsdauer durch die Verkürzung der Luftrast unter Umständen doch ermöglicht werden. Auch dies sollte in weiterführenden Versuchsreihen überprüft werden.

Eine fehlende Belüftung des Weichgutes während der Luftrasten könnte ein weiterer Grund für die gefundenen Nachteile hoher Weichtemperaturen in den früheren Untersuchungen gewesen sein. Baxter et al.^{11, 12}, Reeves et al.⁹⁵ und Sommer¹⁰⁸ haben in ihren Veröffentlichungen nicht beschrieben, ob eine Belüftung während der Luftrasten stattgefunden hat. Die Tatsache, dass zur damaligen Zeit häufig noch keine Druckbelüftung für die Nassweichen bzw. CO₂-Absaugung für die Luftrasten installiert waren, lässt jedoch Rückschlüsse auf eine fehlende Belüftung zu.

Das bei der Ankeimung vermehrt entstehende Kohlendioxid sollte aber während der Luftrast aus dem Weichgut ausgetrieben bzw. abgesaugt werden, da es die Ankeimung hemmt und somit eine längere Keimzeit notwendig macht.^{29, 120, 125}

Ein derartiger Nachteil konnte in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit explizit ausgeschlossen werden, weil die Proben während der Nassweichen und Luftrasten durchgehend belüftet wurden.

Die Versuche zur Optimierung der Nassweichzeiten wurden im Gegensatz zu den Versuchen zur Variation der Luftrast bei einer hohen Weichtemperatur von 20 - 22 °C durchgeführt (s. Kap. 2.1.3)⁶⁷, da die Weichwassertemperatur, neben der Nassweichdauer, einen entscheidenden Einfluss auf die Wasseraufnahme hat¹³⁴.

Aufgrund der Tatsachen, dass sich zu lange Nassweichzeiten negativ auf die Malzqualität auswirken können^{22, 26, 50, 59, 94, 125} und die Wasseraufnahme bei höheren Weichwassertemperaturen schneller ist^{108, 134}, war es notwendig die optimalen Nassweichzeiten für die im „optimierten Mälzungsverfahren“ angewendete Weichtemperatur zu identifizieren. Anhand der Ergebnisse wurde eine 5 - 6-stündige erste und eine 20 - 90-minütige zweite Nassweiche im Hinblick auf eine schnelle, homogene Ankeimung und daraus resultierend auf eine maximal beschleunigte Zytolyse festgelegt.

Bei der ersten Nassweiche konnte eine direkte Korrelation zwischen der Dauer bis zu 6 Stunden, dem erzielten Weichgrad und der Keimaktivität aufgezeigt werden. Eine Verlängerung über 6 Stunden hatte keine signifikante Wasseraufnahme und deshalb auch keine Beschleunigung der Ankeimung mehr zur Folge.

Die Versuche mit kürzeren ersten Nassweichen unter 5 - 6 Stunden führten zu niedrigeren Weichgraden, einer langsameren Ankeimung und einer reduzierten zytolytischen Modifikation der Malze um etwa 25 %. Eine Erklärung dafür ist eine, weniger weitreichende Wasserverteilung im Korn bei kürzeren ersten Nassweichen^{5, 93}. Es dauert demnach länger bis das aufgenommene Wasser bis in die Spitze des Getreidekornes diffundiert ist und den zellwandabbauenden Enzymen einen Zugang zum Substrat ermöglicht.

Die Verlängerung der zweiten Nassweiche von 1 h auf 2,5 Stunden führte lediglich zu einer Weichgraderhöhung von unter einem Prozentpunkt, aber zu keiner nachweislichen Steigerung der Ankeimrate. Auch Baxter et al.^{11, 12} und Huang et al.⁴⁰ berichteten, dass die erste Nassweiche wichtiger für die Wasseraufnahme ist, da die Dauer der ersten Nassweiche mit dem erzielten Weichgrad korreliert und ein unzureichender Weichgrad nicht durch die zweite Nassweiche ausgeglichen werden kann.

Demnach und aufgrund der geringen Sauerstoffverfügbarkeit im Weichwasser sowie der damit einhergehenden Stresssituation für das bereits keimende Getreide¹²⁵, sollte die zweite Nassweiche so kurz wie möglich gehalten werden.

Im Gegensatz zu den Versuchen dieser Arbeit wurden in den früheren Untersuchungen^{12, 16, 40, 76, 95, 108, 118} die optimalen Nassweichzeiten für die gewählten Weichtemperaturen nicht vorab ermittelt. Die Wasseraufnahme wird jedoch, wie oben beschrieben, nach einer bestimmten Nassweichzeit deutlich langsamer und durch die schnellere Wasseraufnahme bei höheren Temperaturen^{108, 134} ist die anfänglich lineare Wasseraufnahme früher abgeschlossen. Eine Ankeimhemmung durch zu lange Nassweichen könnte daher durch höhere Weichtemperaturen weiter verstärkt worden sein. Dies könnte wiederum zu den aufgezeigten negativen Einflüssen, wie z. B. niedrigere Extraktgehalte und geringere Enzymaktivitäten, geführt haben.

Auch bei den Untersuchungen zum Einfluss der Weichtemperatur (s. Kap. 2.1.1)⁶⁵ wurden die notwendigen Nassweichzeiten für die jeweilige Weichtemperatur zur Vermeidung unnötig langer Nassweichen angepasst. Damit wurde zusätzlich gewährleistet, dass für alle Proben unterschiedlicher Weichtemperatur derselbe Weichgrad eingestellt wird. Hiermit konnte ein Einfluss des Weichgrades, in der Zeit zwischen dem Ausweichen und der Weichgradeinstellung beim Keimen, auf die Ankeimung und resultierende Malzqualität (z. B. Zytolyse, Proteolyse, Schwand) ausgeschlossen werden. In den meisten der früheren Untersuchungen wurde dahingegen nicht einmal der Weichgrad während der gesamten Keimung konstant gehalten.

4.2 Keimen

Während der Keimung hat die Temperatur, neben dem Weichgrad und der Keimzeit, den größten Einfluss auf die resultierende Malzqualität¹⁰⁸. Für die Optimierung dieses Prozessschrittes wurde deshalb der Einfluss der Keimtemperatur im Bereich von 16 °C bis 28 °C auf die resultierende Malzqualität untersucht (s. Kap. 2.2.1)⁶⁶. Bis maximal 24 °C konnte dabei die Keimung durch die Anwendung höherer Temperaturen verkürzt werden, ohne den Mälzungsschwand zu erhöhen. Konkret wurde im angewandten Versuchsaufbau für eine Erhöhung der Keimtemperatur um 4 °C eine Keimzeitreduzierung von etwa 24 Stunden, unter Einhaltung der MEBAK-Spezifikationen, erzielt.

Auch das Keimen bei höheren als in der Literatur empfohlenen Temperaturen von 12 - 17 °C^{73, 84, 110, 123} stellte sich daher, entgegen früherer Untersuchungen, als vorteilhaft heraus.

Postulierte Nachteile des wärmeren Keimens, wie ein erhöhter Mälzungsschwand^{12, 91, 110, 130}, eine zu geringe proteolytische Modifikation^{73, 84, 109, 123, 130}

und Läuterschwierigkeiten^{12, 72}, wurden bis zu einer Keimtemperatur von 24 °C nicht bestätigt.

In den früheren Untersuchungen wurden entweder höhere Keimtemperaturen ohne Reduzierung der Keimzeit untersucht oder die Keimzeitverkürzung wurde scheinbar willkürlich festgelegt. Dahingegen wurden im Versuchsaufbau dieser Arbeit Proben nach unterschiedlichen Keimzeiten gedarrt, um die notwendige Keimzeitreduktion für die Kompensation eines höheren Mälzungsschwandes festzulegen. Anschließend wurden die schneller vermälzten Proben, die einen geringeren oder gleichwertigen Mälzungsschwand im Vergleich zur Referenzprobe (16 °C, 5 Keimtage) aufwiesen, zur Beurteilung bzw. zum Vergleich der Malzqualitäten herangezogen. Damit konnte ein erhöhter Mälzungsschwand bei höheren Keimtemperaturen im Vornhinein ausgeschlossen werden. Vermutlich hätte in früheren Untersuchungen eine andere Wahl der Keimzeitverkürzungen bei erhöhten Keimtemperaturen generell nicht zu einem höheren Mälzungsschwand geführt.

In zahlreichen Veröffentlichungen^{72, 84, 103, 110, 111, 123, 130} wurde eine beschleunigte zytolytische Modifikation bei der Anwendung erhöhter Keimtemperaturen nachgewiesen, was bis zu einer Keimtemperatur von 20 °C auch in dieser Arbeit bestätigt werden konnte. Beim Vergleich der Referenztemperatur von 16 °C mit 24 °C wurde jedoch eine leicht verringerte zytolytische Modifikation (Mürbigkeit, β -Glukangehalt) aufgezeigt. Allerdings konnte auch bei 24 °C eine nach den MEBAK-Spezifikationen sehr hohe Zellwandlösung nachgewiesen werden. Die optimale Keimtemperatur im Hinblick auf die Zytolyse für den Versuchsaufbau dieser Untersuchung schien deshalb zwischen 20 - 22 °C zu liegen.

Analog dazu waren die α - und β -Amylaseaktivitäten bei 20 °C gleichwertig bzw. leicht höher und bei 24 °C leicht niedriger im Vergleich zur Referenztemperatur von 16 °C. In früheren Untersuchungen^{12, 73, 84, 111, 121, 122, 123, 130} wurden im Gegensatz dazu generell geringere Enzymaktivitäten bei höheren Temperaturen beobachtet.

Die positiven Einflüsse der Keimtemperatur von 20 °C gegenüber 16 °C können ebenfalls mit den bereits vermuteten veränderten Mälzungseigenschaften im Hinblick auf eine höhere Wärmetoleranz aktueller Braugerstensorten erklärt werden. Außerdem zeigten die Untersuchungen von Savin et al.^{101, 102}, dass wärmere Wachstumsbedingungen zu einer gesteigerten zytolytischen und amylytischen Enzymkraft führen.

Außerdem könnten die verminderten Stressbedingungen beim angewandten Weichverfahren mit kurzen Nassweichen und einer ausgedehnten Luftrast dazu geführt

haben, dass die Gerste besser auf die höheren Keimtemperaturen reagierte (s. Kap. 4.1).

Ebenfalls bestätigt wurde ein negativer Einfluss höherer Keimtemperaturen auf den Extraktgehalt im Malz^{12, 73, 84, 111, 121, 122, 123, 130}. Für den Temperaturbereich von 16 - 24 °C konnte eine Extraktverringerung von -0,2 Prozentpunkte / °C ermittelt werden. Theoretisch können geringere Extraktgehalte mit einer geringeren zytolytischen Modifikation, d. h. eine eingeschränkte Zugänglichkeit der stärkeabbauenden Amylasen zum Substrat, mit geringeren α - und β -Amylaseaktivitäten oder mit einem höheren Mälzungsschwind erklärt werden. Keine dieser Möglichkeiten war jedoch in der vorliegenden Untersuchung gegeben.

Allerdings konnten, im Vergleich zur Referenztemperatur von 16 °C, um 0,08 - 0,15 Prozentpunkte höhere Endvergärungsgrade bei Keimtemperaturen bis 24 °C bestimmt werden. Dieser Zusammenhang wurde ebenfalls von Narziß und Hellich⁷³ nachgewiesen. Der Endvergärungsgrad stellt das Maß für die in der Brauerei mögliche Alkoholausbeute im Bezug auf den eingesetzten Extrakt des Malzes dar. Ein höherer Endvergärungsgrad sollte deshalb die Extraktreduzierung teilweise wieder ausgleichen (s. Tab. 5).

Außerdem macht der lösliche Stickstoff einen Teil des Extraktes aus, welcher bei den wärmer gekeimten Malzen zwar niedriger als beim Referenzmalz ausfiel, jedoch innerhalb der MEBAK-Spezifikationen lag. Deshalb sind diese Anteile der Extraktverringerung für die Brauereiausbeute nicht relevant.

Unter Berücksichtigung der höheren Endvergärungsgrade und der geringeren Stickstoffgehalte konnte die Extraktverringerung für das 20 °C-Malz nahezu vollständig und für das der 24 °C-Malz um etwa 26 % relativiert werden.

Tabelle 5: Variation der Keimtemperatur - Korrektur des Extraktunterschiedes zwischen der Referenztemperatur von 16 °C und 20 °C bzw. 24 °C durch Einbeziehung des Endvergärungsgrades und des löslichen Stickstoffgehaltes.

Keimtemperatur in °C	Extraktunterschied in %-P.	abzgl. EVG in %-P. Extrakt	abzgl. lösl. N in %-P. Extrakt	korrigierter Extraktunterschied in %-P.
16	Referenzprobe			
20	0,81	0,60	0,10	<u>0,11</u>
24	1,60	0,31	0,15	<u>1,14</u>

Die Eiweißlösung im Malz soll im Gegensatz zur Zytolyse nicht so weit wie möglich fortgeschritten sein, sondern in einem gewissen Ausmaß erfolgen. Nach Narziß⁸⁴ ist eine

unzureichende Eiweißlösung nur teilweise beim Maischen wieder auszugleichen und sollte daher vermieden werden.

Durch die angewendeten höheren Keimtemperaturen und die dadurch ermöglichte Keimzeitverkürzung wurde die proteolytische Modifikation reduziert, was sich in niedrigeren Kolbachzahlen und geringeren Gehalten an freiem Aminostickstoff (FAN) im Malz widerspiegelte. Dies konnte ebenso in früheren Untersuchungen^{73, 84, 109, 123, 130} aufgezeigt werden, wobei jedoch die Eiweißlösung häufig zu gering war. Im Gegensatz dazu lagen die Kolbachzahlen und FAN-Gehalte bei der Anwendung höherer Keimtemperaturen bis zu 24 °C in dieser Arbeit optimal im von der MEBAK empfohlenen Normbereich während die proteolytische Modifikation bei der Referenztemperatur von 16 °C zu hoch ausfiel.

Eine Erklärung dafür ist, dass aktuelle Braugerstensorten aufgrund der gesteigerten proteolytischen Enzymkraft häufig eine zu hohe Eiweißlösung aufweisen. Proteolytisch hochlösende Gerstenpartien können zu einer unzureichenden Schaumhaltbarkeit und erhöhten Trübungsneigung führen.³³

Außerdem können die höheren proteolytischen Lösungseigenschaften heutiger Braugersten möglicherweise ebenfalls mit den durchschnittlich wärmeren Frühlingstemperaturen in den letzten Jahrzehnten¹³⁶ erklärt werden. Die Untersuchungen von Savin et al.^{101, 102} haben gezeigt, dass wärmere Wachstumsbedingungen zu einer gesteigerten proteolytischen Enzymkraft führen.

Ein weiterer Nachteil sind entsprechend zu hohe FAN-Gehalte, die nach Wietstock et al.¹²⁴ einen negativen Einfluss auf die oxidative Geschmacksstabilität haben. Aminosäuren, als ein Hauptbestandteil des FAN, dienen dabei als Vorstufen von Alterungskarbylen, den sogenannten Streckeraldehyden, die durch Oxidation der Aminosäuren gebildet werden können. Eine Erhöhung der Keimtemperatur kann demnach, wie bereits von Narziß⁸⁴ postuliert, bei proteolytisch zu hoch lösenden Braugerstenpartien als Möglichkeit zur Eindämmung der Eiweißlösung genutzt werden.

Ein weiterer Effekt des Keimens bei höheren Temperaturen waren hellere Kochfarben in den Kongresswürzen, was sich anhand der gefundenen geringeren FAN-Gehalte erklären lässt. Dementsprechend standen beim Darren weniger Aminosäuren als Reaktionspartner für Maillard-Reaktionen für eine Melanoidinbildung zur Verfügung. Die helleren Farben geben einen weiteren Hinweis auf eine zu erwartende höhere oxidative Geschmacksstabilität im fertigen Bier, worauf im späteren Verlauf der Diskussion näher eingegangen wird.

Zusammenfassend konnte die Mälzungsdauer in dem Versuchsaufbau dieser Arbeit auf Basis der durch höhere Keimtemperaturen beschleunigten Zytolyse reduziert

werden. Dabei wurden früher beschriebene negative Einflüsse auf die Malzqualität, wie erheblich verringerte Enzymaktivitäten, eine zu geringe proteolytische Modifikation und Läuterschwierigkeiten^{12, 72} nicht bestätigt. Hinsichtlich einer optimalen Proteolyse konnte die Malzqualität sogar aufgrund der Reduktion der Eiweißlösung verbessert werden.

Konkret war durch das Keimen bei 20 °C gegenüber der Referenztemperatur von 16 °C eine Einsparung von einem Keimtag und bei 24 °C von zwei Keimtagen möglich ohne den Mälzungsschwand zu erhöhen. Allerdings lag die optimale Keimtemperatur eher bei 20 °C, da im Vergleich zu 24 °C eine geringere zytolytische Modifikation und Homogenität sowie verringerte Enzymaktivitäten aufgezeigt wurden. Zudem konnte bei 24 °C die Extraktverringerung gegenüber 16 °C nur teilweise durch einen erhöhten Endvergärungsgrad ausgeglichen werden. Deshalb wurde für das „optimierte Mälzungsverfahren“ ein Keimprogramm mit Temperaturen zwischen 20 - 22 °C festgelegt.

4.3 Darren

Beim Darren wird die Keimung durch Trocknen des hinreichend gelösten Grünmalzes abgebrochen. Der Darrprozess wird neben der Schichthöhe des zu darrenden Grünmalzes, dem Luftdurchsatz und der Luftfeuchtigkeit der Zuluft hauptsächlich durch die Zulufttemperatur beeinflusst.^{36, 105}

Die Schwelktemperatur ist ein kritischer Darrparameter. Bei den üblichen Schwelktemperaturen zwischen 50 °C und 65 °C, insbesondere zu Anfang des Darrprozesses bei einer noch hohen Malzfeuchte, finden weiterhin Wachstum und zahlreiche enzymatische Abbauvorgänge statt.^{36, 79, 82, 98}

Hervorzuheben ist dabei eine gesteigerte Zytolyse^{32, 36, 42, 80}, weshalb der Einfluss sehr niedriger, in der Mälzerei unüblicher Schwelktemperaturen von 30 - 45 °C auf die Malzqualität untersucht wurde (s. Kap. 2.3.1)⁶⁸.

Dabei konnte generell eine gesteigerte Zytolyse^{32, 36, 42, 80} und eine gehemmte Proteolyse^{8, 49, 77, 78, 80, 81, 82, 98} bei der Anwendung niedrigerer Schwelktemperaturen in früheren Untersuchungen für aktuelle Braugerstensorten bestätigt werden.

Zwischen der Zytolyse (β -Glukangehalt, β -Glukanaseaktivität, Mürbigkeit) und der Schwelktemperatur konnte sogar eine lineare Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,95$ aufgezeigt werden. Beim Vergleich der Schwelktemperaturen 30 °C und 60 °C ergab sich dabei sogar ein 42 % niedrigerer β -Glukangehalt und eine um etwa 9 % höhere Mürbigkeit. Diese beschleunigte zytolytische Modifikation kann mit einer erheblichen Inaktivierung der β -Glukanase um etwa 88 % beim Vergleich der

niedrigsten und höchsten Schwelktemperatur erklärt werden. Auch dieser Zusammenhang bestätigte die Erkenntnisse früherer Untersuchungen^{15, 18, 77, 80, 92}, in denen eine hohe Temperaturempfindlichkeit der Hemizellulasen, wie β -Glukanasen, beim Darren bzw. eine höhere Aktivität bei niedrigeren Schwelktemperaturen festgestellt wurde.

Die um 2,7 Prozentpunkte höhere Kolbachzahl bei der Erhöhung der Temperatur von 30 °C auf 60 °C kann im Gegensatz dazu mit einer höheren Proteasenaktivität bei Schwelktemperaturen zwischen 50 °C und 70 °C erklärt werden^{8, 49, 77, 78, 80, 81, 82, 98}. Die Eiweißlösung konnte mit niedrigeren Schwelktemperaturen sogar in Richtung des von der MEBAK empfohlenen Optimums gesenkt werden. Wie die Anwendung höherer Keimtemperaturen⁸⁴ (s. Kap. 4.2), ist damit auch die Anwendung von niedrigen Schwelktemperaturen eine geeignete Möglichkeit zur Begrenzung hoher Eiweißlösungsgrade, was bereits von Narziß und Lintz⁷⁸ dargelegt wurde.

Höhere Schwelktemperaturen beschleunigen die Maillard-Reaktionen, bei denen unter anderem die farbgebenden Melanoidine gebildet werden. Zusätzlich sind durch eine höhere Eiweißlösung mehr Aminosäuren für Maillard-Reaktionen verfügbar, wodurch bei höheren Schwelktemperaturen mehr Melanoidine gebildet wurden.^{8, 32, 42, 43}

Diese Zusammenhänge sind der Grund für die etwa 4 EBC höheren Kochfarben beim Vergleich der 30 °C- und 60 °C-Malze.

Die mit 10 - 14 EBC im Vergleich zum MEBAK-Normbereich von 4 - 6 EBC⁶³ generell zu hohen Kochfarben können möglicherweise mit einer Oxidation von Polyphenolen erklärt werden. Durch den Einfrier- / Auftauprozess des Grünmalzes und den daraus vermutlich resultierenden Zellbeschädigungen könnten vermehrt Polyphenole freigesetzt worden sein²¹, die beim Darrprozess und bei der Kochung der Kongresswürze oxidiert wurden. Trotz alledem geben die im Verhältnis verringerten Kochfarben bei niedrigen Schwelktemperaturen einen Hinweis auf eine höhere oxidative Geschmackstabilität von aus den Malzen produzierten Bieren^{52, 53, 54, 55}, worauf im späteren Verlauf der Diskussion näher eingegangen wird.

Die farbgebenden Melanoidine sind leicht saure Verbindungen, weshalb die Farbe mit dem pH-Wert im Malz korrelierte. Beim Vergleich der 30 °C- und 60 °C-Proben wurde daher ein 0,1 niedrigerer pH-Wert beobachtet.

Durch die relative Temperaturunempfindlichkeit der α -Amylasen^{8, 42} und weil die β -Amylase erst ab Darrrtemperaturen von 60 °C¹⁰⁵ inaktiviert wird, wurde kein Einfluss der Schwelktemperatur auf die Enzymaktivitäten nachgewiesen.

Wie zuvor beschrieben (s. Kap. 2.3.1) ergeben sich durch die Trocknung des Malzes von unten inhomogene Verhältnisse durch unterschiedliche Trocknungsgeschwindigkeiten und Temperaturverläufe in verschiedenen Schichthöhen^{79, 86}. Beobachtete gesteigerte zytolytische und proteolytische Lösungen in den Proben der oberen Schicht können daher mit einem länger anhaltenden höheren Feuchtegehalt bei deutlich niedrigeren Temperaturen erklärt werden. Dadurch fand in den oberen Schichten die enzymatische Modifikation des Malzes erheblich länger statt.

Außerdem konnte dem Schwelken bei niedrigeren Temperaturen ein indirekter, positiver Einfluss auf die resultierende Homogenität einer Malzcharge zugesprochen werden, weil geringere Unterschiede zwischen den Malzproben aus der oberen und unteren Darrschicht insbesondere für die Analyseparameter β -Glukangehalt, Kolbachzahl und Kochfarbe nachgewiesen wurden.

Aufgrund der erheblich beschleunigten Zytolyse bei der Anwendung niedriger Schwelktemperaturen sollte die Verlängerung des Schwelkprozesses durch eine Keimzeitverkürzung ohne Weiteres auszugleichen sein.

Eine Beurteilung des Einflusses der Schwelktemperatur auf den Mälzungsschwand war in den Untersuchungen nicht möglich, da tiefgefrorenes Grünmalz verwendet wurde, um für alle Schwelkversuche dasselbe Ausgangsmaterial zu nutzen und jegliche Einflüsse des Weichens und Keimens auszuschließen. Durch das Einfrieren des Grünmalzes wurde jedoch der Keimling der Gerstenkörner abgetötet, sodass während des Darrprozesses weder Wachstum noch Atmung stattfinden konnten. Enzymatische Abbauvorgänge waren dahingegen weiterhin möglich.

Allerdings wurde von Schuster et al.¹⁰⁵ und Reinikainen et al.⁹⁶ eine Erhöhung des Mälzungsschwandes bei der Anwendung niedriger Darrtemperaturen nachgewiesen.

Außerdem führten niedrige Schwelktemperaturen zur erheblichen Verlängerung des Darrprozesses und daraus resultierend zu höheren Energiekosten für den Darrventilator³⁵. Der thermische Energiebedarf wurde dahingegen nicht beeinflusst. Die längere Beheizungsdauer wurde demnach durch die reduzierte Erhitzung der Luft ausgeglichen.

In der Industriemälzerei wird in der Regel mit täglichem Chargenwechsel gearbeitet, sodass je nach Darrsystem 24 oder 48 Stunden für den Darrprozess zur Verfügung stehen. Deshalb sollte das Grünmalz lediglich die ersten Stunden des Schwelkprozesses mit niedrigen Temperaturen bis zu einem Wassergehalt von unter 30 % vorgetrocknet werden. Damit wird der Darrprozess nicht übermäßig verlängert und die Stromkosten für den Darrventilator sowie der Mälzungsschwand nicht unnötig

erhöht. Diese Vorgehensweise sollte die beschriebenen Vorteile von sehr niedrigen Schwelktemperaturen im Bereich von 35 - 40 °C bei einer akzeptablen Darrzeit ebenfalls ermöglichen, denn enzymatische Vorgänge finden im Korn bis zu einem Wassergehalt von etwa 20 - 30 % statt^{10, 49, 57, 79, 82}. Damit sollte ein β -Glukanabbau während des Darrprozesses bis zur Erhöhung der Schwelktemperatur zum größten Teil abgeschlossen sein.

Außerdem sollte die Proteolyse aufgrund der für die Proteasen suboptimalen, niedrigen Schwelktemperatur^{8, 49, 77, 78, 80, 81, 82, 98} gebremst werden. Zusätzlich wird die Proteolyse nach der Erhöhung der Schwelktemperatur durch den bereits geringen Wassergehalt reduziert.

Weiterführende Untersuchungen sollten deshalb dahingehend angelegt werden, den optimalen Zeitpunkt für eine Erhöhung der Schwelktemperatur zu ermitteln. Außerdem sollten die Versuche im Pilot- oder besser noch im Industriemaßstab erfolgen, um den Einfluss einer industriellen Schichthöhe zu berücksichtigen.

4.4 Betrachtung des „optimierten Mälzungsverfahrens“

4.4.1 Reduzierung der Mälzungsdauer

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein „optimiertes Mälzungsverfahren“ zur Reduzierung der Mälzungsdauer zu entwickeln, mit dem eine adäquate, den MEBAK-Spezifikationen entsprechende Malzqualität erzielt werden kann. Dabei sollte das Mälzungsverfahren gemäß dem deutschen Reinheitsgebot ohne Wachstumsregulatoren auskommen und ein erhöhter Mälzungsschwund vermieden werden. Zunächst wurden die Parameter Weich-⁶⁵, Keim-⁶⁶ und Schwelktemperatur⁶⁸ und die Dauer der Luftrast sowie der beiden Nassweichen⁶⁷ separat untersucht (s. Kap. 2). Im Anschluss daran wurden die Forschungsergebnisse in einem „optimierten Mälzungsverfahren“ vereinigt, das weiterentwickelt und mit 7-tägigen Referenzmälzungsverfahren, dem Standardlaborverfahren nach MEBAK⁶³ und einem simulierten Industrieverfahren, verglichen wurde (s. Kap. 3)⁶⁹.

Auf eine empirische Ermittlung der Mälzungsdauerreduzierung waren nur die Untersuchungsreihen zum Einfluss erhöhter Keimtemperaturen (s. Kap. 2.2.1)⁶⁶ und zum Einfluss der Luftrastdauer ausgelegt (s. Kap. 2.1.2).

Bei den Versuchen zu erhöhten Keimtemperaturen wurde für das „optimierte Mälzungsverfahren“ ein Keimprogramm mit Temperaturen zwischen 20 - 22 °C festgelegt (s. Kap. 4.2). Dabei ergab sich beim Vergleich mit der Keimtemperatur von 16 °C eine potenzielle Keimzeitreduzierung von etwa einem Tag.

Die Untersuchungen zum Einfluss der Luftrastdauer ergaben, dass sich eine verkürzte Luftrast negativ auf die resultierende Malzqualität auswirkt und daher für eine Reduzierung der Produktionszeit ausgeschlossen werden kann (s. Kap. 2.1.2). Selbst bei einem Ausgleich der Luftrastreduzierung durch eine entsprechend längere Keimzeit wurde eine schlechtere zytolytische Modifikation aufgezeigt. Die optimale, bzw. die schnellste und homogenste Ankeimung wurde für eine Luftrastdauer von > 17 Stunden aufgezeigt.

Bei der Variation der Nassweichzeiten⁶⁷ wurde die höchste zytolytische Modifikation bei der Anwendung einer ersten Nassweiche von 5 - 6 Stunden und einer kurzen zweiten Nassweiche von 20 - 90 Minuten identifiziert.

Eine Verkürzung des Weichprogramms zur Reduzierung der Mälzungsdauer wäre demnach nicht zielführend gewesen, weil sie sich nachteilig auf die Zytolyse ausgewirkt hätte.

Die anderen beiden Untersuchungen zu den Einflüssen der Weich-⁶⁵ und der Schwelktemperatur⁶⁸ dienten lediglich der separaten Optimierung der einzelnen Mälzungsparameter und nicht der direkten Verkürzung der Mälzungsdauer.

Dennoch war es aufgrund der Vorteile der optimierten Parameter, hauptsächlich durch eine forcierte Zytolyse, möglich, die Keimzeit weiter zu verkürzen. Die für die „optimierte Mälzung“ übernommenen Weich- und Keimparameter führten im Vergleich zu den Parametern des simulierten Industrieverfahrens zu einer schnelleren Ankeimung (s. Abb. 17, Kap. 3.3.1) und damit zu einer schneller einsetzenden Enzyymbildung bzw. zytolytischen Modifikation. Anhand der erheblich schnelleren Ankeimung wird deutlich, dass sich – im Gegensatz zu früheren Untersuchungen aus den 60er bis 80er Jahren – heute angebaute Sommerbraugersten sehr gut zur Vermälzung bei hohen Weichtemperaturen eignen. Trotzdem sollte in der Mälzerei zukünftig die Eignung von neuen Braugersten für ein beschleunigtes Weich- und Keimprogramm regelmäßig überprüft werden, da die Temperaturempfindlichkeit in verschiedenen Jahrgängen aufgrund der Witterungsverhältnisse variieren könnte.

Zudem verstärkten niedrige Temperaturen um die 37 °C am Anfang der Schwelkphase die Aktivitäten zellwandabbauender Enzyme und die daraus resultierenden zytolytischen Vorgänge im Korn. Es konnte daher angenommen werden, dass eine weitere Reduzierung der Keimzeit kompensiert werden kann⁶⁸.

Zusammenfassend wurde für ein Keimen bei Temperaturen zwischen 20 °C und 22 °C. eine mögliche Keimzeitverkürzung von 1 - 1,5 Tagen aufgezeigt. Die Optimierung der anderen untersuchten Mälzungsparameter beschleunigte die Ankeimung und damit die

zytolytische Modifikation, was eine weitere, allerdings undefinierbare Keimzeitverkürzung implizierte. Schlussendlich wurde das „optimierte Mälzungsverfahren“ im Vergleich zur Referenzmälzung um 42 Stunden verkürzt. Dabei konnte eine adäquate Malzqualität ohne Erhöhung des Mälzungsschwandes erzielt werden.

4.4.2 Betrachtung der Malzqualität

Die beschleunigt bzw. mit dem simulierten Industrieverfahren produzierten Malzproben⁶⁹ wurden mittels Malzanalysen nach MEBAK untersucht. Dabei lagen sämtliche Malzanalyseparameter aller Proben innerhalb der empfohlenen Spezifikationen.

Zusätzlich wurde das „optimierte Mälzungsverfahren“ mit einem in der Industrie angewendeten Mälzungsverfahren hinsichtlich der Malzqualität und der Verarbeitbarkeit verglichen. Im Folgenden werden die wichtigsten Vor- und Nachteile des „optimierten Mälzungsverfahrens“ diskutiert.

4.4.2.1 Extrakt und Enzymausbeute

Der Extraktgehalt im Malz ist für die Brauerei der entscheidende Parameter im Hinblick auf die Ausbeute. Deshalb war der wichtigste Nachteil des „optimierten Mälzungsverfahrens“ gegenüber der Referenzmälzung eine Verringerung der Extraktgehalte um durchschnittlich etwa 0,9 Prozentpunkte (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Dennoch lagen alle Extraktgehalte innerhalb der MEBAK-Spezifikationen⁶³.

In früheren Untersuchungen zum Einfluss der Keimtemperatur^{12, 72, 84, 91, 110, 111, 123, 130} konnten ebenfalls verringerte Extraktgehalte bei höheren Keimtemperaturen beobachtet werden. Erklärt wurde dies jedoch mit einem erhöhten Wachstum. Ein erhöhtes Wachstum wurde jedoch in dieser Arbeit im Vornhinein ausgeschlossen, da nur Malzproben mit gleichwertigen oder geringerem Mälzungsschwand verglichen wurden. Die Verringerung des Extraktgehaltes betrug dennoch etwa -0,2 Prozentpunkte / °C im Bereich von 16 °C und 24 °C trotz Keimzeitverkürzung. Unter Berücksichtigung der höheren Endvergärungsgrade und der geringeren Stickstoffgehalte konnte die Extraktverringerung bis 20 °C nahezu vollständig relativiert werden (s. Tab. 5, Kap. 4.2).

Analog dazu wurden die Extraktunterschiede zwischen den Malzen der beiden Mälzungsverfahren ausgewertet (s. Tab. 6). Die Berechnung ergab, dass der für die Brauerei entscheidende Extrakt durch das „optimierte Mälzungsverfahren“ lediglich um durchschnittlich etwa 0,6 Prozentpunkte verringert wurde.

Tabelle 6: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Korrektur der Extraktunterschiede zwischen den Proben des simulierten Industrieverfahrens und dem „optimierten Mälzungsverfahren 3“ durch Einbeziehung des Endvergärungsgrades und des löslichen Stickstoffgehaltes.

Braugersten-sorte	Extraktunter-schied in %-P.	abzgl. EVG in %-P. Extrakt	abzgl. lösl. N in %-P. Extrakt	korrigierter Extrakt-unterschied in %-P.
Propino	0,80	-0,30	0,03	1,07
Grace	0,71	0,50	0,05	0,16
Scarlett	0,84	0,10	0,09	0,65
Tipple	1,09	0,40	0,05	0,64
Mittel	<u>0,86</u>	0,17	0,06	<u>0,63</u>

Anhand der anderen in dieser Arbeit untersuchten Mälzungsparameter, wie Weichtemperatur, Luftstrasdauer, Nassweichzeiten und Schwelktemperatur konnte kein Einfluss auf den resultierenden Extraktgehalt im fertigen Malz beobachtet werden (s. Anhang 7.1.1, 7.1.3, 7.1.4, 7.3)

Ein weiterer Grund für die geringeren Extraktgehalte waren verminderte Aktivitäten der stärkeabbauenden α - bzw. β -Amylasen, die im Vergleich zu den Referenzmalzen um durchschnittlich 14 % bzw. 6 %, in Abhängigkeit von der Gerstensorte, reduziert waren (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Dies kann damit erklärt werden, dass die Enzyymbildung zwar durch höhere Keimtemperaturen beschleunigt wird, aber etwas verminderte maximale Enzymaktivitäten aufgrund der entsprechenden Keimzeitverkürzung erreicht werden^{12, 66, 84, 108, 111, 123, 130}.

Durch die generell höheren Enzymaktivitäten in aktuellen Braugerstensorten^{19, 33, 34, 41, 62, 64, 97, 99}, ist die Verringerung der α - bzw. β -Amylase-Aktivitäten hinsichtlich Problemen bei der Verzuckerung der Stärke beim Maischprozess vernachlässigbar. Zudem wird heutzutage mit enzymeschonenden Infusionsmaisverfahren gearbeitet.

Der optimale pH-Bereich der α - und β -Amylasen liegt zwischen 5,4 und 5,8¹⁰⁴. Von diesem lagen die beschleunigt produzierten Malze etwas weiter entfernt. Daher könnte der Stärkeabbau und damit die Extraktgewinnung durch durchschnittlich 0,06 höhere pH-Werte (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2) in den produzierten Labormaischen zusätzlich verlangsamt worden sein. Die geringfügig höheren pH-Werte können, bei Betrachtung der separat untersuchten Mälzungsparameter, ausschließlich mit der gegenüber dem Referenzverfahren verringerten Schwelktemperatur erklärt werden. Mit steigenden Schwelktemperaturen werden über die Maillard-Reaktionen vermehrt leicht saure

Melanoidine gebildet, was dementsprechend eine pH-Absenkung und höhere Malzfarben bzw. Kochfarben zur Folge hat⁴². Dieser Zusammenhang wurde sowohl in den Versuchsreihen zum Einfluss der Schwelktemperatur⁶⁸ als auch in früheren Untersuchungen^{8, 32, 42, 43} aufgezeigt.

4.4.2.2 Zytolyse

Die Zytolyse, also der enzymatische Abbau von hochmolekularen Zellwandsubstanzen, wie Hemizellulose und Protein, zur Freisetzung der Stärke im Getreideendosperm, ist entscheidend für einen reibungslosen Brauprozess. Zytolytisch schlecht gelöste Malze oder Malze mit hohen Anteilen an nicht gekeimten Körnern führen deshalb zu erhöhten β -Glukangehalten in der Würze, wodurch es zu kostensteigernden Läuter- und Filtrationsschwierigkeiten in der Brauerei kommen kann.^{2, 24, 83}

In der Untersuchungsreihe zur Entwicklung eines „optimierten Mälzungsverfahrens“⁶⁹ konnte das Ziel einer nach den MEBAK-Spezifikationen adäquaten Zytolyse erreicht werden (Viskosität, Modifikation, Mürbigkeit, β -Glukangehalt (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Auch beim Vergleich mit dem simulierten Industrieverfahren konnte anhand der Modifikation nach Carlsberg (+6 %) und der Mürbigkeit (+3 %) eine vergleichbare bzw. höhere zytolytische Modifikation, trotz Keimzeitverkürzung von etwa zwei Tagen, aufgezeigt werden. Die Erklärung dafür ist, dass durch alle separat optimierten Mälzungsparameter^{65, 66, 67, 68}, die beim „optimierten Mälzungsverfahren“ zusammengeführt wurden, eine beschleunigte Zytolyse erzielt wurde. Eine sich durch die Keimzeitverkürzung ergebende Verringerung der Zytolyse konnte folglich durch die optimierten Mälzungsparameter kompensiert werden.

Außerdem waren die β -Glukanaseaktivitäten in den Malzen des „optimierten Mälzungsverfahrens“ zwei bis dreifach höher als bei dem Industrieverfahren (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Dies kann wiederum mit den Erkenntnissen aus der Untersuchung zum Einfluss niedriger Schwelktemperaturen⁶⁸ erklärt werden, denn die sehr temperaturempfindlichen β -Glukanasen^{15, 18, 77, 80, 92} wurden bei Reduzierung der Schwelktemperatur im deutlich geringeren Maße inaktiviert. Beim Vergleich der isothermen Schwelktemperaturen von 30 °C und 60 °C konnte sogar eine achtfach gesteigerte Aktivität aufgezeigt werden (s. Abb. 14, Kap. 2.3.1).

Trotz der höheren β -Glukanaseaktivitäten waren die β -Glukangehalte in den Kongresswürzen der „optimiert“ produzierten Malze nur bei zwei von vier der untersuchten Braugersten niedriger. Beim Kongressmaisverfahren wird eine 30-minütige Rast im Temperaturoptimum der β -Glukanasen von 45 °C gehalten, sodass ein Abbau frei zugänglicher, hochmolekularer β -Glukane auch bei geringen

β -Glukanasenaktivitäten gewährleistet sein sollte. Möglicherweise sind die höheren Aktivitäten jedoch im späteren Brauprozess von Vorteil, da in der modernen Brauerei mit Hoch-Kurzmaisverfahren gearbeitet wird. Die dabei angewendeten hohen Einmaischtemperaturen von z. B. 62 °C liegen deutlich über dem Temperaturoptimum der meisten Hemizellulasen. Damit ist ein β -Glukanabbau beim Maischen nahezu nicht mehr gegeben. Bei deutlich höheren β -Glukanaseaktivitäten könnte daher ein leicht gesteigerter Abbau in einem Hoch-Kurzmaisverfahren möglich sein, was in Zukunft überprüft werden sollte.

4.4.2.3 Homogenität

Die Ungleichmäßigkeit der Getreidekörner innerhalb einer Charge, die durch unterschiedliche Umwelteinflüsse, wie Lichtverhältnisse, Wasserversorgung, Position der Körner auf der Ähre etc. hervorgerufen wird, kann weder in der Landwirtschaft noch in der Mälzerei beeinflusst werden. Zusätzlich wird diese Heterogenität beim Mälzen durch die Mälzereitechnologie verstärkt. Chargengrößen von bis zu 300 t führen automatisch zu Inhomogenitäten innerhalb einer Charge, weil es durch die Schichthöhen von mehreren Metern beim Weichen und von 0,8 - 1,2 m beim Keimen und Darren nicht möglich ist, für alle Bereiche konstante Sauerstoffverhältnisse, Temperaturen, Wassergehalte, Druckverhältnisse etc. einzustellen.^{1, 47, 48}

Die Abweichungen dieser Parameter können zu einer ungleichmäßigen Ankeimung führen und verursachen so eine inhomogene Modifikation des Malzes. Inhomogenen Malzen wird wiederum nachgesagt Läuter- und Filtrationsprobleme hervorzurufen, da sie zumindest partiell schlecht gelöst sind. Hierdurch werden u. a. erhöhte Konzentrationen hochmolekularer und somit viskositätserhöhender β -Glukane in den Brauprozess eingebracht.^{2, 24, 48, 83}

Aufgrund der sehr geringen Schichthöhen und nahezu idealen Bedingungen bei Versuchen im Kleinmaßstab kann zwar kein Einfluss der Mälzereitechnik auf die Homogenität eines Malzes aufgezeigt werden, dafür aber ein Einfluss von variierenden Weich- und Keimparametern auf die Gleichmäßigkeit der Ankeimung. Dazu wurden die produzierten Malze zum einen mittels der Calcofluormethode nach Carlsberg analysiert und zum anderen die Homogenität der Blattkeimlängen im fertigen Malz bewertet⁶³. Anhand beider Methoden konnten für drei von vier Braugersten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Mälzungsverfahren aufgezeigt werden, wobei generell alle beschleunigt vermälzten Proben homogener waren (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Die Homogenität nach Carlsberg, welche die Gleichmäßigkeit der zytolytischen Modifikation bewertet, war um 8 % gesteigert. Damit konnte die bereits diskutierte

höhere Zytolyse, die anhand der Parameter Mürbigkeit und Modifikation für die „optimiert vermälzten“ Proben aufgezeigt wurde (s. Kap. 4.4.2.2), bestätigt werden. Analog dazu wurde die Homogenität der Blattkeimlängen um 5 % gesteigert, was auf die Optimierung der Weichparameter Temperatur, Lufrastdauer und Nassweichzeiten (s. Kap. 2.1.1 - 2.1.3) zurückzuführen ist. Diese Parameter führten zu einer schnelleren und homogenen Ankeimung (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Auch Axcell et al.⁵ und Home et al.³⁹ stellten fest, dass warmes Weichwasser eine homogene Ankeimung fördert.

Nach Aalbers et al.¹ liefert die Homogenität eines Malzes Informationen über den Weichprozess. Das resultierende Keimungsverhalten des Getreides wird nicht merklich durch die Keimung bzw. das Darren beeinflusst.

Wie bereits in Kapitel 2.3.1 erwähnt, ergeben sich jedoch beim Darren in der Grünmalzschicht extrem unterschiedliche Temperaturverhältnisse, da erwärmte Luft durch die Malzschicht von unten nach oben gedrückt wird und eine schichtenweise Trocknung stattfindet. Es resultiert eine stärkere Wärmeeinwirkung und schnellere Trocknung in den unteren Schichten.^{79, 86}

In dieser Arbeit⁶⁸ (s. Anhang 7.1.4) wurde die These aufgestellt, dass bei niedrigeren Schwelktemperaturen die Temperaturdifferenz zwischen der Darrzuluft und –abluft verringert wird und daraus gleichmäßigere Bedingungen für biochemische Reaktion^{79, 86} innerhalb des Darrgutes resultieren. Bei der Untersuchung von Malzproben aus der unteren und oberen Darrschicht ergaben sich deshalb geringere Unterschiede im β -Glukangehalt, in der Eiweißlösung und in der Kochfarbe. Hierdurch konnte eine gesteigerte Homogenität der bei niedrigeren Temperaturen geschwelkten Malze indirekt nachgewiesen werden.

4.4.2.4 Laborläutertest

Schlechte Läutereigenschaften von Malzen ist eine der häufigsten Ursache für Störungen im Produktionsablauf der Würzebereitung, da das Läutern dabei in der Regel den geschwindigkeitsbestimmenden Prozessschritt darstellt. Wie bereits beschrieben (s. Kap. 4.4.2.2, 4.4.2.3) können zytolytisch schlecht gelöste und / oder inhomogene Malze Läuter- und Filtrationsprobleme in der Brauerei hervorrufen.^{2, 24, 48, 83}

Der Malzanalyseparameter Ablaufzeit nach MEBAK⁶³ lässt nach Sarx und Rath¹⁰⁰ aufgrund einer geringen Wiederholbarkeit häufig keine eindeutige Vorhersage über das Ablaufverhalten von Malzen beim Läutern und bei der Bierfiltration zu.

Auch in dieser Arbeit wurde weder ein eindeutiger Trend für eines der beiden verglichenen Mälzungsverfahren, noch eine Korrelation zu den zytolytischen

Malzparametern^{2, 24, 48, 83} gefunden. Aufgrund der nach MEBAK generell niedrigen Ablaufzeiten konnte für keine der Malzproben ein Hinweis auf zu erwartende Läuterprobleme aufgezeigt werden (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2).

Ein negativer Einfluss des „optimierten Mälzungsverfahrens“ gegenüber dem Referenzverfahren war im Hinblick auf die gesteigerte zytolytische Modifikation und Homogenität nicht zu erwarten.

Trotz der Verwendung von hochgelösten Malzen kann es zu Läuter- und Filtrationsschwierigkeiten kommen.^{100, 119, 135}

Diese konnten jedoch mittels eines am Fachgebiet Brauwesen, TU Berlin entwickelten Laborläutertests^{65, 66, 68, 70} ausgeschlossen werden. Für das „optimiert“ produzierte Tipple-Malz konnte sogar eine signifikante Verbesserung der Läutereigenschaften gegenüber dem Referenzmalz nachgewiesen werden (s. Abb. 18, Kap. 3.3.3).

Der Test wurde in anderen Untersuchungen^{65, 68, 70} bereits erfolgreich für die Beurteilung der Läutereigenschaften von Malzen eingesetzt. Dabei konnte ein signifikant variierendes Ablaufverhalten zwischen unterschiedlich vermälzten Proben derselben Gerste aufgezeigt werden. Deshalb kann angenommen werden, dass dieser Test eine höhere Aussagekraft hat als das Ablaufverhalten nach MEBAK.

4.4.2.5 Proteolyse

Die proteolytische Modifikation, also der enzymatische Abbau von Protein aus den Zellwänden des Endosperms, dem Reserveeiweiß und der Aleuronschicht, sollte im fertigen Malz in einem bestimmten Maße erfolgt sein. Der Eiweißlösungsgrad, auch Kolbachzahl genannt, wird über das prozentuale Verhältnis von dem beim Kongressmaischverfahren⁶³ gelösten Stickstoff zum Gesamtstickstoff im Malz bestimmt. Der für die Brauerei eigentlich ausschlaggebende Parameter ist daher der lösliche Stickstoff, der zwischen 550 und 750 mg/100 g Malz-Trs. liegen sollte. Die Kolbachzahl sollte deshalb stets in Abhängigkeit zum Gesamtprotein im Malz betrachtet werden, denn zu geringe Gehalte an löslichem Stickstoff deuten auf eine unzureichende Schaumhaltbarkeit hin. Außerdem geht damit meist ein zu geringer FAN-Gehalt ($< 120 \text{ mg/L}^{63}$), als niedermolekularer Anteil des löslichen Stickstoffes, einher, der aufgrund einer unzureichenden Hefeernährung zu Gärproblemen führen kann^{34, 84, 109}. Er sollte aber auch nicht übermäßig hoch sein, da es nach Wietstock et al.¹²⁴ sonst zu einer Reduzierung der oxidativen Geschmacksstabilität durch eine gesteigerte Oxidation von Aminosäuren zu Streckeraldehyden kommen kann.

Erhöhte lösliche Stickstoffgehalte können zudem die Trübungsneigung von Bieren negativ beeinflussen.^{34, 84, 109}

Die proteolytische Modifikation war mit dem „optimierten Mälzungsverfahren“ um durchschnittlich 8 % geringer gegenüber dem Referenzverfahren, was anhand der Gehalte an löslichem Stickstoff, den Kolbachzahlen und den FAN-Gehalten berechnet wurde (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Daher lagen alle Kolbachzahlen der beschleunigt vermälzten Proben näher am Optimum von 40 %⁶³. Außerdem waren alle FAN-Gehalte der beschleunigt produzierten Malze niedriger, aber für die Hefeernährung ausreichend und deshalb im Bezug auf die zu erwartende Geschmacksstabilität der späteren Biere vorteilhaft.

Ein Grund für die Reduzierung der Proteolyse war die Anwendung hoher Keimtemperaturen^{73, 84, 109, 123, 130}, was auch in dieser Arbeit⁶⁶ festgestellt wurde. Die verkürzte Keimzeit verstärkte diesen Einfluss, da weniger Zeit für den enzymatischen proteolytischen Abbau zur Verfügung stand. Sommer¹⁰⁹ hat in seinen Versuchen eine Reduzierung des löslichen Stickstoffs um 10 - 50 mg/L bei einer Erhöhung der Keimtemperatur je 1 °C beobachtet, was anhand der Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden konnte (s. Anhang 7.1.2). Zusätzlich wurde die Proteolyse beim „optimierten Mälzungsverfahren“ durch die Anwendung niedriger Schwelktemperaturen reduziert⁶⁸. Auch dieser Zusammenhang wurde bereits in zahlreichen Veröffentlichungen^{8, 49, 81, 82, 98} beschrieben. Die anderen separat untersuchten Mälzungsparameter hatten keinen eindeutigen Einfluss auf die Proteolyse.

4.4.2.6 Thiobarbitursäurezahl (TBZ), Farbe und Geschmacksstabilität

Maillard-Reaktionen umfassen nicht-enzymatische Bräunungsreaktionen, bei denen sehr viele verschiedene Reaktionsprodukte entstehen. Ausgangsprodukte sind immer reduzierende Substanzen, hauptsächlich Zucker und Peptide bzw. Aminosäuren. Die Reaktionen werden bei hohen Temperaturen deutlich gesteigert.^{13, 127}

Diese sind in der Mälzerei beim Darrprozess sowie in der Brauerei beim Maischen und Würzekochen zu finden. Für die Brauindustrie bedeutende End- bzw. Zwischenprodukte der Maillard-Reaktionen sind vor allem Melanoidine (farbgebende Substanzen), Strecker-Aldehyde und Reduktone (Substanzen mit Endiol-Gruppe).

Die Thiobarbitursäurezahl (TBZ) gibt Auskunft über die thermische Belastung und wird über die Gehalte einer Vielzahl von Maillard-Reaktionsprodukten, hauptsächlich aber 5-Hydroxymethylfurfural, bestimmt⁶³. Außerdem korreliert die TBZ mit der Geschmacksstabilität des fertigen Bieres, da bei den Maillardreaktionen eine Reihe von Alterungskomponenten gebildet werden.¹¹⁵

Beim „optimierten Mälzungsverfahren“⁶⁹ wurden niedrigere Schwelktemperaturen⁶⁸ als beim simulierten Industrieverfahren angewendet. Außerdem ergaben sich durch die

höheren Keim-⁶⁶ und niedrigeren Schmelktemperaturen geringere FAN-Gehalte im Malz. Daraus resultierend standen weniger peptidseitige Vorläufer für Maillard-Reaktionen zur Verfügung. Aufgrund des reduzierten thermischen Einflusses, in Kombination mit den geringeren Aminosäuregehalten, wurde die TBZ um durchschnittlich 27 % verringert. Analog wurden durchschnittlich 24 % hellere Kochfarben bestimmt, da die Bildung von Melanoidinen vermindert wurde (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2).

Die pH-Werte in den „Industrie“-Malzen waren durch die höhere Melanoidinbildung etwas niedriger, weil diese leicht aciditätsfördernd wirken.³¹

Für eine Abschätzung der zu erwartenden Geschmacksstabilität beim Einsatz von Malzen, die mittels des „optimierten Mälzungsverfahrens“ produziert werden, müssen die Faktoren Farbe, TBZ, FAN-Gehalt und pH-Wert berücksichtigt werden.

Wie bereits erläutert, können nach Wietstock et al.¹²⁴ hohe FAN-Gehalte generell zur vermehrten Bildung von Streckeraldehyden durch Oxidationsprozesse führen.

Ein weiterer Vorteil einer geringeren thermischen Belastung und geringeren FAN-Gehalten ist, dass analog auch weniger Reduktone in den Maillard-Reaktionen gebildet werden. Diesen wurde von Kunz et al.^{52, 53, 54, 55} ein eindeutig negativer Einfluss auf die oxidative Geschmacksstabilität von Bieren nachgewiesen, der mit der Malzfarbe und der TBZ korreliert. Bei der Fenton-Reaktion bzw. im Haber-Weiss-System oxidiertes Fe^{3+} wird durch die Endiol-Gruppe der Reduktone wieder zu Fe^{2+} reduziert, das daraufhin für die Bildung von Sauerstoffradikalen zur Verfügung steht. Antioxidantien im Bier, wie SO_2 , werden somit beschleunigt abgebaut.

Im Gegensatz dazu, führt ein höherer pH-Wert im Bier zu einer Verringerung der oxidativen Geschmacksstabilität, da die Radikalbildung über die Fenton-/ Haber-Weiss Reaktionen bei höheren pH-Werten beschleunigt wird.⁵⁵

Theoretisch müsste der positive Einfluss der geringeren FAN-Gehalte und Schmelktemperaturen größer sein, als der negative Einfluss eines leicht erhöhten pH-Wertes. Deshalb ist anzunehmen, dass sich das „optimierte Mälzungsverfahren“ vorteilhaft gegenüber dem Referenzverfahren auf die oxidative Geschmacksstabilität von Bieren auswirkt. Dieser Zusammenhang sollte in Zukunft weitergehend betrachtet werden. Dabei sollte zusätzlich der Einfluss des „optimierten Mälzungsverfahrens“ auf die Lipoxygenasen-Aktivitäten untersucht werden, die ebenfalls die Geschmackstabilität beeinflussen.^{7, 38, 46}

4.4.2.7 DMS-P

Der Gehalt des Dimethylsulfid-Precursors (DMS-P) S-Methylmethionin (SMM), welches während der Keimung hauptsächlich durch eine Methyltransferase gebildet wird, ist im fertigen Malz ein wichtiger Qualitätsparameter für die Brauindustrie. Das SMM muss durch Hitzeeinwirkung beim Darren bzw. beim Würzekochen im späteren Brauprozess in ausreichendem Umfang gespalten werden. Das dabei entstehende flüchtige Dimethylsulfid (DMS) wird daraufhin ausgetrieben, um einen kohlartigen Fehlgeruch im Bier zu vermeiden. Im Kaltbereich der Brauerei, d. h. von der Gärung bis Abfüllung der Biere, kann zwar kein thermischer Abbau von DMS-P mehr stattfinden, aber durch mikrobielle Kontamination oder die Bierhefe selbst kann DMS weiter freigesetzt und dann nicht mehr aus dem fertigen Bier entfernt werden.^{3, 27, 28}

Aufgrund der niedrigen Schmelktemperaturen beim „optimierten Mälzungsverfahren“ könnten eigentlich gesteigerte DMS-P-Gehalte erwartet werden. Die Spaltung von DMS-P beim Darren ist aber hauptsächlich abhängig von der Darrdauer bei Temperaturen von über 65 °C^{3, 30, 87 128}, die in der Regel erst in der Abdarrphase erreicht werden. Die Abdarrprogramme waren bei beiden Mälzungsverfahren jedoch ähnlich (s. Tab. 3, Kap. 3.1). Dennoch waren die DMS-P-Gehalte der „optimiert“ produzierten Malze im Vergleich zu den Malzen des simulierten Industrieverfahrens um durchschnittlich 13 % reduziert (s. Tab. 4, Kap. 3.3.2). Die gefundenen, niedrigeren DMS-P-Gehalte können hauptsächlich mit den Parametern der Keimung erklärt werden. Yang et al.¹²⁸ beobachteten eine deutlich gesteigerte DMS-P-Bildung bei einer Keimtemperatur von 20 °C gegenüber 16 °C, wohingegen die Erhöhung des Weichgrades von 43 auf 46 % beim Keimen keinen signifikanten Einfluss hatte. Beim Vergleich der Keimzeit von drei und fünf Tagen war die DMS-P-Konzentration verdoppelt. Dethier et al.²⁷ beobachteten fast fünffach höhere DMS-P-Gehalte beim Vergleich von sechs und vier Tage lang gekeimten Malzen. Außerdem setzte die DMS-P-Bildung erst am dritten Keimtag ein. Demzufolge ist der negative Einfluss höherer Keimtemperaturen im Vergleich zur längeren Keimzeit deutlich geringer. Folglich können die reduzierten DMS-P-Gehalte in dieser Arbeit mit der verkürzten Keimzeit des „optimierten Mälzungsverfahrens“ begründet werden.

Aus energetischen Gesichtspunkten fordern Brauereien Malze mit immer niedrigeren DMS-P-Gehalten, um die Kochzeit weiter reduzieren zu können. Dadurch sind Mälzereien gezwungen intensiver abzudarren. Neben den höheren Energiekosten führt das zu unnötig geringen Wassergehalten im Malz, welche die Gewinnspanne der Mälzerei aufgrund der Bezahlung nach Gewicht zusätzlich schmälert. Die geringeren

DMS-P-Gehalte in den „optimiert“ produzierten Malzen implizieren deshalb einen finanziellen Vorteil, da die Energiekosten durch eine mögliche Reduzierung der Abdarrdauer gesenkt würden.

Außerdem würde sich eine Verkürzung der Abdarrphase bzw. eine Absenkung der Abdarrtemperatur positiv auf die Farbe und TBZ auswirken und damit die oxidative Geschmacksstabilität zusätzlich erhöhen (s. Kap. 4.4.2.6).

4.4.2.8 Mikrobiologischer Status - DON, Gushing, PYF

Auf Getreide leben eine Vielzahl von Hefen, Bakterien und Schimmelpilzen, wobei die resultierende Malzqualität hauptsächlich durch Schimmelpilze und deren Stoffwechselprodukte negativ beeinflusst werden kann. Insbesondere sind dabei Fusarium-Arten, wie *Fusarium culmorum* und *Fusarium graminearum*, zu nennen. Diese werden mit zu hohen Mykotoxingehalten (wie Deoxynivalenol, Zearalenon etc.) im Malz^{23, 45, 106, 116, 126, 133}, einer frühzeitigen Hefeflockulation (Premature Yeast Flocculation - PYF)^{4, 6, 14, 56, 117} bei der Gärung und einem erhöhten Gushingpotenzial im abgefüllten Bier (spontanes Übersäumen)^{14, 20, 25, 45, 85, 129} in Zusammenhang gebracht.

Schimmelpilze wachsen während der Keimung kontinuierlich weiter und erreichen am Ende der Keimung ihr Keimzahlmaximum, wobei das Temperaturoptimum für die Fusarium-Pilze bei etwa 22 - 27 °C liegt.¹¹⁶

Allerdings liegen derzeit keine Veröffentlichungen über den Einfluss der Mälzungsparameter Temperatur und Mälzungsdauer auf das Fusarienwachstum beim Mälzen vor. Trotzdem lag nahe, dass das Wachstum und dementsprechend der Stoffwechsel durch hohe Temperaturen beim Weichen und Keimen begünstigt wurde.

Ein negativer Einfluss der beim „optimierten Mälzungsverfahren“ angewendeten Parameter konnte jedoch dank der Untersuchung der Deoxynivalenol-Gehalte (DON), des Gushingpotenzials und des PYF-Verhaltens im fertigen Malz für die vier verwendeten Braugerstenchargen ausgeschlossen werden (s. Abb. 19 und 20, Kap. 3.3.4). Das PYF-Verhalten der „optimiert“ vermälzten Gerstensorten wurde im Vergleich zu den Referenzmalzen verbessert. Hierbei konnte für die Braugerste Tipple sogar ein deutlich PYF-positives Verhalten in ein nahezu PYF-negatives umgewandelt werden. Eine Korrelation zwischen dem Gushingpotenzial und PYF, wie von Blechová et al.¹⁴ vermutet, konnte bei den Untersuchungen nicht bestätigt werden.

Eine zuvor vermutete Beschleunigung des Schimmelpilzwachstums bei den angewendeten höheren Weich- und Keimtemperaturen hat entweder nicht

stattgefunden oder wurde durch die Keimzeitverkürzung von etwa zwei Tagen kompensiert.

Allerdings waren die DON-Bildung und das Gushingpotenzial der Braugersten generell sehr niedrig, weshalb die gefundenen Erkenntnisse anhand von mikrobiell höher belastetem Braugetreide in weiterführenden Untersuchungen bestätigt werden sollten.

4.4.3 Verringerung des Mälzungsschwandes und der Energiekosten

Der Gewichtsverlust zwischen der Gersten- und Malztrockensubstanz wird Mälzungsschwand genannt und entsteht hauptsächlich durch den veratmeten Malzzucker beim Keimen und Schwelken (Atmungsschwand) und durch die Entkeimung nach dem Darren (Wurzelschwand). Der Schwand wird durch alle Mälzungsparameter, welche die Keimung beschleunigen, wie höhere Weich- und Keimtemperaturen, gesteigert.^{73, 79, 109, 123, 130}

Diese Korrelationen wurden durch die Ergebnisse aus den separat untersuchten Einflüssen der Weichtemperatur, der Luftrastdauer, der Nassweichzeiten und der Keimtemperatur^{65, 66, 67} bestätigt. Die hinsichtlich der Malzqualität optimierten Bedingungen führten zu einer schnelleren und homogenen Ankeimung und gleichzeitig auch zu einem erhöhten Mälzungsschwand.

In den Untersuchungen zum Einfluss niedriger Schwelktemperaturen konnte aufgrund der Verwendung von gefrorenem Grünmalz kein weiteres Wachstum beobachtet und daher auch keine Unterschiede beim Mälzungsschwand nachgewiesen werden. Allerdings konnte in Untersuchungen von Schuster et al.¹⁰⁵ und Reinikainen et al.⁹⁶ eine Erhöhung des Mälzungsschwandes bei niedrigeren Dar temperatures nachgewiesen werden.

Auch in der ersten Versuchsreihe zur Entwicklung des „optimierten Mälzungsverfahrens 1“, das mithilfe der Ergebnisse aus den Einzeluntersuchungen zusammengestellt wurde⁶⁹, führten die angewendeten Mälzungsparameter (s. Tab 3, Kap. 3.1) zu einem um 1 - 2 Prozentpunkte höheren Schwand gegenüber den Referenzmalzen (s. Abb. 21, Kap. 3.3.5).

Aufgrund der schrittweisen Anpassung der Mälzungsparameter wurde beim „optimierten Mälzungsverfahren 3“ jedoch ein um 0,8 - 0,9 Prozentpunkte geringerer Schwand für die Propino- und Scarlett-Malze und ein etwa gleichwertiger Schwand für die Grace- und Tipple-Malze erreicht. Die zielführenden Veränderungen der Mälzungsparameter zwischen den einzelnen Versuchsreihen zur Weiterentwicklung des „optimierten Mälzungsverfahrens“ sind in Kapitel 3.2 beschrieben.

Neben einem möglichen Einsparpotenzial durch einen geringeren DMS-P-Gehalt im Malz, welches hier nicht monetär beziffert werden konnte, ergibt sich aus dem verringerten Mälzungsschwand ein erheblicher finanzieller Vorteil. Dieser wurde anhand des Gewichtsverlustes zwischen der Gersten- und Malztrockensubstanz für einen angenommenen Malzpreis von 360 €/t berechnet. Beim Vergleich der beiden Mälzungsverfahren konnte eine Kosteneinsparung von durchschnittlich 1,2 €/t Malz in Abhängigkeit von der vermälzten Braugerste berechnet werden (s. Abb. 22; Berechnungsdetails s. Anhang 7.1.5). Der Schwand des optimiert produzierten Tipple-Malzes war etwas höher als der des zugehörigen Referenzmales, wodurch sich ein Verlust von etwa 0,65 €/t ergab. Allerdings waren die zytolytische und proteolytische Modifikation deutlich gesteigert, sodass dieser Kostenpunkt problemlos durch eine weitere Reduzierung der Keimzeit, des Weichgrades oder der Keimtemperatur auszugleichen sein sollte (s. Tab. 21, Kap. 3.3.2).

Die Verkürzung der Mälzungsdauer und die Anwendung höherer Keimtemperaturen impliziert ein weiteres Einsparpotenzial aufgrund des reduzierten Strombedarfs für Keimluftventilator und Kälteerzeugung. Ein verlängerter Darrprozess führt hingegen zu höheren Kosten für den Darrluftventilator. Für eine Berechnung des Einsparpotenzials wurden die von Pensels⁸⁸ gesammelten Daten zum Strombedarf in der Mälzerei herangezogen, wobei die ermittelten Durchschnittswerte für das Referenzverfahren angesetzt wurden. Die Stromkosten für das „optimierte Mälzungsverfahrens“ wurden dann anhand der Keim- und Darrzeitverhältnisse umgerechnet. Zusätzlich wurde die Stromeinsparung, die sich aus dem geringeren Strombedarf für die Kühlung der Keimluft ergab, anhand der Erhöhung der mittleren Keimtemperatur um 4,5 °C berechnet. Dazu wurde eine von Manger⁶¹ berechnete Einsparung von 2,5 % / °C angesetzt. Bei einem angenommenen Strompreis von 14,25 Eurocent / kWh¹³⁸ ergab sich eine Einsparung von 1,92 €/t Malz, was einer prozentualen Einsparung von etwa 11 % im Bezug auf den Gesamtbedarf entspricht.

Die Summe der Einsparungen, die anhand des Mälzungsschwandes und des Strombedarfes ermittelt wurde, lag bei 127.000 bis 487.000 €/Jahr für eine 100.000 t-Mälzerei (Berechnungsdetails s. Anhang 7.1.5)⁶⁹.

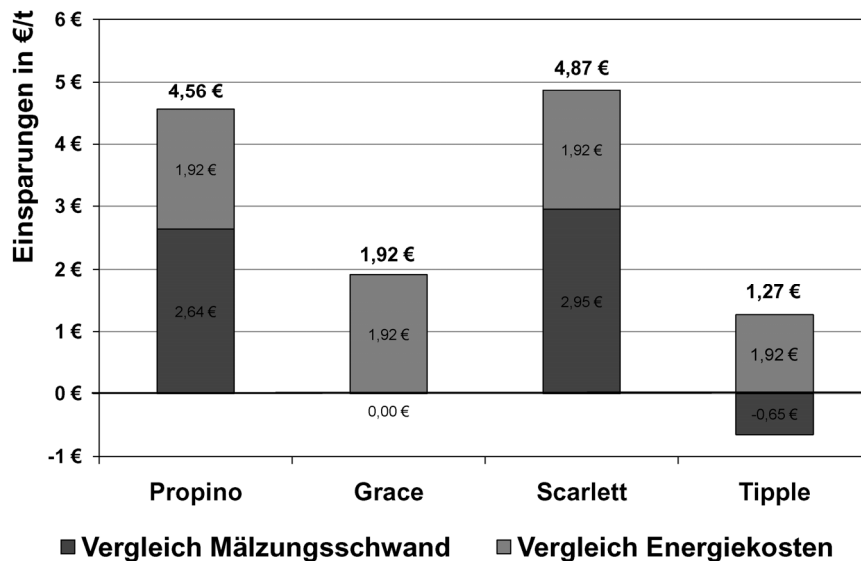


Abbildung 22: „Optimiertes Mälzungsverfahren“ - Kostenvergleich anhand des Mälzungsschwandes und des Bedarfes an elektrischer Energie.⁶⁹

4.4.4 Umsetzbarkeit des „optimierten Mälzungsverfahrens“ im Industriemaßstab

An dieser Stelle muss explizit darauf hingewiesen werden, dass die Untersuchungen dieser Arbeit im Kleinmälzungsmaßstab durchgeführt wurden. Ein Scale-up der gefundenen optimalen Mälzungsparameter bzw. des entwickelten „optimierten Mälzungsverfahrens“ fand bisher nicht statt. Die Anwendbarkeit der Erkenntnisse sollte daher zukünftig im Industriemaßstab nochmals überprüft werden.

Des Weiteren müssen für einige der separat untersuchten Mälzungsparameter bzw. für eine Anwendung des „optimierten Mälzungsverfahrens“ folgende Aspekte beachtet werden, die entweder die technische Ausstattung oder die verwendete Technologie betreffen:

Generell wird in den meisten Mälzereien mit täglichem Chargenwechsel gearbeitet, d. h. das Weichen und Darren inkl. Befüll- und Entleerungsvorgänge darf jeweils nur 24 oder 48 Stunden dauern, um den Arbeitsrhythmus einzuhalten. Das „optimierte Mälzungsverfahren“ in der beschriebenen Form erfordert daher einen 3-Schicht-Rhythmus oder müsste gegebenenfalls angepasst werden.

In dieser Arbeit wurde ein „optimiertes Weichverfahren“ mit einer Weichzeit von etwa 25 Stunden festgelegt, um eine Luftrastdauer im gefundenen optimalen Bereich (s. Kap. 2.1.2) zu gewährleisten. Die Luftrastdauer müsste demnach etwas verringert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Einweich- und damit der Gesamtweichzeit im Industriemaßstab sind Getreidevorbehälter, aus denen das Getreide innerhalb von wenigen Minuten ins erste Weichwasser fallen kann. Das direkte Fördern des Getreides in die Weiche kann in Abhängigkeit von der

Förderleistung und Chargengröße 1 - 2 Stunden dauern. Diese Zeit steht bei der Verwendung von Getreidevorbältern zusätzlich für das eigentliche Weichen zur Verfügung. Außerdem ist dann auch eine nahezu gleiche Weichzeit für alle Körner gegeben, die in einer homogenen Ankeimung resultieren sollte.

Auch für das Darren bei täglichem Chargenwechsel wäre das im Labormaßstab verwendete Darrprogramm zu lang. Zwar dauerte der Darrprozess 24 Stunden, aber eine Be- und Entladezeit der Darre sowie eine Kühlzeit des Darrgutes (jeweils ca. 1 - 2 Stunden) müsste für den Industriemaßstab zusätzlich berücksichtigt werden. Deshalb müsste das verwendete Darrprogramm erst weiter optimiert werden. Möglichkeiten dafür sind eine Vortrocknung des Grünmalzes im Keimkasten, geringere Weichgrade oder ein Starten der Darre vor dem Ende der Beladung.

Das Weichen bei höheren Temperaturen macht in den meisten Mälzereien eine Weichwassererwärmung und gegebenenfalls eine Isolierung der Weichwassertanks notwendig. Während der Luftrast wird das entstehende Kohlendioxid zur Belüftung des Getreides von unten aus dem Weichgut abgesaugt. Daher kann das Weichgut, das sich aufgrund des einsetzenden Stoffwechsels erwärmt, in der Regel nicht temperiert werden. Deshalb kann ein Weichen bei Temperaturen zwischen 20 °C und 22 °C, in Abhängigkeit der Klimabedingungen bzw. Jahreszeit, zu einer zu starken Erhöhung der Weichguttemperatur während der Luftrast führen. Die einfachste technologische Möglichkeit einen zu hohen Temperaturanstieg während der Luftrast zu verhindern ist eine Reduzierung der Luftrastdauer. Nach Narziß et al.^{75, 84} soll jedoch zur Erzielung einer hohen zytolytischen Modifikation, Homogenität sowie hoher Enzymaktivitäten eine Luftrast von mindestens 12 Stunden eingehalten werden. In dieser Arbeit konnte ein signifikant positiver Einfluss auf die zytolytische Modifikation bei Luftrasten um 17 - 21 Stunden aufgezeigt werden (s. Kap. 2.1.2). Eine andere Möglichkeiten zur Vermeidung einer zu schnellen Erwärmung des Weichgutes ist die Installation größer ausgelegter Ventilatoren für die CO₂-Absaugung. Außerdem könnte man den Raum über der Weiche bzw. die obere Schicht des Weichgutes während der Luftrast mit Wasser besprühen, um die in das Weichgut gesaugte Luft zu kühlen oder kühle Keimabluft ins Weichhaus leiten.

Zudem ist für das Weichen bei höheren Temperaturen eine Weichwassererwärmung notwendig, die wiederum zu gesteigerten Energiekosten führt, da Frisch- bzw. Brunnenwasser in der Regel kälter ist. Dazu wurde die benötigte spezifische Wärmemenge unter Annahme einer Wassertemperatur von 13 °C berechnet.

$$\text{spezifische Wärmemenge } q = m \cdot c \cdot \Delta T = 33456 \frac{\text{kJ}}{\text{t}} = 9,3 \frac{\text{kWh}}{\text{t}}$$

mit: Masse $m = 1000 \text{ kg}$ (Getreide : Wasser 1:1), Wärmekapazität $c_{\text{Wasser}} = 4,182 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, Temperaturdifferenz $\Delta T = 8 \text{ K}$ (Weichwassererwärmung von 13 °C auf 21 °C)

Bei der Verwendung von Strom (14,25 Cent / kWh¹³⁸) oder Gas (4,1 Cent / kWh¹³⁹) zur Weichwassererwärmung ergäben sich zusätzliche Kosten von 1,35 € / t bzw. 0,38 € / t. Je nach baulicher Situation einer Mälzerei ließe sich alternativ die Abluftwärme der Darre oder der Keimkästen nutzen, um das Weichwasser zu erwärmen.

Das Keimen bei Temperaturen zwischen 20 °C und 22 °C sollte in jeder Mälzerei möglich sein. Ein Keimzeitverkürzung führt, wie bereits beschrieben (s. Kap. 4.4.3), zur Energieeinsparung durch einen geringeren Strombedarf für die Keimluftventilatoren und die Kälteerzeugung. Neue Kälteanlagen könnten kostengünstiger ausgelegt werden, da bei der Verwendung hoher Keimtemperaturen weniger Kompressorleistung erforderlich ist.

In der Regel wird die Anzahl der installierten Keimkästen entsprechend der benötigten Keimtage ausgelegt, sodass die Weiche und die Darre täglich mit einer Charge belegt sind. Um eine Kapazitätserhöhung durch das beschleunigte Mälzen für bestehende Mälzereien realisieren zu können, wären daher zusätzliche Weich- und Darrsysteme erforderlich, denn die bestehenden Systeme sind nur für eine Charge ausgelegt. Bei der Installation neuer Mälzungssysteme könnten zwei Keimkästen eingespart werden.

Bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Schwelktemperatur bei einer Schichthöhe von 35 cm untersucht. Hierbei wurde eine deutlich erhöhte zytolytische Modifikation in der oberen Darrschicht sowie bei niedrigeren Schwelktemperaturen festgestellt. Bei den Versuchen zum „optimierten Mälzungsverfahren“ betrug die Schichthöhe etwa 12 cm. Das Ausmaß der durch niedrigere Schwelktemperaturen forcierten Zytolyse (s. Kap. 2.3.1)⁶⁸ könnte im Industriemaßstab aufgrund einer höheren Schichthöhe (0,8 - 1,2 m) etwas geringer ausfallen. Die „obere Schicht“ ist im Verhältnis größer und – aufgrund der Trocknung von unten und der Kondensationskühlung der Zuluft durch die Wasseraufnahme – länger niedrigeren Temperaturen unter 30 °C ausgesetzt. Daher sollten weitergehende Schwelkversuche in der Industrie durchgeführt werden, um die im „Labormaßstab“ festgestellten Vorteile niedriger Schwelktemperaturen für den Industriemaßstab zu verifizieren.

4.4.5 Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse werfen weiterführende Fragen auf, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Für wasserempfindliche Braugersten könnte eine Anpassung des Weichverfahrens der „optimierten Mälzung“ notwendig sein⁵⁸. Wasserempfindliche Gerstenchargen keimen bei zu intensiven Nassweichphasen langsamer an und benötigen eine ausgedehnte Luftrast⁶³. In den Untersuchungen dieser Arbeit konnte für die Gerste Grace mit 48 %

die höchste Wasserempfindlichkeit aller verwendeten Gerstensorten nachgewiesen werden. Dies führte vermutlich zur aufgezeigten niedrigeren Ankeimrate und zum reduzierten β -Glukanabbau im Vergleich zu den anderen untersuchten Gersten (s. Abb. 17, Kap. 3.3.1 und Tab 4, Kap. 3.3.2). Dennoch hatte die Braugerste Grace mit 48 % nach MEBAK⁶³ nur eine mittlere Wasserempfindlichkeit. Deshalb sollte zukünftig die Eignung von Braugersten mit sehr hohen Wasserempfindlichkeiten für das Weichen bei höheren als in der Literatur empfohlenen Temperaturen^{51, 71, 74, 90} untersucht werden.

Neben der Untersuchung der Eignung von weiteren aktuellen bzw. zukünftigen Braugersten sowie sehr wasserempfindlichen Braugerstenpartien für eine beschleunigte Mälzung, sollte zukünftig auch der Einfluss auf die oxidative Geschmacksstabilität im späteren Bier (s. Kap. 4.4.2.6) weitergehend betrachtet werden.

Darüber hinaus zeigten erste Untersuchungen zum PYF-Verhalten, dass das „optimierte Mälzungsverfahren“ darauf einen positiven Einfluss hat und möglicherweise sogar zur Vermeidung PYF-positiver Malze eingesetzt werden kann (s. Kap. 4.4.2.8). Dieser Zusammenhang sollte ebenfalls in Zukunft unter Verwendung von mikrobiologisch stark belasteten Gerstenpartien, auch im Hinblick auf Gushing und die Bildung von Mykotoxinen, ebenfalls weitergehend untersucht werden.

Außerdem konnten erheblich höhere β -Glukanaseaktivitäten in den „optimiert“ produzierten Malzen nachgewiesen werden, was beim Maischen in der Brauerei zu einem beschleunigten β -Glukanabbau führen könnte (s. Kap. 4.4.2.2). Auch dies sollte in zukünftigen Untersuchungen verifiziert werden.

4.5 Überblick über die Zusammenhänge zwischen den separat optimierten Mälzungsparametern und dem „optimierten Mälzungsverfahren“

In der folgenden Tabelle sind die Einflüsse der separat untersuchten Mälzungsparameter auf die Mälzungsdauer, Malzqualität und Produktionskosten (Mälzungsschwand und Strombedarf für Keimgutbelüftung / -kühlung) zusammengefasst. Dabei drücken die Pfeile den Einfluss der gefundenen optimalen Parameter im Vergleich zur Referenz bzw. im Vergleich zum gesamten untersuchten Bereich aus. Außerdem sind die Vor- und Nachteile des „optimierten Mälzungsverfahrens“ im Vergleich zum simulierten Industrieverfahren aufgeführt. Die Ursachen für die jeweiligen Auswirkungen des „optimierten

5. Zusammenfassung

Letzte systematische Untersuchungen der Mälzereitechnologie stammen aus den 80er Jahren, obwohl die Vermälzungseigenschaften der heutigen Braugersten durch intensive Züchtung in den letzten Jahrzehnten optimiert wurden. Die gezielte Züchtung führte zu gesteigerten amylolytischen, zytolytischen und proteolytischen Enzymaktivitäten, und damit zu verbesserten Lösungseigenschaften. Demnach ist davon auszugehen, dass diese einen direkten, positiven Einfluss auf den gesamten Mälzungsprozess haben.

Das Ziel dieser Arbeit war es, ein Mälzungsverfahren für aktuelle Braugerstensorten zu entwickeln, um die Mälzungsdauer und die Produktionskosten, unter Berücksichtigung einer optimalen Malzqualität zu senken.

Zunächst mussten die entscheidenden Einflussparameter der einzelnen Prozessschritte im Hinblick auf die optimale Malzqualität separat untersucht werden.

Für den Prozessschritt des Weichens wurde eine Weichtemperatur von 20 - 25 °C, eine erste Nassweiche von 5 - 6 Stunden, eine ausgedehnte Luftrast von mindestens 17 Stunden und eine möglichst kurze zweite Nassweiche von maximal 1,5 Stunden festgelegt. Bei Anwendung dieser Parameterbereiche konnte die schnellste und homogenste Ankeimung der untersuchten Braugersten beobachtet werden, die zu der höchsten zytolytischen Modifikation und Homogenität des Malzes führte.

Bei Erhöhung der Keimtemperatur von 16 °C auf bis zu 24 °C konnte die Keimzeit um etwa 24 Stunden / 4 °C verkürzt werden, wobei eine nach MEBAK-Spezifikationen adäquate Malzqualität erzielt wurde, ohne den Mälzungsschwand zu erhöhen. Die optimale Keimtemperatur im Hinblick auf die resultierende Malzqualität betrug 20 °C.

Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass niedrige Schwelktemperaturen von 30 - 37,5 °C, gegenüber in der Mälzerei üblichen 50 - 65 °C, ebenfalls zu einer erheblich gesteigerten zytolytischen Modifikation des Malzes führen.

Mit Erhöhung der Keim- und Verringerung der Schwelktemperaturen konnte zudem eine zu weit fortgeschrittene Eiweißlösung im Malz vermieden werden.

Die für eine hohe Malzqualität und Homogenität separat optimierten Mälzungsparameter wurden in einem neuen Mälzungsverfahren zusammengeführt, das anschließend weiterentwickelt wurde.

Letztendlich konnten dabei aus vier aktuellen Braugerstensorten Malze mit einer nach den MEBAK-Spezifikationen angemessenen Qualität innerhalb von fünf Tagen produziert werden. Außerdem wurde gegenüber einem siebentägigen, simulierten Industrieverfahren, das als Referenzmälzung diente, eine vergleichbare Malzqualität bei reduziertem oder vergleichbarem Mälzungsschwand erzielt.

Nachteilig waren lediglich leicht verringerte Extraktgehalte im fertigen Malz aufgrund geringerer α - und β -Amylaseaktivitäten und minimal höherer pH-Werte in den Kongresswürzen.

Positiv hervorzuheben sind vor allem eine höhere Zytolyse sowie Homogenität und eine verringerte und damit für die Verarbeitbarkeit in der Brauerei optimale Proteolyse. Dementsprechend geringere Gehalte peptidseitiger Vorläufer für Maillard-Reaktionen sowie ein reduzierter thermischer Einfluss beim Darren führten zu helleren Kochfarben in den Kongresswürzen, was wiederum auf eine Verbesserung der oxidativen Geschmacksstabilität im späteren Bier schließen lässt.

Hinsichtlich der Verarbeitbarkeit der Malze konnte ein negativer Einfluss der „optimierten Mälzung“ auf das PYF-Verhalten, die DON-Bildung, das Gushingpotenzial und das Läuterarbeit ausgeschlossen werden.

Niedrigere DMS-P-Gehalte im Malz implizierten ein Energieeinsparpotenzial sowohl für die Mälzerei- als auch für die Brauereiindustrie. Außerdem konnte auf Basis des simulierten Industrieverfahrens eine Kostenreduktion von bis zu 4,9 € / t Malz bzw. durchschnittlich 1,2 €/t ermittelt werden. Diese Kostenreduktion ergab sich durch einen etwas geringeren Mälzungsschwand und durch einen um ca. 11 % geringeren Strombedarf, für die Belüftung und die Kälteerzeugung beim Keimen.

Schlussendlich kam das „optimierte Mälzungsverfahren“ im Vergleich zur Referenzmälzung mit fast zwei Tagen weniger aus. Dabei konnte eine höhere Malzqualität, ohne Erhöhung des Mälzungsschwandes, erzielt werden.

Für die Umsetzbarkeit des „optimierten Mälzungsverfahrens“ im Industriemaßstab müsste eine Weichwassererwärmung installiert sein. Außerdem erfordern die in dieser Arbeit verwendeten Weich und Darrprogramme ein Dreischichtsystem in der Mälzerei. Alternativ müssten die Weich- und Darrverfahren bei einem üblichen Schichtsystem mit täglichem Chargenwechsel etwas verkürzt werden.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Aalbers, V.-J., Drost, B.-W., Pesman, L. (1983) Aerated steeping systems, *Tech. Q. - Master Brew. Assoc. Am.* 20, 74-79.
- 2 Annemüller, G., Bauch, T., Nagel, R., Böhm, W. (1995) Der Endo- β -Glucanasegehalt - ein Maß für die „cytolytische Kraft“ des Malzes?, *Brauwelt* 135 (5/6), 206-210.
- 3 Anness, B.-J., Bamforth, C.-W. (1982) Dimethyl sulphide – A review, *J. Inst. Brew.* 88, 244-252.
- 4 Armstrong, K., Bendiak, D. (2007) PYF malt: Practical brewery observations of fermentability, *Tech. Q. MBAA Commun.* 44, 40-46.
- 5 Axcell, B.-C., Jankovski, D., Morrall, P. (1983) The crucial factor in determining malt quality, *Brew. Dig.* 58 (8), 20-23.
- 6 Axcell, B.-C., van Nierop, S.-N.-E., Vundla, W. (2000) Malt induced premature yeast flocculation, *Tech. Q. - Master Brew. Assoc. Am.* 37, 501-504.
- 7 Back, W., Forster, C., Krottenthaler, M., Lehmann, J., Sacher, B., Thum, B. (1997) Neue Forschungserkenntnisse zur Verbesserung der Geschmacksstabilität, *Brauwelt* 137 (38), 1677-1692.
- 8 Barrett, J., Griffiths, C.-M., Kirsop, B.-H. (1967) Some effects of malt kilning on wort properties, *J. Inst. Brew.* 73, 445-450.
- 9 Bartnett, C., McDovarsky, J., Benard, M., Garcia, C., Haag, R., Kjeldsen, J., Laycock, G., Lorenzana, R., Matyniak, N., Meyer, B., Nichols, L., Penarski, J., Shamaila, M., Stenross, L., Veldhuijzen, R., and Munar, M. (1998) Dimethyl sulfide precursor in malt by headspace gas chromatography, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 56, 186-188.
- 10 Bathgate, G.-N. (1973) The biochemistry of malt kilning, *Brew. Dig.* 73, 60-65.
- 11 Baxter, E.-D., Reeves, S.-G., Bamforth, C.-W.: (1980) The effects of increased steeping temperature on enzyme development in malt, *J. Inst. Brew.* 86, 182-185.
- 12 Baxter, E.-D., O'Farrell, D.-D. (1980) Effects of raised temperatures during steeping and germination on proteolysis, *J. Inst. Brew.* 86, 291-295.
- 13 Belitz, H.-D., Grosch, W., Schieberle, P. (2009) Lebensmittelchemie, *Springer Verlag, Berlin*, ISBN 978-3-540-69935-4, 270-289.
- 14 Blechová, P., Havlová, P., Havel, J. (2005) The study of premature yeast flocculation and its relationship with gushing of beer, *Monatsschr. Brauwiss.* 58 (9/10), 64-78.
- 15 Bourne, D.-T., Pierce, J.-S. (1970) β -Glucan and β -glucanase in brewing, *J. Inst. Brew.* 76, 328-336.
- 16 Briggs, D.-E.: (1986) Accelerating malting a review of some lessons of the past from the United Kingdom, *J. Agric. Food. Chem.* 45, 1-6.
- 17 Brookes, P.-A., Lovett, D.-A., Mac William, I.-C. (1976) The steeping of barley - A review of the metabolics consequences of water uptake and their practical implications, *J. Inst. Brew.* 82, 14-26.
- 18 Brunswick, P., Manners, D.-J., Stark, J.-R. (1987) The development of β -D-glucanases during the germination of barley and the effect of kilning on individual isoenzymes, *J. Inst. Brew.* 93, 181-186.
- 19 Burbidge, M. (1994) Development and trends in the breeding of malting barley, *Soripar* 40, 134-138.
- 20 Burkert, B. (2006) Untersuchungen zu den strukturellen Ursachen von primärem Gushing, Dissertation, Technische Universität München.

- 21 Cano, M.-P., De Ancos, B., Lobo, M.-G., Santos, M. (1997) Improvement of frozen banana (*Musa cavendishii*, cv. Enana) colour by blanching: relationship between browning, phenols and polyphenol oxidase and peroxidase activities, *Z. Lebensm.-Unters. -Forsch. A* 204(1), 60-65.
- 22 Chapon, L. (1961) Atmung und Gärung im geweichten Gerstenkorn - Ihr Einfluss auf die Keimung, *Brauwissenschaft* 14 (11/12), 457-465.
- 23 Chan, S.-H. (1999) A high sensitivity immunoassay for quantitative analysis of deoxynivalenol (DON) in malted barley, *27th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Cannes, IRL Press: Oxford, 575-582.
- 24 Clasen, C., Kulicke, W.-M. (2003) Zum Gelbildungsprozeß von (1→3)(1→4)-β-D-Glucanen. *Monatsschr. Brauwiss.* 56 (9/10), 161-171.
- 25 Deckers, S.-M., Vissers, L., Gebruers, K., Shokribousjein, Z., Khalesi, M., Riveros-Galan, D., Schönberger, C., Verachtert, H., Neven, H., Delcour, J., Michiels, C., Ilberg, V., Derdelinckx, G., Titze, J., Martens, J. (2012) Doubly modified Carlsberg test combined with dynamic light scattering allows, *Cerevisia Biotechnol.* 37, 77-81.
- 26 De Preter, L., De Clerk, L. (1966) Vergleich zwischen dem Stoffwechsel und Thermogenese beim Weichen, *Monatsschr. Brau.* 16, 106-109.
- 27 Dethier, M., De Jaeger, B., Barszczak, E., Dufour, J.-P. (1991) In vivo and in vitro investigations of the synthesis of S-methylmethionine during malting barley germination, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 49, 31-37.
- 28 Dickensen, C.-J. (1983) Cambridge prize lecture dimethyl sulphide - Its origin and control in brewing, *J. Inst. Brew.* 89, 41-46.
- 29 Dietrich S. (1966) Einfluß und Bedeutung der Belüftung während der Weicharbeit und Vermälzung von Braugerste, *Brauwelt* 106, 1-4.
- 30 Dumoulin, M., Boivin, P. (2001) Industrial kilning technologies and their influence on organoleptic quality of malt, *28th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.* Budapest, Fachverlag Hans Carl: Nürnberg, 1-10.
- 31 Enders, C. (1938) Zur Kenntnis der Melanoidine, *Kolloid-Z.* 85 (1), 74-87.
- 32 Forster, C. (1996) Der Einfluss der Darrtechnologie auf die Malz- und Bierqualität, Dissertation, Technische Universität München, 55-57, 74-105.
- 33 Gastl, M. (2010) Qualitätsprodukt Braugerste - Fortschritt in der Braugerstenzüchtung, *Brauwelt* 150 (5/6), 125-129.
- 34 Gastl, M., Sacher, B., Prebeck, R., Becker, T. (2014) Mälzungs- und Malzqualitätsdaten der Ernte 2014, *Brauwelt* 154 (49), 1522-1526.
- 35 Grebe, G.-C., Gusnar, M. (1991) Optimierung des Chargenprozesses Malzdarren (II), *Lebensmittelindustrie* 38 (1), 15-18.
- 36 Gromus, J., Kretschmer, K.-F., Bellmer, H.-G. (1971) Der Einfluss verschiedener Darrweisen auf die Malzqualität und die Vergärbarkeit der Würzen, *Brauwissenschaft* 24 (3/4), 81-87.
- 37 Hariri, A., Boivin, P., Marc, I., Fick, M. (2001) Evolution of oxygen and water up-take during steeping in a lab scale malting unit, *28th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.* Budapest, Fachverlag Hans Carl: Nürnberg, 139-147.
- 38 Hoki, T., Saito, W., Hirota, N., Shirai, M., Takoi, K., Yoshida, S., Shimase, M., Saito, T., Takaoka, T., Kihara, M., Yamada, S. (2013) Breeding of lipoxygenase-1-less malting barley variety CDC PolarStar and effect of lipoxygenase-1-less trait on beer quality at pilot and commercial scale brewing, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.*, 66 (3/4), 37-45.

- 39 Home, S., Stenholm, K., Olkku, J. (1999) Measuring and evaluating malt homogeneity, *27th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Cannes, IRL Press: Oxford, 365-375.
- 40 Huang, X., Han, Y., Yu, S. (2004) The effect of steeping conditions on arapiles malting. *Monatsschr. Brauwiss.* 57 (1/2), 13-15.
- 41 Ingversen, J., Englyst, A., Jorgensen, K.-G. (1989) Evaluation of malting quality in a barley breeding program use of alpha-amylase and beta-glucan levels in malt as preselection tools, *J. Inst. Brew.* 95, 99-103.
- 42 Isebaert, L., Van der Bekken, R. (1965/1966) Onderzoek Betreffende de Invloed van de Afeestingstemperatuur, *Int. Tijdschr. Brouw. Mout.* 25, 99-103.
- 43 Isebaert, L., Van der Bekken, R., Devos, A., Ingels, A. (1970/1971) Invloed van het Voordrogen bij het Eesten en van de Afeestingstemperatuur, *Int. Tijdschr. Brouw. Mout.* 6, 179-185.
- 44 Jibiki, M., Sasaki, K., Kaganami, N., Kawatsura, K. (2006) Application of a newly developed method for estimating the premature yeast flocculation potential of malt samples, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 64, 79-85.
- 45 Justé, A., Malfliet, S., Lenaerts, M., de Cooman, L., Aerts, G., Willems, K.-A., Lievens, B. (2011) Microflora during malting of barley: Overview and impact on malt quality, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 64 (3/4), 22-31.
- 46 Kaukovirta-Norja, A., Reinikainen, P., Laasko, S., Olkku, J. (1995) Lipxygenase activity during malting and storage of malt, *25th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Brussels, IRL Press: Oxford, 193-200.
- 47 Kleinwächter, Meyer, A.-K., Selmar, D. (2012) Malting revisited: Germination of barley (*Hordeum vulgare* L.) is inhibited by both oxygen deficiency and high carbon dioxide concentrations, *Food Chem.* 132, 476-481.
- 48 Kleinwächter, M., Müller, C., Methner, F.-J., Selmar, D. (2014) Biochemical heterogeneity of malt is caused by both biological variation and differences in processing: I. Individual grain analyses of biochemical parameters in differently steeped barley (*Hordeum vulgare* L.) malts, *Food Chem.* 147, 25-33.
- 49 Kolbach, P., Schild, E. (1935) Über den Einfluss des Wassergehaltes und der Temperatur des Malzes auf die Stoffumwandlungen beim Darren, *Wochenschr. Brau.* 52, 129-134, 137-141, 147-150.
- 50 Kretschmer, K.-F. (1960) Aus der Praxis der Weichreformen, *Brauwelt* 100, 522-524.
- 51 Kretschmer, K.-F. (1967) Über die Güteeigenschaften von Braumalzen, *Brauwelt* 107 (48/49), 929-934.
- 52 Kunz, T., Woest, H., Lee, E.-J., Müller, C., Methner, F.-J. (2011) Improvement of the oxidative wort and beer stability by increased unmalted barley proportion, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 64 (7/8), 75-82.
- 53 Kunz, T., Müller, C., Mato-Gonzales, D., Methner, F.-J. (2012) The influence of unmalted barley on the oxidative stability of wort and beer, *J. Inst. Brew.* 118, 32-39.
- 54 Kunz, T., Strähmel, A., Cortés, N., Hense, W., Kroh, L. W., Methner, F.-J. (2013) Influence of intermediate Maillard reaction products with endiol structure on the oxidative stability of beverages, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 71, 114-123.
- 55 Kunz, T., Müller, C., Methner F.-J. (2013) EAP Determination and Beverage Antioxidative index (BAX) - Advantageous tools for evaluation of the oxidative flavour stability of beer and beverages (part 1), *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 66 (1/2), 12-22.

- 56 Lake, J.-C., Speers, R.-A. (2008) A discussion of malt-induced premature yeast flocculation, *Tech. Q. MBAA Commun.* 45, 253-262.
- 57 Lloyd, W.-J.-W. (1988) Environmental effects on the biochemical phases of malt kilning, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 46 (1), 8-13.
- 58 Lubert, D.-J., Pool, A.-A. (1964) Studies in barley and malt XXII. Effect of elevated temperatures during multiple steeping, *J. Inst. Brew.* 70, 145-155.
- 59 Macey, A., Stowell, K.-C. (1959) A practical study on scientific control in commercial malting, *7th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Rome, Elsevier Scientific: Amsterdam, 105-112.
- 60 Mändl, B., Wagner, D., Piendl, A. (1975) Degree of steeping and malt quality. Part III, Effect of steeping on amino acids, *Brew. Dig.* 50 (6), 48-50, 52-54, 58.
- 61 Manger, H.-J. (2006) Die optimale Wirkungsweise einer Kälteanlage, *Kälteanlagen in der Brau- und Malzindustrie*, 1st ed., 65-70, VLB-Fachbücher, Berlin.
- 62 Manzanares P., Navarro A., Senda J.-M., Carbonell J.-V. (1995) A new scope on β -glucanase role in barley breeding programs, *25th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Brussels, IRL Press: Oxford, 75-82.
- 63 Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission (2006) Brautechnische Analysemethoden, Band Rohstoffe, Selbstverlag der MEBAK, Freising-Weihenstephan.
- 64 Molina-Cano, J.-L. (1992) Breeding barley for malting and feeding quality, *Ferment.* 5, 425-432.
- 65 Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2013) The influence of elevated steeping temperatures on the resulting malt homogeneity and malt quality, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 66 (7/8), 114-122.
- 66 Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2014) The influence of elevated germination temperatures on the resulting malt quality and malting losses, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 67 (3/4), 18-25.
- 67 Müller, C., Brandt, N.-O., Kadatz D., Lion C., Methner, F.-J. (2014) Variation of the steeping regime for optimising the cytolytic modification using an accelerated malting procedure, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 67 (3/4), 26-32.
- 68 Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2014) The influence of the withering temperature on the resulting proteolytic and cytolytic modification of pale malt, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 67 (7/8), 88-95.
- 69 Müller, C., Methner, F.-J. (2015) An accelerated malting procedure - Influences on malt quality and cost savings by reduced energy consumption and malting losses, *J. Inst. Brew.* 121 (2), 181-192.
- 70 Müller, C., Kunz, T., Methner, F.-J. (2015) The cleaning effect on brewing barley using vibrations during wet steeping, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 68 (1/2), 29-37.
- 71 Narziß, L. (1965) Moderne Mälzungsmethoden I. Der Einfluß der Weicharbeit auf Keimung und Malzqualität unter besonderer Berücksichtigung der Weichtemperatur, *Brauwelt* 105 (81), 1506-1515.
- 72 Narziß, L., Hellich, P. (1966) Mälzungsversuche bei verschiedenen hohen, aber konstanten Keimtemperaturen und unterschiedlichen Feuchtigkeitsniveau, wobei der jeweils maximale Keimgutwassergehalt zu verschiedenen Zeiten hergestellt wird, *Brauwelt* 106 (44), 801-811.
- 73 Narziß, L., Hellich, P. (1966) Die Keimung mit fallenden Temperaturen, *Brauwelt* 106 (48/49), 885-894.

- 74 Narziß, L. (1966) Steeping as the foundation of modern malting technology, *Tech. Q. - Master Brew. Assoc. Am.* 3, 237-243.
- 75 Narziß, L., Kieninger, H. (1967) Die Weicharbeit im Lichte neuester Erkenntnisse, *Brauwelt* 107 (84/85), 1569-1581.
- 76 Narziß, L., Friedrich, G. (1970): Der Einfluß des Mälzungsverfahrens auf die Steigerung der Enzymaktivität I – IV, *Brauwissenschaft* 23 (4), 123-142, 167-175, 229-234, 265-271.
- 77 Narziß, L., Rusitzka, P., Stippler, K. (1973) Der Einfluss des Schwelkprozesses auf die Entwicklung der Enzyme und einiger anderer Stoffgruppen des Malzes, *14th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Salzburg, Elsevier Scientific: Amsterdam, 85-98.
- 78 Narziß, L., Lintz, B. (1975) Verfolg der Eiweißfraktionen und der proteolytischen Enzyme in Grünmalz, Schwelkmalz, Darrmalz und gelagertem Darrmalz, *Brauwissenschaft* 28 (12), 360-362.
- 79 Narziß, L., Stippler, K. (1976) Der derzeitige Stand unserer Erkenntnisse über Stoffumsetzungen beim Schwelk- und Darrprozess, *Brauwissenschaft* 29 (6), 177-183.
- 80 Narziß, L., Stippler, K. (1976) Der Einfluss des Schwelkverfahrens auf die herkömmlichen Analysendaten des Malzes, *Brauwissenschaft* 29 (7), 199-206.
- 81 Narziß, L., Stippler, K. (1976) Über den Einfluß des Schwelkverfahrens auf die freien Kohlenhydrate und Aminosäuren, *Brauwissenschaft* 29 (9), 276-281.
- 82 Narziß, L., Rusitzka, P. (1977) Über die Veränderungen der Enzyme während des Schwelkens und Darrens, *Brauwissenschaft* 30 (1), 1-11.
- 83 Narziß, L., Reicheneder, E., Brauchle, R. (1987) Untersuchungen zur Cytolyse des Malzes, *Brauwelt* 127 (33/34), 1453-1461.
- 84 Narziß, L. (1989) Der Stand der Mälzereitechnologie, *Brauwelt* 129 (21/22), 939-940, 953-961.
- 85 Niessen, L., Hecht, D., Zapf, M., Theisen, S., Vogel, R.-F., Elstner, E., Hippeli, S. (2006) Zur Rolle oberflächenaktiver Proteine von Pflanzen und Pilzen bei der Entstehung des Gushings sowie zu den Möglichkeiten ihrer Beeinflussung, *Brauwelt* 146 (19/20), 570-572.
- 86 Ostertag, D. (1971) Beitrag zur Frage der Ungleichmäßigkeit des Darrens, *Brauwissenschaft* 24 (8), 285-299.
- 87 Parsons, R. (1977) Malt kilning conditions and the control of beer dimethylsulphide levels, *16th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Amsterdam, DSW: Dordrecht, 115-127.
- 88 Pensel, S. (1986) Darrsysteme aus energiewirtschaftlicher Sicht, *Brauwelt* 49, 2430-2435.
- 89 Piendl, A. (1975) Degree of steeping and malt quality. Part I. Effect of steeping on carbohydrates, *Brew. Dig.* 50 (1), 34-38, 42.
- 90 Pollock, J.-R.-A., Pool, A.-A. (1958) Enzymes of barley and malt III - The latent beta-amylase of barley, *J. Inst. Brew.* 64, 151-156.
- 91 Pool, A.-A. (1964) Reappraisal of the usefulness of warm-water steeping in malting in the light of the effect of gibberellic acid, *J. Inst. Brew.* 70, 221-225.
- 92 Preece, I. A., Hoggan, J. (1956) Enzymatic degradation of cereal hemicelluloses. I. Observations on the β -glucanase system and its development during malting, *J. Inst. Brew.* 62, 486-495.
- 93 Rath, F. (1993) Histologische und physiologische Untersuchungen zur Wasseraufnahme bei der Vermälzung unterschiedlicher Gerstengenotypen

- verschiedener Herkünfte und Erntejahrgänge mit dem Ziel der Optimierung von Mälzungsarbeit und Malzqualität, Dissertation, Technische Universität Berlin, 152-171.
- 94 Razga, Z. (1962) Versuche mit der Flutweiche, *Brauwissenschaft* 15 (10), 307-311.
 - 95 Reeves, S.-G., O'Farrell, D.-D., Wainwright, T. (1980) The effect of increased steeping temperature on malt properties, *J. Inst. Brew.* 86, 226-229.
 - 96 Reinikainen, P., Räsänen, E., Olkku, J. (1996) A practical at-line measurement of carbon dioxide production of barley during malting process, *Monatsschr. Brauwiss.* 49 (9/10), 280-282.
 - 97 Riis P., Bang-Olsen K., Pedersen L.-H. (1993) Breeding high vigour barley - a short cut to fast malting, *24th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Oslo, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, 77-84.
 - 98 Runkel, U.-D. (1975) Das Darren des Malzes und sein Einfluß auf die Malz- und Bierqualität, *Eur. Brew. Conv. Congr. Monograph II*, 208-221.
 - 99 Sage, G.-C.-M. (1992) Current and future breeding of barley for malting and brewing, *Brew. Guardian* 121, 24-25, 27-29.
 - 100 Sarx, H.-G., Rath, F. (1995) Filtration risk analysis - New method for predicting problems in wort and beer filtration, *25th Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Brussels, IRL Press: Oxford, 615-620.
 - 101 Savin, R., Stone, P.-J., Nicolas, M.-E. (1996) Responses of grain growth and malting quality of barley to short periods of high temperature in field studies using portable chambers, *Aust. J. Agric. Res.* 47, 465-477.
 - 102 Savin, R., Stone, P.-J., Nicolas, M.-E., Wardlaw, I.-F. (1997) Grain growth and malting quality of barley – 1. Effects of heat stress and moderately high temperature, *Aust. J. Agric. Res.* 48, 615-624.
 - 103 Schilfarth, H., Sommer, G., Kremkow, C. (1970) Kolbachzahl, Malz- und Bierqualität, *Monatsschr. Brau.* 23, 177-186.
 - 104 Schur, F., Pfenninger, H.-B., Narziß, L. (1975) Einfluß verschiedener Maischparameter auf die Amyolyse, *4. Mitteilung, Schweiz. Brau.-Rundsch.* 86, 153-159.
 - 105 Schuster, K., Grünwald, J. (1957) Darrprobleme, *Brauwelt* 97, 1446-1451.
 - 106 Schwarz, P.-B., Schwarz, J.-G., Zhou, A., Prom, L.-K., Steffenson, B.-J. (2001) Effect of *Fusarium graminearum* and *F. poae* infection on the barley and malt quality, *Monatsschr. Brauwiss.* 54 (3/4), 53-55.
 - 107 Sims, R.-C. (1958) Germination of barley: Effects of varying water contents upon the initiation and maintenance of growth, *J. Inst. Brew.* 65, 46-50.
 - 108 Sommer, G. (1971) Weichtemperatur und Malzqualität, *Monatsschr. Brau.* 24, 205-210.
 - 109 Sommer, G. (1975) Eiweißabbau und Aminosäure-Zusammensetzung, *Eur. Brew. Conv. Congr. Monograph II*, Report of the barley and malt committee, 188-197.
 - 110 Sommer, G. (1976) Einige Aspekte moderner Mälzereitechnologie, *Brauwissenschaft* 29 (1), 21-28.
 - 111 Stadler, H. (1964) Kleinmälzungsversuche über die optimale Temperaturführung beim Mälzen, *Brauwissenschaft* 17, 186.
 - 112 Stone, P.-J., Nicolas, M.-E. (1994) Wheat cultivars vary widely in their response to short periods of post-anthesis heat stress, *Aust. J. Plant Physiol.* 21, 887-900.
 - 113 Stone, P.-J., Nicolas, M.-E. (1995) A survey of the effects of high temperature during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance – I. Grain growth, *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 927-934.

- 114 Swanston, J.-S., Taylor, K. (1990) The effects of different steeping regimes on water uptake, *J. Inst. Brew.* 96, 3-6.
- 115 Thalacker, R., Birkenstock, B. (1982) Eine neue Kennzahl in der brautechnischen Analyse - die Thiobarbitursäurezahl, *Brauwissenschaft* 35 (6), 133-137.
- 116 Vanne, L., Haikara, A. (2001) Mycotoxins in the total chain from barley to beer, 28th *Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Budapest, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, 839-849.
- 117 Van Nierop, S.-N.-E, Cameron-Clarke, A., Axcell, B.-C. (2004) Enzymatic generation of factors from malt responsible for premature yeast flocculation, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 62, 108-116.
- 118 Voborsky, J. (1971) Der Einfluss der Sprühweiche und der Wassertemperatur auf die Qualität des Malzes, *Lebensmittelindustrie* 18 (10), 377-380, 428-431.
- 119 Webster, R.-D.-J. (1981) Prediction of lautering performance of malt, *J. Inst. Brew.* 87, 52-56.
- 120 Weidinger, A. (1966) Neue Wege der Weichgutbelüftung, *Brauwelt* 106, 1171-1178.
- 121 Weith, L. (1960) Studien zur Technologie der Mälzerei, *Brauwissenschaft* 13 (2), 214-218, 262-267, 288-294
- 122 Weith, L. (1961) Die proteolytischen Enzyme in der Mälzereitechnologie, *Brauwelt* 101 (43), 961.
- 123 Weith, L. (1967) Studien zu Technologie der Mälzerei VII. Der Einfluss der Faktoren Zeit, Temperatur und Wassergehalt auf die Malzqualität, 11th *Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.* Madrid, Elsevier Scientific: Amsterdam, 251-265.
- 124 Wietstock, P.-C., Methner, F.-J. (2013) Formation of aldehydes by direct oxidative degradation of amino acids via hydroxyl and ethoxy radical attack in buffered model solutions, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 66 (7/8), 104-113.
- 125 Wilhelmson, A., Laitila, A., Vilpola, A., Olkku, J., Kotaviita, E., Fagerstedt, K., Home, S. (2006) Oxygen deficiency in barley (*hordeum vulgare*) grain during malting, *J. Agric. Food Chem.* 54, 409-416.
- 126 Wilhelmson, A., Laitila, A., Heikkilä, J., Räsänen, J., Kotaviita, E., Olkku, J., Home, S. (2003) Changes in the gas atmosphere during industrialscale malting, 29th *Proc. Congr. - Eur. Brew. Conv.*, Dublin, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg., 226-233.
- 127 Wittmann, R., Eichner, K. (1989) Nachweis von Maillard-Produkten in Malzen, Bieren und Braucouleuren, *Z. Lebensm.-Unters. -Forsch. A* 188 (3), 212-220.
- 128 Yang, B., Schwarz, P. (1998) Factors involved in the formation of two precursors of dimethyl sulphide during malting, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 56, 85-92.
- 129 Zapf, M. (2006) Charakterisierung oberflächenaktiver Proteine aus *Fusarium* spp. und deren Einfluss auf die Blasenstabilisierung in Bier, Dissertation, Technische Universität München.
- 130 Zastrow, K. (1961) Aufgaben, Ergebnisse und Probleme der Kleinmälzung, *Monatsschr. Brau.* 14, 36-40.
- 131 Zastrow, K., Aldenhoff, S., Lent, D., Krauß, G. (1969) Einfluß des Kohlendioxids bei der Keimung auf die Malzeigenschaften und den Schwand, *Monatsschr. Brau.* 22, 269-276.
- 132 Zastrow, K. (1969) Beobachtung bei der Vermälzung von wasserempfindlichen und nicht wasserempfindlichen Gersten nach verschiedenen Weichverfahren, *Monatsschr. Brau.* 22, 325-329.

- 133 Zhou, B., Schwarz, P., He, G.-Q., Gillespie, J., Horsley, R. (2011) Effect of enzyme pretreatments on the determination of deoxynivalenol in barley, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2, 103-108.
- 134 Zila, V.-V., Trkan, M., Skvor, F. (1942) Über Korngröße und Weiche, *Wochenschr. Brau.* 59 (14), 63-65.
- 135 Zürcher, C., Krauß, G., Eifler, K.-J., Kursawe, R. (1972) Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier, *Monatsschr. Brau.* 7, 178-186.
- 136 Deutscher Wetterdienst (DWD) „Ausgabe der Mitteltemperatur für die einzelnen Bundesländer und Deutschland (gesamt)“ unter: http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU21/kl imadaten/german/download__gebietsmittel__tm,templateId=raw,property=publicationFile.xls/download_gebietsmittel_tm.xls (abgerufen am 02.02.2015)
- 137 Max-Planck-Gesellschaft „Züchtungsforschung in Zeiten des Klimawandels“ unter: <http://www.mpg.de/309988/forschungsSchwerpunkt1> (abgerufen am 15.02.2015)
- 138 Statistica, Das Statistik Portal „Strompreise für Industriekunden in ausgewählten europäischen Ländern nach Verbrauchsmenge im Jahr 2013“, unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151260/umfrage/strompreise-fuer-industriekunden-in-europa/> (abgerufen am 08.10.2014).
- 139 Statistica, Das Statistik Portal – „Länder mit den höchsten Gaspreisen für die Industrie in Europa im 1. Halbjahr 2014“ unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/7092/umfrage/gaspreise-pro-gj-in-europa-in-2007/> (abgerufen am 12.02.2015).

7. Anhang

7.1 Grundlegende Veröffentlichungen dieser Arbeit

Veröffentlichungen von irgendwelchen Teilen der vorliegenden Dissertation sind wie folgt vorgenommen worden.

- (1) **Müller, C.**, Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2013) The influence of elevated steeping temperatures on the resulting malt homogeneity and malt quality, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 66 (7/8), 114-122.
- (2) **Müller, C.**, Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2014) The influence of elevated germination temperatures on the resulting malt quality and malting losses, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 67 (3/4), 18-25.
- (3) **Müller, C.**, Brandt, N.-O., Kadatz D., Lion C., Methner, F.-J. (2014) Variation of the steeping regime for optimising the cytolytic modification using an accelerated malting procedure, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 67 (3/4), 26-32.
- (4) **Müller, C.**, Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2014) The influence of the withering temperature on the resulting proteolytic and cytolytic modification of pale malt, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 67 (7/8), 88-95.
- (5) **Müller, C.**, Methner, F.-J. (2015) An accelerated malting procedure - Influences on malt quality and cost savings by reduced energy consumption and malting losses, *J. Inst. Brew.* 121 (2), 181-192.

Außerdem wurden einige Ergebnisse aus dieser Arbeit in einem Kongressvortrag veröffentlicht:

- (1) **Müller, C.**, Methner, F.-J. (2013) Accelerated malting using elevated steeping and germination temperatures with a focus on malt quality and homogeneity, *MBBA Annual Conference, Austin, Texas.*

Die Eigenanteile an allen Publikationen beträgt etwa 75 - 80 %. Die Ideen wurden zusammen mit dem Betreuer Prof. Dr.-Ing Frank-Jürgen Methner entwickelt. Der Erstautor war allein für die Planung, Durchführung und Auswertung verantwortlich. Die praktische Versuchsdurchführung wurde entweder vollständig eigenständig oder von Studenten/studentischen Hilfskräften durchgeführt. Das Labor am Fachgebiet Brauwesen hat die Arbeit mit Malzanalysen unterstützt.

Nach § 5 Abs. 1 Satz 3 Nr. 5 und 6 PromO der TU-Berlin versichere ich an Eides statt, dass die Darstellung des Eigenanteils der Wahrheit entspricht.

Kulmbach, 23.04.2015

Christian Müller

7.1.1 The influence of elevated steeping temperatures on the resulting malt homogeneity and malt quality (2013)

Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J.
BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss. 66 (7/8), 114-122.

C. Müller, M. Kleinwächter, D. Selmar and F. J. Methner

The Influence of Elevated Steeping Temperatures on the Resulting Malt Homogeneity and Malt Quality

Achieving a homogenous malt quality within industrial scale malt batches of up to 300 tons is a major goal for the malt industry. Malt analyses represent only small samples and merely give a rough mean score over thousands of kernels. Cytolytically badly modified or even ungerminated kernels may occur consequently leading to lautering and filtration problems e.g. due to high remaining unhydrolysed β -glucan fractions. Published findings claim that relatively low temperatures during steeping and germination (12–17 °C) are required to produce high quality malts, however, these processes consequently take 5 to 7 days excluding the kilning. Most of these studies were carried out several decades ago and new barley varieties with improved malting properties are available now.

In this study, constant steeping temperatures between 15 and 35 °C were used to obtain the influence of the temperature on the germination and thus the resulting malt homogeneity and quality. The use of a steeping temperature of up to 30 °C resulted in faster germination rates, higher germination energies and improved malt qualities as well as increased malt homogeneities in comparison to the reference temperature of 15 °C. Furthermore, the lautering performance of the produced malts, evaluated by a laboratory lautering test, was improved or equal when using a steeping temperature of up to 30 °C. The optimal steeping temperature in the trials was proven to lie between 20 and 25 °C, resulting in a quicker start of the germination promoting an earlier onset of the cytolytic modification of the barley. The malting losses only increased slightly applying higher steeping temperatures and a time reduction of the germination process appears to be possible while similar or better malt qualities can be achieved. The outcome of these trials could help the malting industry to save energy and time.

Descriptors: steeping temperature, germination energy, homogeneity, malt quality

1 Introduction

During steeping, which is the initial and key step in malt production, the grain's water content, the so-called steeping degree, is increased to induce the germination [3]. According to Sims [28], the grain kernels start germinating at water contents above 30 %. The steeping regime in most cases consists of 2–3 immersion phases (wet steeps) and periodic dry rests. After the steeping process, the steeping degree normally ranges between 38 and 41 %. The germination performance is primarily influenced by the steeping regime, the temperatures and the rate of water uptake. Latter, in turn, is dependent on the cultivar, the crop year, the kernel size, the nitrogen content, the kernels' physiological status (dormancy, water sensitivity) [3, 6, 7] and a sufficient oxygen supply [9, 32, 34]. Nevertheless, the steeping temperature is probably the most important influencing factor on the water uptake of the grain. The

literature suggests relatively low temperatures of 12–17 °C during steeping [14, 18, 20, 25] and germination [19, 24, 30, 33] to produce malt with a high quality, such as high extract yields and a good proteolytic and cytolytic modification. The production of malt is a time and energy consuming process and higher steeping temperatures consequently lead to a faster water uptake and a sooner initialisation of the germination which, in turn, results in a possible advantageous reduction of the germination time [29]. Hence, many authors investigated the use of higher steeping temperatures during the last decades.

Despite of suggested steeping temperatures below 13 °C [20] in order to get a good malt quality while achieving low malting losses, *Narziss* and *Friedrich* [22] found higher activities of all analysed amylolytic, proteolytic and particularly cytolytic enzymes in the malts produced with wet steep temperatures of 21 °C compared to 15 °C. The temperature during the dry rests as well as germination was constantly kept at 15 °C for both trials. According to all malt analysis parameters, a germination time reduction of one germination day was possible. Trials of *Sommer* [29] with steeping temperatures of 12, 16 and 20 °C during the complete steeping process provided evidence of similarly satisfying malt qualities. In particular, the cytolytic modification was slightly improved, but the extract yield concomitantly decreased when higher steeping temperatures were

Authors

Dipl.-Ing. Christian Müller, Prof. Dr.-Ing. Frank Jürgen Methner, Technische Universität Berlin, Department of Biotechnology, Chair of Brewing Science, Berlin, Germany; c.mueller@tu-berlin.de; Dr. Maik Kleinwächter, Prof. Dr. Dirk Selmar, Technische Universität Braunschweig, Institute for Plant Biology, Germany

applied. *Baxter et al.* [4] and *Reeves et al.* [26] carried out trials comparing the even higher steeping temperature of 30 °C with 16 °C and reduced the germination by one day. Here, considerably reduced enzyme activities in the warm steeped malts were found. Also, the filterability (filtrate volume after 30 min by folded filter tests) of mashes produced from warm steeped malts was markedly lower. In further trials [5], the steeping and germination temperatures of 16, 20 and 25 °C at different process time points were compared. The best results were achieved for a malt produced with warm (20 °C) wet phases at the end of steeping. Warm temperatures generally led to a faster cytolytic modification, evaluated by the malt parameter extract difference, but also to reduced filterabilities up to 50 %. *Huang et al.* [11] immersed barley for 31, 24 and 16 hours at steeping temperatures of 15, 20 and 25 °C, respectively, and used the same germination conditions for all trials. Increased free amino nitrogen values, diastatic power but also increased malting losses when applying higher temperatures could be found. The optimum temperature of this trial was suggested to be 20 °C. Investigations of *Voborsky et al.* [31] using different steeping temperatures from 18 to 30 °C and applying a spray-steeping program (spraying with water every 10 min) showed contradictory results with considerably decreasing amylolytic activities (diastatic power, α - and β -amylase) and lowered malting losses when applying higher temperatures. This was achieved by adjusting 2 % lower steeping degrees for the warmer steeped samples and by shortening the germination time by one day when applying elevated temperatures of 24 and 30 °C as compared to the 18 °C-trial. As a consequence, the lack of time and lower steeping degree could have compensated possible advantages applying higher temperatures. Nevertheless, the 30 °C-trial resulted in a significantly worse malt quality, thus a maximum steeping temperature of 24 °C was suggested. *Lubert et al.* [16] investigated the influence of even higher steeping temperatures from 20 up to 50 °C during the first of three wet steeps, varied from 15 min to 12 h, on the water sensitivity. The two barley varieties reacted in a different manner to the treatments. The water sensitivity of the more heat sensitive barley did not increase by 10 % with wet steeps up to 8 hours at 25 °C, 6 hours at 30 °C, 3.5 hours at 35 °C, 2 hours at 40 °C and 1 hour at 45 °C. Furthermore, the malt quality parameters extract and extract difference were impaired remarkably above these maximal initial steeping periods when applying the different temperatures. The other barley could be steeped about twice as long at the different temperatures without exceedingly worsening the malt quality.

Nowadays, very large malt batches are processed, which frequently lead to heterogeneities within the grain beds. As a result, β -glucanase activities vary within the batches, thus remaining high concentrations of viscosity increasing non-hydrolyzed β -glucan in parts of the batches. This, in turn, can lead to lautering and filtration problems during the brewing process [2, 8, 23]. The kernels' enzyme activities mainly depend on their physiological status, which can be influenced by the steeping parameters. According to *Aalbers et al.* [1], heterogeneities during steeping cannot be corrected during the later germination or kilning processes. Apart from inhomogeneities in a barley batch originated from the growth on the field, e.g. kernel size or physiological status, *Axccll et al.* [3] proposed that a homogenous water uptake of the kernels in one batch is very important for a simultaneous start of the germination and thus for the homogeneity of the resulting malt. For this reason,

Home et al. [10] suggested the counting of chitted kernels during steeping and at the start of germination to evaluate the homogeneity of the germination ignition and progress.

The topic of the present study was to elaborate the effect of different steeping temperatures (15, 20, 25, 30, 35 °C) in small scale malting trials on the speed of germination and on the final malt homogeneity and quality. Here, common barley varieties used nowadays were malted using a modern steeping regime with two "short" wet steep phases and "long" dry rests (14–15 h). The germination parameters time, steeping degree and temperature and the kilning program were kept constant for all trials. Hence, the influence of the steeping temperature on the malt quality could exclusively be observed by controlling the germination performance and malt analyses. Additionally, laboratory lautering tests as well as the time of the congress wort separation were carried out with the produced malts to get information about the processability.

2 Materials and methods

2.1 Malt Analyses

The malt analyses extract, lautering and saccharification time, apparent final attenuation, viscosity, pH value, free amino nitrogen, colour of boiled wort, turbidity, Kolbach index, modification and homogeneity (Carlsberg method), β -glucan, friability and acrospire length were performed according to MEBAK [17]. The activities of α - and β -amylases were determined with commercial assay kits (Megazyme, Bray, Ireland). All analyses were done in duplicate.

2.2 Laboratory lautering tests

An in-house-method of a laboratory lautering test was used to determine the lautering properties of the mashes produced from the respective malts. The lautering test was performed in triplicate using the Filtercheck®-apparatus (Stabifix, Gräfelfing, Germany) at 20 °C. For this, 50 g malt are ground with a DLFÜ-mill (Bühler, Uzwil, Switzerland) with a disk gap of 0.8 mm and mashed in with 180 mL bidistilled water of 45 °C. For mashing, the congress mashing apparatus (Bender & Holbein, Bruchsal, Germany) and regime [17] are used. After cooling the mash to 20 °C, bi-distilled water is added to the mashes adjusting the beaker contents to 200 g. After filling the Filtercheck®-apparatus followed by a lautering rest of exact 2 minutes, the filtrate is collected on a scale and the filtrate volume is recorded during the test and plotted against the lautering time. Comparing the curves and the filtrate volume after 300 seconds provides information about the malts' lautering properties.

2.3 Small-scale malting

For the steeping trials, the two two-row barley varieties Marthe (water 13.9 %, protein 10.5 %, germination energy 98 %, water sensitivity 35 %) and Tipple (water 13.5 %, protein 9.2 %, germination energy 96 %, water sensitivity 26 %) were malted in a "Heyl" small scale malting. The "Heyl" system consists of four steeping/germination wheels each holding 12 cylindrical mesh baskets (950 g barley). The wheels are housed in an insulated chamber which is ventilated with tempered and humidified air. For steeping, the baskets are

dipped periodically into a water tubs, located below the wheels, by the turning wheels (0.25 turns per minute) to ensure a good water and oxygen supply of the malt. During germination, the water tubs are drained and the wheels are turned continuously to aerate the grain and to avoid the formation of clusters.

The first wet steep and the dry rest were carried out in the laboratory. 2 L-flasks were filled with aliquots of 950 g (in duplicate) of the two cleaned two-row summer barley varieties and with tempered tap water (15 °C for 4.25 h; 20 °C for 3.5 h; 25 °C for 2.75 h; 30 °C for 2 h and 35 °C for 1.5 h). For the dry rest (14–15 h), the samples were placed in the baskets of the “Heyl” system and kept in several heating chambers in order to ensure the different temperatures. Afterwards, the baskets were transferred to the “Heyl” plant for the second wet steep which was carried out at 15 °C to ensure the same germination temperature for each sample (germination for 5 days at 15 °C). The duration of the second wet steep was set according to the reached steeping degree after the dry rest (Table 1).

The water content was checked daily by weighing the germination baskets and calculating the steeping degree with reference to the dry matter. The amount of water to adjust the steeping degree to 45 % was calculated by steeping degree and initial barley weight. It was sprayed onto the wheels' baskets on the first and second germination day. After the dry rest and on the first and second germination day, the percentage of chitted and forked kernels were counted to monitor the germination performance and homogeneity influenced by the different steeping temperatures. On the sixth day, the baskets were transferred to a conventional small scale kiln and withered at 50 °C for 18 hours and cured at 80 °C for 5 hours. The rootlets of the kilned malt were removed with an automated sample cleaner model SLN (Pfeuffer, Kitzingen, Germany) whereby the rootlets were weighed for determining the losses. The steeping regime and the resulting steeping degrees of the different samples are depicted in following table.

3 Results and Discussion

Higher temperatures during steeping consequently result in higher steeping degrees of the green malt [29]. The factor steeping parameter itself also is quite important for the germination and influences

the resulting malt quality [22]. In contrast to the previously reviewed studies, the chosen durations of the first wet steeps, applying different temperatures (Table 1), were therefore conducted according to preliminary trials in which the suitable wet steep durations were ascertained with the goal to achieve similar steeping degrees after the second wet steep. An influence of a higher steeping degree with increasing steeping temperatures should be excluded and unnecessary extended wet periods at higher temperatures should be avoided. The steeping degrees varied only by about 1.5 % for each barley variety. The slightly decreased steeping degrees when applying higher steeping temperatures, probably was caused by a little faster drying of the film-water after the wet steep through the cylindrical mesh baskets. Due to the negative correlation between the temperature and the achieved steeping degree after the dry rest (Table 1), the warmer steeped samples should not have had an advantage by an influence of the steeping degree. Comparing both barley varieties, the barley Tipple showed a faster water uptake resulting in about 3 % higher steeping degrees after steeping.

According to the reached steeping degrees after the dry rests, the cold second wet steeps were varied, resulting in quite similar steeping degrees for each barley variety until the end of germination. This and achieving steeping degrees above 30 % after the first wet steep were basic requirements for determining the effect of the steeping temperature on the resulting malt homogeneity and quality, exclusively.

As a further process control, the germination performance was monitored by counting and determining the percentage of chitted and forked kernels in duplicate. The germination progress was determined 2 hours after the second wet steep and on the first and second germination day, that is 24, 48, 72 hours after steeping in, respectively (Fig. 1).

Optimal germination performance and germination homogeneity, evaluated by the percentage of germinated kernels (germination energy) and by the difference between forked and chitted kernels, could be observed between 20 and 25 °C for both barley varieties. Despite of a 9 % higher water sensitivity, the barley Marthe showed a higher percentage of germinated kernels within the 35 °C-sample after 48 and 72 hours indicating that it is less heat sensitive than Tipple originated either by different variety proper-

Table 1 Steeping regimes and resulting steeping degrees (mean of two germination boxes)

Barley	Temperature of 1. wet steep + dry rest	Duration of 1. wet steep [hh:mm]	Duration of dry rest [h]	Steeping degree after dry rest [%]	Duration of 2. wet steep (15 °C) [hh:mm]	Steeping degree on germination day 1 [%]	Steeping degree on germination day 5 [%]
Marthe	15 °C	04:15	14–15	34	03:45	41.1	44.7
	20 °C	03:30		32.6	03:55	41.8	45.0
	25 °C	02:45		32.3	03:55	42.0	45.1
	30 °C	02:00		31.3	04:00	41.6	45.0
	35 °C	01:30		31.4	04:00	41.4	44.7
Tipple	15 °C	04:15		37.0	02:35	44.3	44.9
	20 °C	03:30		35.9	03:10	45.3	45.4
	25 °C	02:45		35.5	03:25	45.2	45.4
	30 °C	02:00		34.8	03:40	44.7	44.9
	35 °C	01:30		34.6	03:40	44.6	44.6

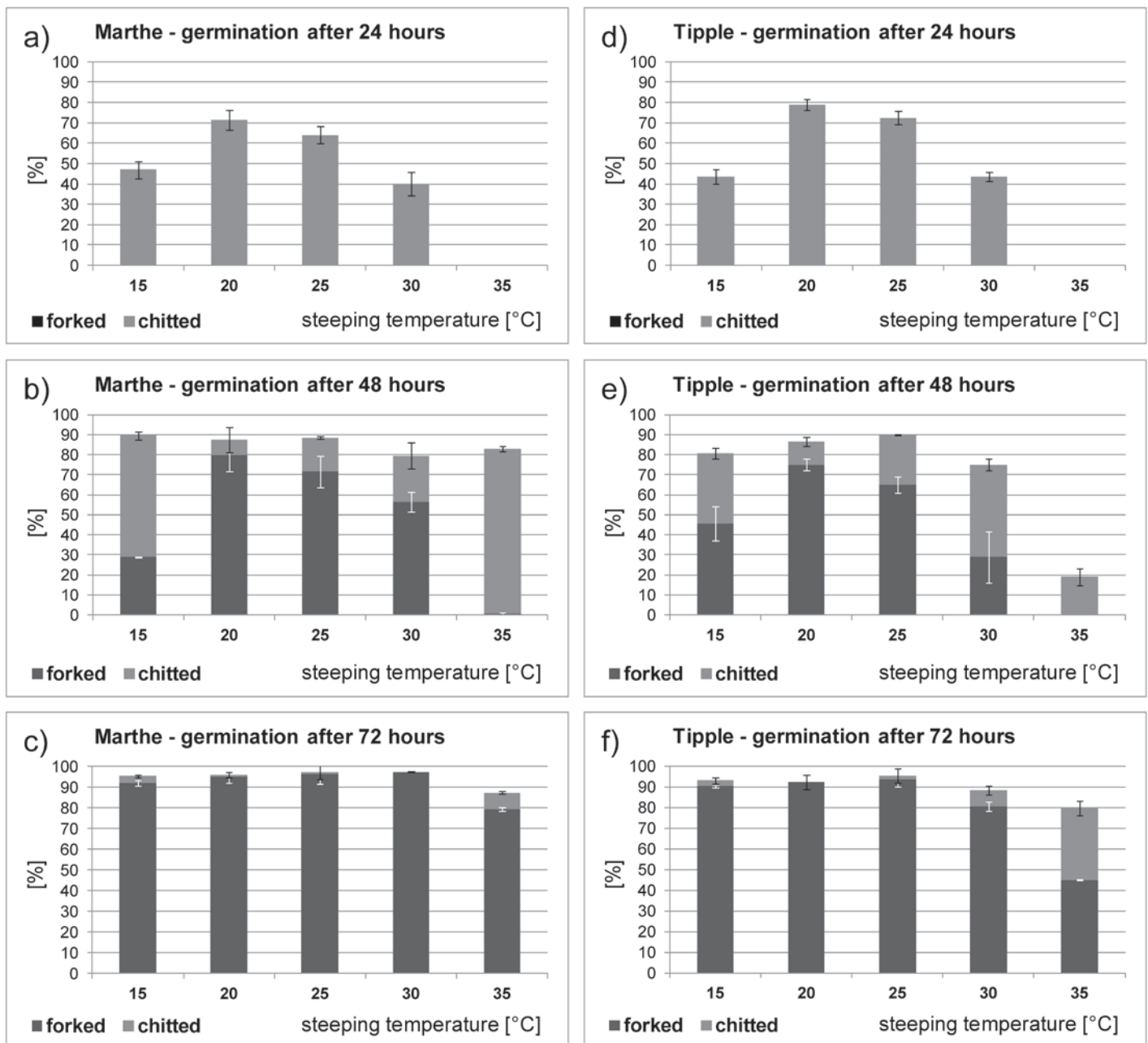


Fig. 1 Evaluation of the germination performance by counting the percentages of chitted and forked kernels after second wet steep (24 h). on the first (48 h) and second (72 h) germination day; barley Marthe a. b. c; barley Tipple d. e. f. (mean of two germination boxes. duplicate standard deviation of forked and germinated kernels included)

ties or by the unknown cultivation conditions. As indicated by the higher germination energy on the second germination day and the smaller difference between forked and chitted kernels after 48 and 72 hours, the germination performance of Marthe was improved up to 30 °C when compared to the reference steeping temperature of 15 °C. The germination performance of the more heat sensitive barley Tipple was inhibited at 30/35 °C as compared to the steeping temperature of 15 °C. Axcell et al. [3] and Home et al. [10] claimed that warm steeping improves the water distribution within the kernels which is important for a simultaneous germination start. This may also explain the improved germination performance from the present study applying higher steeping temperatures than 15 °C. Narziss [24] described decreasing germination energies when cooling the steeped barley fast by more than 10 °C. In the present studies, this temperature shock could not be obtained up to the

30 °C-sample for the barley Marthe and up to the 25 °C-sample for the barley Tipple. In addition to generally too high steeping temperatures, a cause for the decreased germination energies after 72 hours could be a temperature shock due to high temperature differences between the barley samples after the dry rest and the 15 °C of the second wet step. In this case, the germination properties applying higher temperatures possibly could be improved by cooling the barley slowly in the germination box.

The results as observed from the germination control were reflected in the final malt quality. The results of the malt analyses are summarised in tables 2 and 3.

Generally, also the high steeping temperatures up to 35 °C led to acceptable malt qualities which were in the range of the MEBAK

Table 2 Malt analyses (mean of duplicate) of barley Marthe (+ positively / – negatively evaluated values in comparison to the “normal” steeping temperature of 15 °C). Cursive written parameters are graphically shown in figures 2 and 3

Marthe			Steeping temperatures				
Analyses	Unit	Repeatability r	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Extract fine grist (d.m.)	%	0.58 ^{x2}	81.3	81.2	81.5	81.2	81.5
Filtration time	min	1–8.5 ^{x1}	43	33 ^{**+}	31 ^{**+}	28 ^{**+}	32 ^{**+}
Saccharification time	min	–	10	10	10	10	10
Kolbach index	%	6.7–0.12 m ^{x2}	44.0	43.8	44.6 *	44.7 *	45.1 *
Free amino nitrogen	mg/L	28–0.105 m ^{x2}	159	150 *	152 *	157	166 *
Turbidity 90°	EBC	0.04 ^{x2}	1.2	1.3 **	1.5 ***	1.4 **	2.1 ***
Colour of boiled wort	EBC	0.052 m ^{x2}	6.1	5.3 *	5.4 *	5.3 *	5.5 *
pH value	1	0.08 ^{x2}	5.93	5.94	5.94	5.92	5.86
Viscosity (8.6%)	mPa*s	–0.26+0.2 m ^{x2}	1.49	1.46 ⁺	1.45 ⁺	1.47 ⁺	1.46 ⁺
Friability – mealiness	%	12–0.11 m ^{x2}	88.3	91.5 ^{**+}	92.0 ^{**+}	92.2 ^{**+}	92.8 ^{**+}
Friability – glassiness	%	0.15+0.35 m ^{x2}	0.4	0.3	0.3	0.2 *	0.2 *
β-glucan (d.m.)	mg/100g	11 ^{x2}	170	91 ^{***+}	69 ^{***+}	79 ^{***+}	79 ^{***+}
Calcofluor modification	%	55.3–0.55 m ^{x2}	93	98 ^{**+}	98 ^{**+}	95 ⁺	95 ⁺
Calcofluor homogeneity	%	8.2 ^{x2}	69	92 ^{**+}	89 ^{**+}	78 ⁺	70
Acrospire length	%	1.5–3 ^{x1}	67	71 **	72 **	71 **	62
Homogeneity of acrospire length	%	0.2–8.5 ^{x1}	86	93 ⁺	94 ^{***+}	96 ^{***+}	92 ^{**+}
α-amylase (d.m.) Megazyme	U/g	0.05 m ^{x3}	273	266	246 *	264	259*
β-amylase (d.m.) Megazyme	U/g	0.05 m ^{x3}	794	862 ⁺	779	741 ⁻	632 ^{**}
App. final attenuation	%	0.6 ^{x2}	77.6	79.1 ^{**+}	78.6 ^{**+}	78.2 *	77.3 *
Malting losses	%	0.1–0.65 ^{x1}	7.0	6.3 *	6.6 *	6.7 *	7.0

(X = repeatability 1: given by each duplicate determination; 2: given by MEBAK ; 3: given by Megazyme – confidence coefficient by t-test: * 95 %, ** 99 %, *** 99.9 %)

specifications [17] with the exception of the Tipple malt steeped at 35 °C. Hence, the results of the germination performance obtained by counting chitted and forked kernels already gave evidence for the resulting quality of the final malts. The parameter glassiness, which indicates quite late germinated or non-germinated kernels, implies a higher heat sensitivity for the barley Tipple due to a significantly increased glassiness applying 35 °C.

The α-amylase activities of the Marthe malts were not markedly influenced by the different steeping temperatures. The enzyme α-amylase is not formed before the second day after steeping in [12, 13, 22], and thus the high steeping temperatures marginally affected the α-amylase formation of the less heat sensitive barley Marthe.

In contrast to this, the α-amylase activities of the Tipple malts were strongly negatively influenced by the high steeping temperatures of 30 and 35 °C. This confirmed published results from Baxter et al. [4], Reeves et al. [26] and Voborski [31], who reported a similar behavior. In contrast to previous investigations of Narziss and Friedrich [22], improved α-amylase activities up to 25 °C could not be observed for both cultivars used. This may be led back to a slightly higher steeping degree when applying wet steeps at 21 °C instead of 15 °C [22].

The enzyme activities of β-amylases were highest at 20 °C and decreased slightly when applying higher temperatures up to 30 °C

and strongly when applying 35 °C for both varieties. The enzyme β-amylase is already present in barley and released from the kernel's aleurone layer during germination [12, 13, 25]. In correlation to the significantly lower germination performance (Fig. 1), it was demonstrated that applying a temperature of 35 °C during steeping considerably inhibited the release and formation of β-amylases. A decrease of 10 and 32 % as compared to 30 °C was observed for Marthe and Tipple malts, respectively.

The disadvantage of using elevated temperatures up to 30 °C during steeping was an increased turbidity of the congress wort produced from the Tipple malts. Again, Tipple happened to be more heat sensitive and showed higher turbidities when compared to Marthe malt.

Tipple showed a too extensive proteolytic modification (Kolbach index) with 46–47 % at 20 and 25 °C. In contrast to this, the Kolbach indices of the Marthe malts only varied little. This behaviour proves again the variance in heat sensitivity of the two barley cultivars used, caused either by different variety properties or by the unknown cultivation conditions.

Regarding the malting losses, the results of the barley Marthe did not fall into the line with the other analytical data. Comparing e.g. the acrospire length or the modification, a measuring inaccuracy should be assumed for the 20 and 25 °C-samples. Yet, the barley Tipple showed a suitable trend. Applying a steeping temperature

Table 3 Malt analyses (mean of duplicate) of barley Tipple (+ positively / – negatively evaluated values in comparison to the “normal” steeping temperature of 15 °C). Cursive written parameters are graphically shown in figures 2 and 3

Tipple			Steeping temperatures				
Analyses	Unit	Repeatability r	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Extract fine grist (d.m.)	%	0.58 ^{x2}	82.7	83.0 *	82.7	82.2 *	82.5
Filtration time	min	10–37.5 X1	112	58 ***+	72 ***+	92 **+	>120 (*)–
Saccharification time	min	–	10	10	10	10	10
Kolbach index	%	6.7–0.12 m ^{x2}	44.3	46.0 *–	46.9 **–	43.5 *	44.0
Free amino nitrogen	mg/L	28–0.105 m ^{x2}	142	142	160 *	142	141
Turbidity 90°	EBC	0.04 ^{x2}	1.8	2.6 ***	3.1***	4.7 ***–	6.7 ***–
Colour of boiled wort	EBC	0.052 m ^{x2}	6.0	5.8	6.1	5.0 **	5.1 **
pH value	1	0.08 ^{x2}	5.90	5.88	5.89	5.96	5.93
Viscosity (8.6%)	mPa*s	–0.26+0.2 m ^{x2}	1.50	1.47 *+	1.48 *+	1.49 +	1.52 *–
Friability – mealiness	%	12–0.11 m ^{x2}	88.2	93.5 **+	95.1 **+	92.6 **+	82.6** –
Friability – glassiness	%	0,15+0,35 m ^{x2}	0.7	0.3 *	0.4	0.4	2.8 ***–
β-glucan (d.m.)	mg/100g	11 ^{x2}	214	112 ***+	94 ***+	113 ***+	259 **–
Calcofluor modification	%	55.3–0.548 m ^{x2}	90	99 **+	97 **+	97 **+	81 *–
Calcofluor homogeneity	%	8.2 ^{x2}	71	91 **+	86 **+	78 *+	53 **–
Acrospire length	%	0–8.3 ^{x1}	61	63 *	62 *	61	53 **
Homogeneity of acrospire length	%	0.2–8.5 ^{x1}	82	90 ***+	90 ***+	89 **+	63 ***–
α-amylase (d.m.) Megazyme	U/g	0.05 m ^{x3}	293	289	276 *–	248 **–	222 **–
β-amylase (d.m.) Megazyme	U/g	0.05 m ^{x3}	781	802 +	780	763	519 **–
App. final attenuation	%	0.6 ^{x2}	76.0	77.8 **+	78.1 **+	77.9 **+	76.1
Malting losses	%	0.55–1.05 ^{x1}	8.5	9.0 *–	8.5 –	6.8 **	6.6 **

(X = repeatability 1: given by each duplicate determination; 2: given by MEBAK ; 3: given by Megazyme – confidence coefficient by t-test: * 95 %, ** 99 %, *** 99.9 %)

of 20 °C led to slightly increased malting losses by 0.5 % due to an enhanced growth. In comparison to the reference steeping temperature, the malting losses were equal at 25 °C and strongly reduced by 1.7 and 1.9 % when applying 30 and 35 °C, respectively. Comparing the cytolytic malt parameters (lautering time, viscosity, mealiness, β-glucan content, modification and apparent final attenuation, except turbidity) of the reference sample (15 °C) with those of the malt samples steeped at increased steeping temperatures demonstrates a markedly improved modification up to a steeping temperature of 30 °C for both cultivars used and even up to 35 °C for the Marthe malt. An improved cytolytic modification with higher temperatures up to 25 °C could also be shown in by previously discussed investigations from Baxter and Sommer [5, 29]. The results of the filtration time correlated well with the β-glucan content. Linear correlation coefficients of $R^2 > 0.91$ for the Marthe malts and of $R^2 > 0.78$ for the Tipple malts could be observed, whereas latter would be higher if the filtration of the 35 °C-sample would not had been interrupted after 120 min. In contrast to the findings of Baxter et al. [4] and Reeves et al. [26], all Marthe malts steeped at higher temperatures than 15 °C showed reduced filtration times compared to the reference malt that had the highest β-glucan content. For Tipple malts, an improvement could be observed up to the 30 °C-sample. In correlation to the highest β-glucan content of this cultivar, the 35 °C-sample showed the slowest filtration. For illustrating the influence of the different steeping temperatures on the cytolytic modification, exemplarily, the β-glucan contents and the mealiness values of both barley varieties are plotted against the applied steeping temperatures in figure 2.

When summarising these date, the optimal steeping temperature was observed to lie between 20 and 25 °C for the barley Tipple and 20 up to 30 °C for the barley Marthe.

The standard methods Calcofluor according to Carlsberg and development of the acrospires in the final malts [17], which both offers the possibility to express the homogeneity, were used to evaluated the homogeneity of the produced malts. For clarification of the trends, their results (Table 2 and 3) are also shown in figure 3.

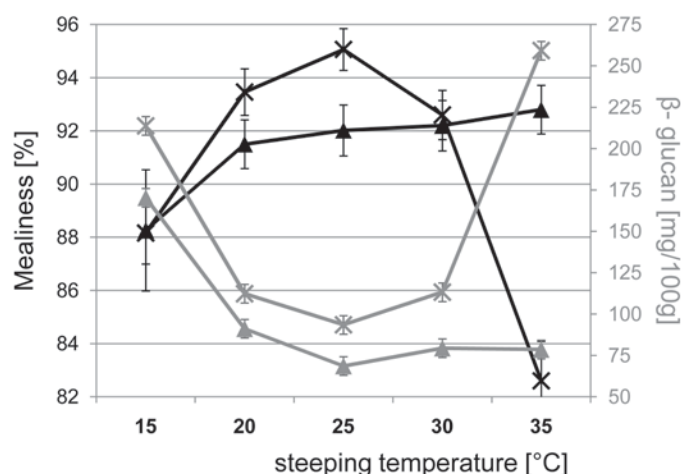


Fig. 2 Comparison of mealiness (black lines) and β-glucan content (grey lines) for both cultivars: ▲ – Barley Marthe; x – barley Tipple (standard deviation according to MEBAK analyses)

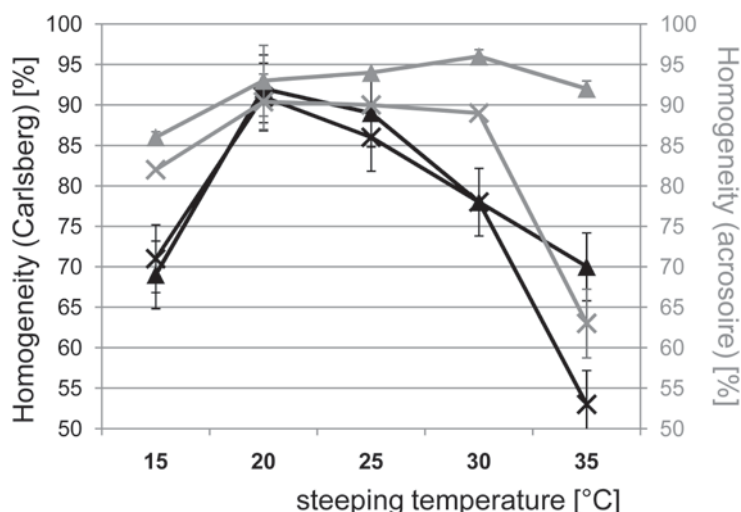


Fig. 3 Comparison of the homogeneity according to Carlsberg (black lines) and the homogeneity of the acrospires length (grey lines) for both cultivars: ▲ – barley Marthe; x – barley Tipple (Carlsberg-standard deviation according to MEBAK analyses; acrospire standard deviation of duplicate determination)

By means of both methods, higher homogeneities up to 30 °C and 35 °C compared to the cold steeping at 15 °C could be observed for the barleys Tipple and Marthe, respectively. In reference to the 15 °C-malt, the homogeneity (Carlsberg method) of both varieties could be improved by about 20–23, 15–20 and 78 % at 20, 25 and 30 °C, respectively. Nevertheless, the homogeneities were slowly decreased by higher steeping temperatures above 20 °C. The homogeneities of the acrospire length of all Marthe malts and up to the 30 °C-sample of the Tipple malts were improved by 7–10 %. An optimal steeping temperature range concerning

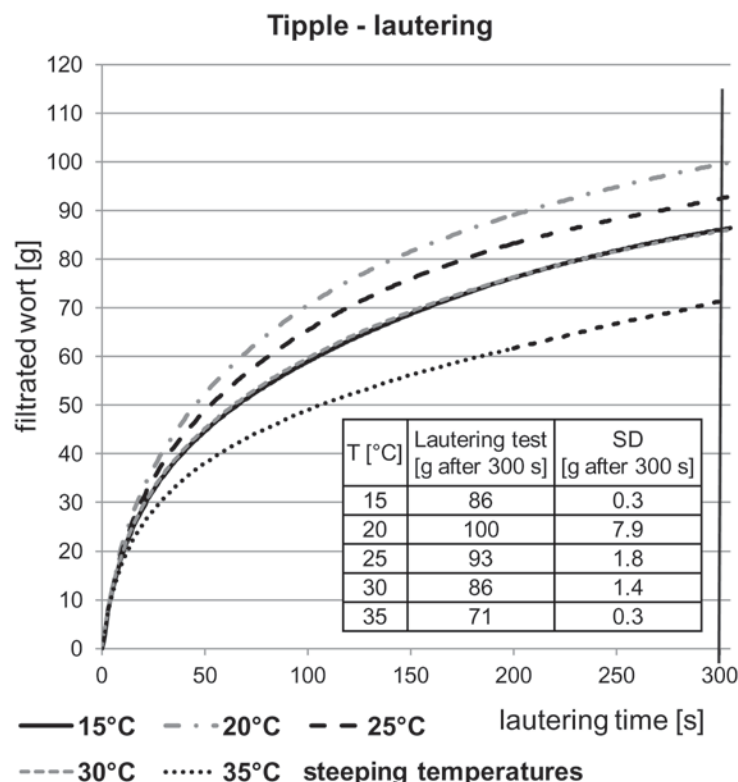


Fig. 5 Comparison of the lautering properties of the different steeped malts from barley Tipple, evaluated by an in-house laboratory lautering test; (SD = standard deviation of the triplicate determination)

the homogeneities, determined with the Calcofluor method, can be recommended within 20 and 25 °C for both barley varieties. Considering the homogeneity of the acrospires, an optimum temperature for Marthe was not apparent because there were no clear differences visible between 30 °C and 35 °C. The homogeneities of the more heat sensitive barley Tipple were steady between 20 and 30 °C, followed by a tremendously reduced homogeneity of the 35 °C-malt.

‘Good’ malt qualities as suggested by analytical data do not necessarily imply an adequate lautering time in the breweries [27]. The lautering performance is influenced by many factors and published literature claims are ambiguous. The findings of Baxter et al. and Reeves et al. [4, 5, 26] showed tremendously reduced rates of congress wort separation analysing malts steeped at high temperatures of 20, 25 and 30 °C compared to 16 °C. To examine the influence of the steeping temperature on the lautering performance of the produced malts in the present study, an in-house method was developed (see materials and methods section) and used to check the produced malts. The obtained curves of the tests are displayed in figures 4 and 5. The trials were done in triplicate.

The malt’s lautering properties are evaluated by comparing the curve shapes as received when plotting collected wort volume against filtration time and by analysing the total volume after 300 seconds filtration time.

The Marthe malts generally showed a better lautering performance than the malts produced from the cultivar Tipple; however, they showed no correlation with the analytical data (Tables 2 and 3), and thus must have its origin in the different properties of the

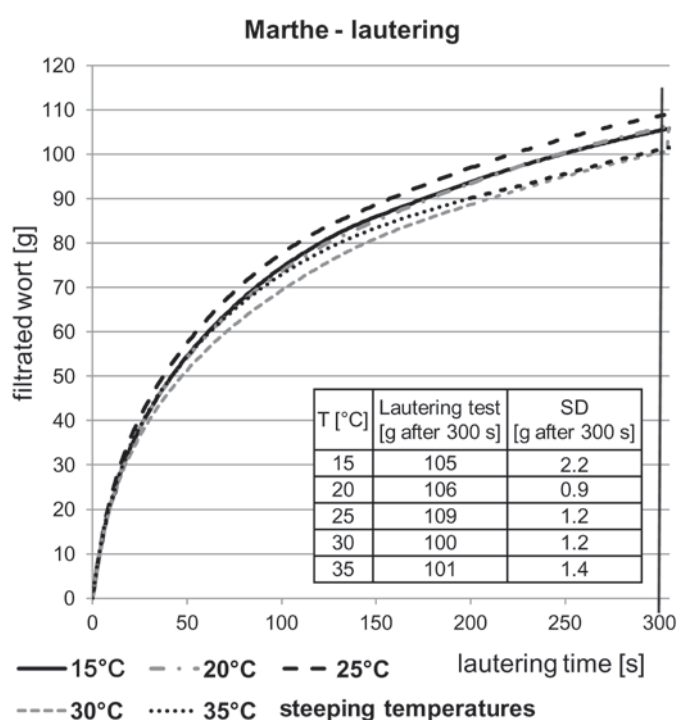


Fig. 4 Comparison of the lautering properties of the different steeped malts from barley Marthe, evaluated by an in-house laboratory lautering test; (SD = standard deviation of the triplicate determination).

barley varieties or in different cultivation conditions. Considering the results of the Marthe malts, all mashes were lautered quite similarly with a good lautering rate. The fastest lautering could be observed for the 25 °C-malt and the performance was slightly reduced applying 30 and 35 °C. The Tipple malts showed improved lautering rates up to 25 °C in comparison to the reference malt, whereas for the 20 °C-malt the fastest wort separation could be observed. Temperatures higher than 20 °C led to a reduction of the lautering property again, resulting in a lautering rate which was equal to the 15 °C-malt and considerably lower than the 30 and 35 °C-malt, respectively. Generally, the results fitted well with the overall malt quality of each cultivar and also with the evaluation of the germination performance (see Fig. 1).

Summarised, the lautering performance was not negatively affected by higher steeping temperatures up to 30 °C for both barley varieties. In contrast, the lautering rate of the Tipple malts was considerably improved by applying higher steeping temperatures up to 25 °C as compared to 15 °C.

All findings of this present study are summarised in table 4.

5 Conclusion

The influence of high steeping temperatures on the germination performance, malt quality and homogeneity, and lautering performance was investigated using the two two-row summer barley cultivars Marthe and Tipple. Constant steeping temperatures between 15 and 35 °C were applied during the first wet steeps and dry rests. Achieving even steeping degrees after the dry rest, after the second wet steep and during the germination was thereby a basic requirement for investigating in the exclusively influencing factor steeping temperature. Taken together, data from the present study suggest that optimal steeping temperatures lie between 20 and 25 °C for both cultivars (Table 4). However, applying steeping temperatures above 20 °C led to a slightly

increased malting loss by 0.5 % in comparison to steeping at 15 °C which is explained by enhanced growth. This should be compensable by a time reduction of the germination process which appears to be possible while similar or better malt qualities can be achieved. Improved germination properties resulting in improved malt qualities, and particularly the cytolytic modification, malt homogeneities and lautering performances when applying higher steeping temperatures up to 25 °C as compared to steeping at 15 °C stay in contrast to several findings [4, 5, 11, 26, 31]. Here, decreased malt qualities, considerable increased malting losses and lautering problems were found applying higher steeping temperatures up to 30 °C.

Narziss et al. [21, 24] showed a great positive influence of the dry rest time on the cytolytic modification, the attenuation degree, the amylolytic enzyme activities and the homogeneity (Carlsberg Calcofluor method) and therefore suggested a dry rest of at least 12–13 hours. Literature data implies immersing the malt not longer than 8 h at 25 °C, 6 h at 30 °C and 3.5 h at 35 °C [16]. The previously discussed trials [4, 5, 11, 26] about higher steeping temperatures of more than 21 °C up to 35 °C were performed using short dry rests of 1–10 hours, often combined with long wet phases. Based on this, short initial wet steep durations of 2.75 h, 2 h and 1.5 h for steeping at 25, 30 and 35 °C, respectively, and dry rests of 14–15 hours were applied as these regimes were identified in preliminary trials to be most favourable for achieving similar steeping degrees and to avoid extended wet phases at higher temperatures. Furthermore, the today's barley varieties, whose properties have been steadily improved during the last decades, may less heat sensitive and more suitable for applying high steeping temperatures.

In dependency on the climatic conditions and the steeping equipment of the malting plant, high steeping temperatures, especially during warm seasons may be unpreventable, but during cold seasons recommendable. Hence, steeping equipment with sufficient air suction capacity for aerating the barley during the dry rests is necessary for applying higher steeping temperatures. According to the findings in the present study, steeping temperatures above 30 °C should generally be avoided. In addition, barley cultivars should be checked before malting if they are suitable for an accelerated steeping regime applying higher temperatures.

Acknowledgment

Gratefully acknowledgements go to the laboratory workers and students for their kind help and analytical support, TU Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science, Germany.

This research project was supported by the German Ministry of Economics and Technology (via AiF) and the FEI (Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V., Bonn, Germany). Project AiF-16299 N.

Table 4 Summarised comparison of all findings

Barley	Marthe		Tipple	
	Optimal temperature range [°C]	Improved compared to 15 °C [°C]	Optimal temperature range [°C]	Improved compared to 15 °C [°C]
Germination performance	20–25	up to 30	20–25	up to 25
Malt quality (in sum)	~ 25	up to 35	20–25	up to 30
Amylase activities	20	up to 20	20	up to 20
Cytolytic modification	20–25	up to 35	20–25	up to 30
Losses	not evaluated		15; 30; 35	–
Homogeneity (Carlsberg)	20–25	up to 30	20–25	up to 30
Homogeneity (Acrospire)	20–30	up to 35	20–25	up to 30
Filtration time (ME-BAK)	20–35	20–35	20	up to 30
Lautering performance (laboratory lautering test)	25	up to 25	20	up to 25 (30 similar)

6 Literature

1. Aalbers, V.J.; Drost, B.W. and Pesman, L.: Aerated steeping systems. MBAA Technical Quarterly **20** (1983), no. 2, pp. 74-79.
2. Annemüller, G.; Bauch, T.; Nagel, R. and Böhm, W.: Der Endo- β -Glucanasegehalt – ein Maß für die „cytolytische Kraft“ des Malzes?. BRAUWELT **135** (1995), no. 5/6, pp. 206-210.
3. Axcell, B.; Jankovski, D. and Morrall, P.: The crucial factor in determining malt quality. The Brewers Digest, **58** (1983), no. 8, pp. 20-23.
4. Baxter, E.D.; Reeves, S.G. and Bamforth, C.W.: The effects of increased steeping temperature on enzyme development in malt. J. Inst. Brew. **86** (1980), pp. 182-185.
5. Baxter, E.D. and O'Farrell, D.D.: Effects of raised temperatures during steeping and germination on proteolysis – J. Inst. Brew. **86** (1980), pp. 291-295.
6. Briggs, D.E.: Accelerating malting a review of some lessons of the past from the United Kingdom. ASBC Journal **45** (1986), pp. 1-6.
7. Brookes, P.A.; Lovett, D.A. and Mac William, I.C.: The steeping of barley – A review of the metabolics consequences of water uptake and their practical implications. J. Inst. Brew. **82** (1976), pp. 14-26.
8. Clasen, C. and Kulicke, W. M.: Zum Gelbildungsprozeß von (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-Glucanen. Monatsschrift für Brauwissenschaft **56** (2003), no. 9/10, pp. 161-171.
9. Dietrich S.: Einfluß und Bedeutung der Belüftung während der Weicharbeit und Vermälzung von Braugerste. BRAUWELT **106** (1966), no. 1/2, pp. 1-4.
10. Home, S.; Stenholm, K. and Olkku, J.: Measuring and evaluating malt homogeneity. Proc. EBC, Congr. Cannes (1999), pp. 365-375.
11. Huang, X.; Han, Y. and Yu, S.: The effect of steeping conditions on Arapiles malting. Monatsschrift für Brauwissenschaft **57** (2004), no. 1/2, pp. 13-15.
12. Kleinwächter, M.; Meyer, A.K. and Selmar, D.: Malting revisited: Germination of barley (*Hordeum vulgare* L.) is inhibited by both oxygen deficiency and high carbon dioxide concentrations. Food Chemistry **132** (2012), pp. 476-481.
13. Kleinwächter, M.; Müller, C.; Methner, F.J. and Selmar, D.: Biochemical heterogeneity of malt is caused by both biological variation and differences in processing: I. Individual grain analyses of biochemical parameters in differently steeped barley (*Hordeum vulgare* L.) malts. submitted to Food Chemistry May 2013.
14. Kretschmer, K.: Über die Güteeigenschaften von Braumalzen. BRAUWELT **107** (1967), no. 48/49, pp. 929-934.
15. Lindemann, M.: Enzymstudien an Malzen. Brauwissenschaft **6** (1953), no. 8, pp. 127-131.
16. Lubert, D.J. and Pool, A.A.: Effect of elevated temperatures during multiple steeping. J. Inst. Brew. **70** (1964), pp. 145-155.
17. MEBAK (Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission), Band Rohstoffe, (2006).
18. Narziß, L.: Moderne Mälzungsmethoden I. BRAUWELT **105** (1965), no. 81, pp. 1506-1515.
19. Narziß, L. and Hellich, P.: Die Keimung mit fallenden Temperaturen. BRAUWELT **106** (1966), no. 48/49, pp. 885-894.
20. Narziß, L.: Steeping as a foundation of the modern malting technology. MBAA Technical Quarterly **3** (1966), no. 4, pp. 237-243.
21. Narziß, L. and Kieninger, H.: Die Weicharbeit im Lichte neuester Erkenntnisse. BRAUWELT **107** (1967), no. 84/85, pp. 1569-1582.
22. Narziß, L. and Friedrich, G.: Der Einfluß des Mälzungsverfahrens auf die Steigerung der Enzymaktivität I-IV. Brauwissenschaft **23** (1970), no. 4, pp. 133-142, no. 5, pp. 167-175, no. 6, pp. 229-234, no. 7, pp. 265-271.
23. Narziß, L.; Reicheneder, E. and Brauchle, R.: Untersuchungen zur Cytolyse des Malzes. BRAUWELT **127** (1987), no. 33/34, pp. 1453-1461.
24. Narziß, L.: Der Stand der Mälzereitechnologie. BRAUWELT **129** (1989), no. 21/22, pp. 939-940, 953-961.
25. Pollock, J.R.A. and Pool, A.A.: Enzymes of barley and malt III – The latent beta-amylase of barley. J. Inst. Brew. **64** (1958), pp. 151-156.
26. Reeves, S.G.; O'Farrell, D.D. and Wainwright, T.: The effect of increased steeping temperature on malt properties. J. Inst. Brew. **86** (1980), pp. 226-229.
27. Sarx, H.G. and Rath, F.: Filtration risk analysis – new method for predicting problems in wort and beer filtration. EBC, Congr. Brussels (1995), pp. 615-620.
28. Sims, R.C.: Germination of barley: effects of varying water contents upon the initiation and maintenance of growth. J. Inst. Brew. **65** (1959), pp. 46-51.
29. Sommer, G. and Antelmann, H.: Untersuchungen über ein Verfahren zur Minderung des Mälzungsschwandes. Mschr. Brauerei **12** (1966), pp. 337-343.
30. Sommer, G.: Einige Aspekte moderne Mälzereitechnologie. Mschr. Brauerei. **24** (1971), no. 8, pp. 205-210.
31. Voborsky, J.: Der Einfluss der Sprühweiche und der Wassertemperatur auf die Qualität des Malzes. Lebensmittelindustr. **18** (1971), no. 10, pp. 377-380, 428-431.
32. Weidinger, A.: Neue Wege der Weichgutbelüftung. BRAUWELT **106** (1966), no. 65, pp. 1171-1178.
33. Weith, L.: Studien zur Technologie der Mälzerei VII – Der Einfluß der Faktoren Zeit, Temperatur und Wassergehalt auf die Malzqualität. Proc. EBC, Congr. Madrid (1967), pp. 251-265.
34. Wilhelmson, A.; Laitila, A.; Vilpola, A.; Olkku, J.; Kotaviita, E.; Fagerstedt, K. and Home, S.: Oxygen Deficiency in Barley (*Hordeum vulgare*) Grain during Malting. J. Agric. Food Chem. **54** (2006), pp. 409-416.

Received 02 July 2013, accepted 18 August 2013

7.1.2 The influence of elevated germination temperatures on the resulting malt quality and malting losses (2014)

Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J.

BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss. 67 (3/4), 18-25.

C. Müller, M. Kleinwächter, D. Selmar, and F.-J. Methner

The Influence of Elevated Germination Temperatures on the Resulting Malt Quality and Malting Losses

The major goal for the malt industry is achieving a 'good' malt quality by means of high enzyme activities and a cytolytic modification to the greatest possible extent. For producing industrial scale malt batches of up to 300 tons, it also is greatly important to keep the energy costs and the malting losses as low as possible. Furthermore many possibilities have been investigated to reduce the production time to increase the capacity of the malting plants.

Published findings claim that relatively low temperatures during steeping and germination (12–17 °C) are required to produce high quality malt; however, these processes consequently take 5 to 7 days excluding the kilning. Applying higher temperatures were found to lead to raised malting losses and reduced extract yields. Most of these studies were carried out several decades ago and new barley varieties with improved malting properties are available now.

In this study, constant germination temperatures between 16 and 28 °C were used to obtain the influence of the temperature on the germination and thus the resulting malt quality and malting losses. Applying a germination temperature of up to 24 °C compared to 16 °C led to a faster start of germination, to an improved malt quality, and in particular to an enhanced cytolytic modification. Furthermore, an equal to improved homogeneity was achieved in a shorter germination time without markedly increasing the malting losses. The optimal germination temperature was detected to lie between 20 and 24 °C. An observed reduced FAN content can be advantageous for improved flavour stability of beer produced of the malt due to fewer precursors for the formation of aging-related off-flavour compounds such as Strecker aldehydes. Furthermore, no lautering problems for the malt samples germinated at higher temperatures than 16 °C could be detected. Outcomes from these trials benefit the malting industry in terms of potential energy and time savings without negatively affecting the malt quality. However, more barley varieties need to be tested and the results need to be verified.

Descriptors: germination temperature, malting losses, malt quality, cytotoxicity

1 Introduction

In order to accelerate the malting process, several investigations were done during the last decades. The germination performance is primarily influenced by the steeping regime, the temperatures and the rate of water uptake. Latter, in turn, is dependent on the cultivar, the crop year, the kernel size, the nitrogen content, the kernels' physiological status (dormancy, water sensitivity) [1, 3, 4] and a sufficient oxygen supply [5, 25, 29]. After steeping, the malt quality, by means of forming sufficient enzyme activities and achieving a proper cytolytic and proteolytic modification can mainly be influenced by increasing the three parameters germination time, steeping degree of the grain and the temperature in the grain bed [22].

Published findings claim relatively low temperatures of 12–17 °C during germination [12, 16, 22, 26] for producing malt with a high quality, such as high extract yields and a good proteolytic and cytolytic modification. However, the production of malt is a time and energy consuming process and higher germination temperatures consequently lead to a sooner initialisation of the germination which, in turn, results in a possible advantageous reduction of the germination time [20]. Hence, many authors investigated the use of higher germination temperatures during the last decades.

In general, increasing malting losses, reduced enzyme activities and lower extract values in the malt germinated at higher germination temperatures up to 20 °C were reported [2, 13, 16, 22, 23, 26, 30]. However, *Narziß* [16] and *Sommer* [21] also found 1–1.7 % higher degrees of final attenuations due to a higher cytolytic modification when applying higher germination temperatures which could compensate the lower extract. *Weith* [27, 28] found a faster formation of enzymes at the beginning of germination, but at the end of the germination a colder germination led to higher activities in the final malt.

Authors

Dipl.-Ing. Christian Müller, Prof. Dr.-Ing. Frank-Jürgen Methner, Technische Universität Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science, Berlin, Germany, Dr. Maik Kleinwächter, Prof. Dr. Dirk Selmar, Technische Universität Braunschweig, Institute for Plant Biology, Germany; corresponding author: c.mueller@tu-berlin.de

In many publications, markedly reduced proteolytic modification could be observed [12, 16, 21, 26, 30] resulting in insufficient contents of free amino nitrogen which are necessary for a proper yeast nutrition [16, 21]. Concerning the proteolytic modification when germinating at higher temperatures, Sommer [21] assumed a soluble nitrogen reduction of 10–50 mg/L per degree Celsius. In contrast to this, the soluble nitrogen is increased by 20–50 mg/L when increasing the steeping degree by 1 % independent from the germination time.

Regarding the cytolytic modification, several authors observed an improved cell wall degradation when applying higher germination temperatures [13, 16, 22, 23, 26, 30]. Nevertheless, *Baxter* [2] showed that the high germination temperature of 25 °C can lead to a reduced cytolytic modification again. Sommer [22] evaluated the results of *Schilfarth et al.* [19] and *Weith* [26] about the influence of increased germination temperature for accelerating the cytolytic modification with regard to the economic efficiency. It was stated, that increasing the temperature by 1 °C results in about 0.3 % higher malting losses and about 0.4 % lower extract yields, and thus, by reasons of economic efficiency, it was advised not to germinate at higher temperatures.

Furthermore, *Baxter* and *O'Farrell* [2] observed extended lautering times of the laboratory mashers when germinating at 25 °C compared to a reference germination temperature of 16 °C. However, a more moderate germination temperature of 20 °C resulted in lower filtration times, but no other disadvantages could be found.

In contrast to these findings, *Pool's* [17] investigations about the variation of germination temperatures between 10 and 24 °C showed that an increase of malting losses applying higher germination temperatures up to 18.5 °C could be compensated by reducing the germination time. Comparing a germination of five days at 15.5 °C and four days at 18.5 °C, similar cytolytic modification and similar malting losses as well as extract yields were achieved in less time. Nevertheless, the protein degradation was markedly reduced. It has to be taken into consideration that the trials were done using gibberellic acid and the grain was steeped eight hours at 40 °C in order to reduce the malting losses. This may also have influenced the resulting advantages when applying higher germination temperatures.

All found investigations were done 25 to 50 years ago thus the results may not be valid for the barley varieties cultivated nowadays because quality has changed a lot. Hence, the topic of the present study was to elaborate the effect of different germination temperatures (16, 20, 24, 28 °C) on the speed of germination, the final malt quality and the resulting malting losses in small scale malting trials using the still common spring barley variety *Marthe*, which has been processed during the last decade. Samples were taken and kilned 3, 4, 5 and 6 days after steeping in. The steeping program, a steeping degree of 45 % during germination and the kilning parameters were kept constant for all trials. Hence, the influence of the germination temperature on the malt quality could exclusively be observed by analysing the resulting malt quality. Additionally, laboratory lautering tests as well as the time of the congress wort separation were applied to get information about the processability.

2 Materials and methods

Small-scale malting

For investigating the impact of the germination temperature on the malt quality and malting losses at 16, 20, 24 and 28 °C, in total, four malting trials were conducted with the two-row spring barley *Marthe* (water content: 13.9 %, protein content: 10.5 %, germination energy: 98 %, water sensitivity: 35 %). Samples were kilned 3, 4, 5 and 6 days after steeping in. For obtaining the exclusive influence of the varied germination temperature, the steeping program (constant at 15 °C; 1st wet steep 5 h, air rest 19 h – aeration each 4 h –, 2nd wet steep 4 h), the steeping degree of 45 % and the kilning program (withering 15 h at 50 °C; curing 4.5 h at 80 °C) were kept constant for all trials.

The trials were done in duplicate in a small-scale malting plant (system model A1-2008, no. 176/1, Schmidt-Seeger, Beilngries, Germany). The automated plant consists of a combined steeping-/germination unit with a maximum load of 8 baskets á 800 g each and an accordingly adjusted kilning unit. The steeping-/germination unit is equipped with a box which contains the 8 baskets and is housed in an insulated floodable chamber. The box can be ventilated with tempered and humidified air and can be periodically rotated to avoid the formation of clusters. During germination (5 days), the water content of the samples was checked daily by weighing the germination baskets and calculating the steeping degree with reference to the dry matter. Afterwards, the amount of water for adjusting the steeping degree to 45 % was calculated by the actual steeping degree and initial barley weight. It was sprayed onto the baskets on the first and second germination day. Germination was controlled and germination performance and homogeneity were monitored by counting and evaluating the percentages of chitted and forked kernels 48 hours after steeping in.

The rootlets of the kilned malt were removed with an automated sample cleaner (model SLN, Pfeuffer, Kitzingen, Germany) and the removed rootlets were weighed for determining the losses.

Malt Analyses

The malt analyses extract, apparent final attenuation, Kolbach index, free amino nitrogen (FAN), viscosity, modification and homogeneity (Carlsberg method), β -glucan content, friability, acrospire length and filtration time were performed according to MEBAK [9]. The activities of α - and β -amylases were determined with commercial assay kits (Megazyme, Bray, Ireland). All analyses were done in duplicate.

Laboratory lautering tests

To get further information about the processability of the produced malt, an in-house-method of a laboratory lautering test was used to determine the lautering properties of the mashers produced from the respective malt samples. The lautering test was performed in triplicate at 20 °C using a Filtercheck®-apparatus (Stabifix, Gräfelting, Germany). 50 g malt were ground with a DLFÜ-mill (Bühler, Uzwil, Switzerland) at a disk gap of 0.8 mm and mashed in with 180 mL bi-distilled water of 45 °C. For mashing, the congress

mashing apparatus (Bender & Holbein, Bruchsal, Germany) and regime according to MEBAK [9] were used. After cooling the mash to 20 °C, bi-distilled water was added to the mashes to adjust the beaker contents to 200 g. After filling the mash onto a steel mesh with a gap size of 0.25 mm placed on the bottom of the Filtercheck®-apparatus, followed by a lautering rest of 2 minutes, the filtrate was collected on a scale and the filtrate volume was recorded during the test and afterwards plotted against the lautering time. Comparing the curves and the filtrate volume after a certain time of 300 seconds provided information about the malt's lautering properties.

3 Results and Discussion

For evaluating the germination performance, the percentages of chitted and forked kernels were counted after 20 hours of germination, or 48 hours after steeping in (Fig. 1). Up to the germination temperature of 28 °C, the germination start was faster compared to the reference temperature of 16 °C which showed an about

50 % reduced proportion of forked kernels. At the time point, no difference in the germination energy between 20 and 28 °C could be detected, but the proportion of forked was slightly lowered when applying 28 °C. From that, it can be assumed that using 28 °C as the highest applied temperature led to an inhibition of growth compared to 20 and 24 °C. Pool [17] reported an enhanced germination rate when increasing the germination temperature which is an important basis for a possible germination time reduction. *Axcell et al.* [1] and *Home et al.* [6] claimed that warm steeping improves the water distribution within the kernels which is important for a simultaneous germination start. This may also explain the improved germination performance from the present study applying higher germination temperatures than 16 °C if the water, sprayed at the first and second germination day for adjusting the steeping degree, was more evenly distributed and faster taken up.

In figure 2, the malting losses of the malt samples germinated at the different temperatures and kilned after 2 to 5 germination days are shown. As expected, the malting losses increased with higher germination temperatures and with proceeded germination. An aim of these trials was to figure out the necessary germination time reduction for applying higher germination temperatures in order to achieve similar or lower malting losses compared to the reference sample germinated for 5 days at 16 °C. This was lower or similar about one day earlier at 20 °C, two days earlier at 24 °C and three days earlier at 28 °C. In the following, the results of several malt analyses, carried out on the malt samples taken on the different germination days, were shown with a focus on the important samples which did not exceed the reference's malting losses (bigger symbols and standard deviation of the parameters given by the MEBAK [9] included).

Germinating at 16 °C led to a constant increase of the extract values with processed germination and to the highest extract value of 81.7 % after five germination days. With increasing temperatures, the extract decreased. This can be explained by the slow growth and reduced respiration at the lowest temperature of 16 °C. Hence, an advantage of the reference temperature of 16 °C is observable

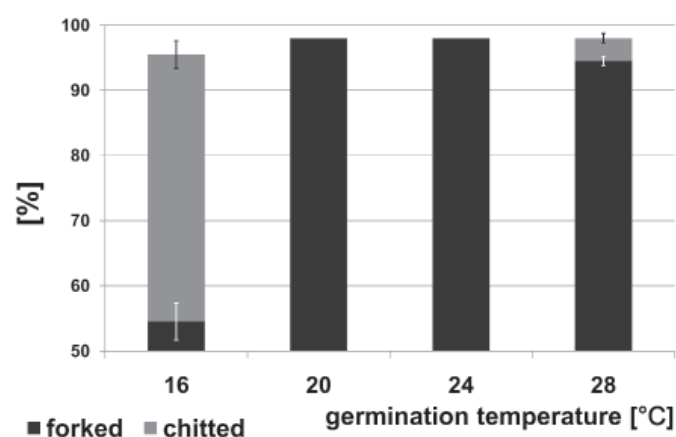


Fig. 1 Evaluation of the germination performance by counting the percentages of chitted kernels 48 hours after steeping in (mean of two germination boxes, duplicate standard deviation of forked and germinated kernels included)

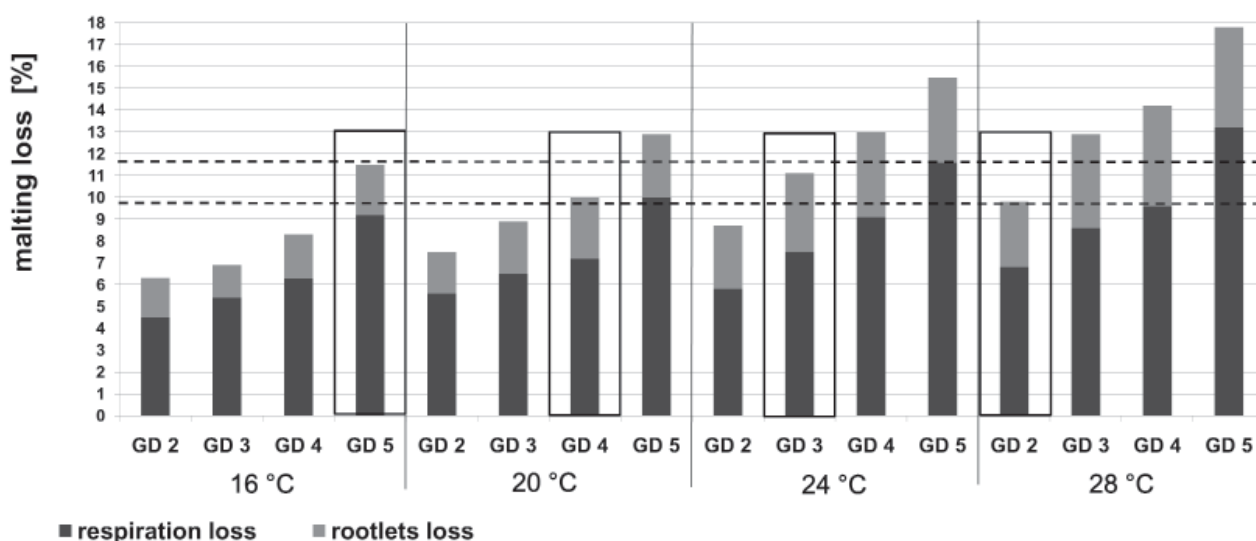


Fig. 2 Malting losses of the malt samples taken on the 1st to 4th germination day

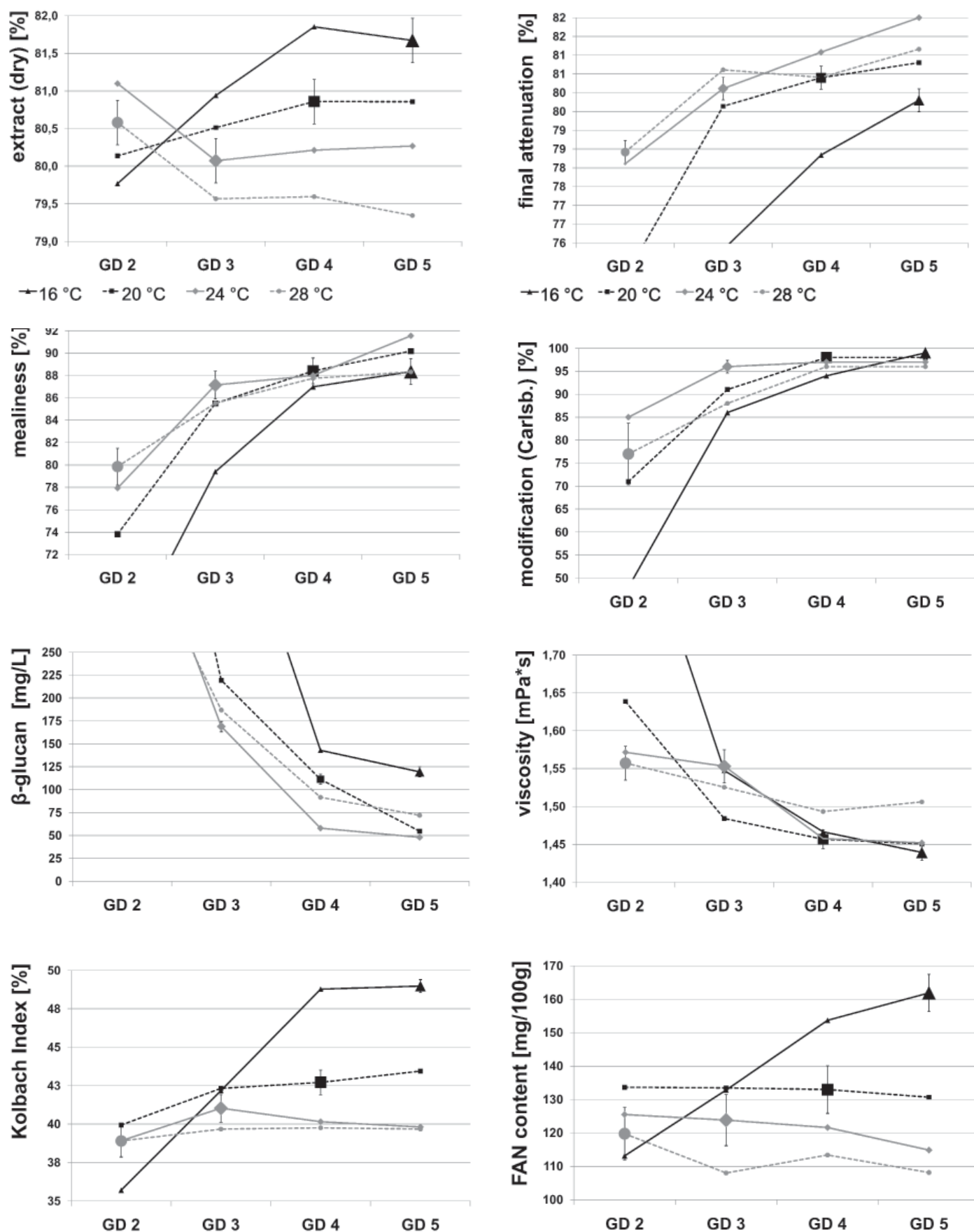


Fig. 3 Comparison of the extract, final degree of attenuation, mealiness, modification, β -glucan content, viscosity, Kolbach Index and FAN content of the malt samples taken on the 1st to 4th germination day (standard deviation according to MEBAK analyses for the important malt samples achieving comparable malting losses included)

because of the highest extract yields reached. On the other hand, in consideration of the results from the final degree of attenuation, it seems that this advantage was partly relativised because a lower value was reached when germinating at 16 °C compared to the 20 and 24 °C-samples. At this juncture, Narziß [16] and Sommer [21] found improved final degrees of attenuations when increasing the germination temperature and explained that by an enhanced cytolytic modification. Furthermore, lower malting losses were observed compared to the reference sample which was germinated for 5 days at 16 °C (see Fig. 2). Germinating at 28 °C for 2 days was not sufficient to compensate the lower extract yield by the resulting degree of final attenuation.

In general, the cytolytic modification, as indicated by the mealiness, the modification according to Carlsberg, the β -glucan content and the viscosity, was achieved faster with increasing germination temperatures. This trend was observed by several authors [13, 16, 22, 23, 26, 30]. The β -glucan content and the mealiness values, observed after 5 germination days at 16 °C, were improved or similar one day in advance when applying temperatures of 20 to 28 °C. Acceptable values were already reached at germination day 3. Considering the important samples, which reached lower or similar malting losses, the mealiness and the modification of the reference sample were reached one and two days earlier when applying 20 and 24 °C, respectively. The viscosity and the β -glucan content of the 24 °C-sample germinated for 2 days showed a reduced cytolytic modification but the values were still in the range of the MEBAK recommendations [9]. Germinating at 28 °C for two germination days did not lead to a sufficient cytolytic modification of the malt which explains the reduced extract yield indicated by the extract and the final degree of attenuation for this sample.

For evaluating the proteolytic modification, the results of the free amino nitrogen content or FAN and the Kolbach-Indices are shown (see Fig. 3). According to MEBAK, the barley malt's FAN content should lie between 120 and 160 mg/100 g malt. Too low values, that could be observed for the 28 °C-samples, can lead to fermentation problems due to an insufficient yeast nutrition. On the other hand, high FAN values, which were found in the reference sample, can negatively influence the flavour stability of the beers produced

thereof. According to the MEBAK specifications, the result of the 28 °C-sample was too low, and the 20 and 24 °C-samples were sufficient and in a lower range.

Regarding the Kolbach-Indices, germinating at 16 °C led to too a high proteolytic modification after four and five germination days. All samples applying 20, 24 and 28 °C were lower and in the range of the MEBAK specifications due to the balance between an enhanced growth and protein degradation. A reduced proteolytic modification was also demonstrated in previous investigations [12, 16, 21, 26, 30] whereas Narziß [16] stated that applying higher temperatures is a possibility to reduce the protein degradation.

Comparing the enzyme activities of α - and β -amylase in figure 4, a faster enzyme formation with increasing germination temperature was observable. This was also described by Weith [26]. In contrast to other findings [2, 12, 16, 21, 23, 26, 30], in this investigation, the formation of enzyme activities were not dramatically reduced when applying higher germination temperatures. It was stated that the enzyme α -amylase is not formed before the second day after steeping in [7, 8, 14]. The results of this investigation imply a faster formation when applying higher temperatures as recommend by authors of previous investigations which recommend a germination temperature between 12 and 17 °C [12, 16, 22, 26].

Compared to the reference sample, the α -amylase activity of the 20 °C-sample germinated for four days was similar and of the 24 °C-sample germinated for 2 days was acceptable. Germinating at 28 °C did not lead to a sufficient α -amylase activity. Compared to the reference sample, the activity of the β -amylase was improved and similar when applying germination temperatures of 20 and 24 °C or 28 °C, respectively.

The standard methods Calcofluor according to Carlsberg and development of the acrospires in the final malt [9] were used to evaluate the homogeneities of the produced malt. For clarification of the trends, their results are depicted in figure 5.

By means of both methods, higher homogeneities could be observed when applying 20 °C compared to the reference sample.

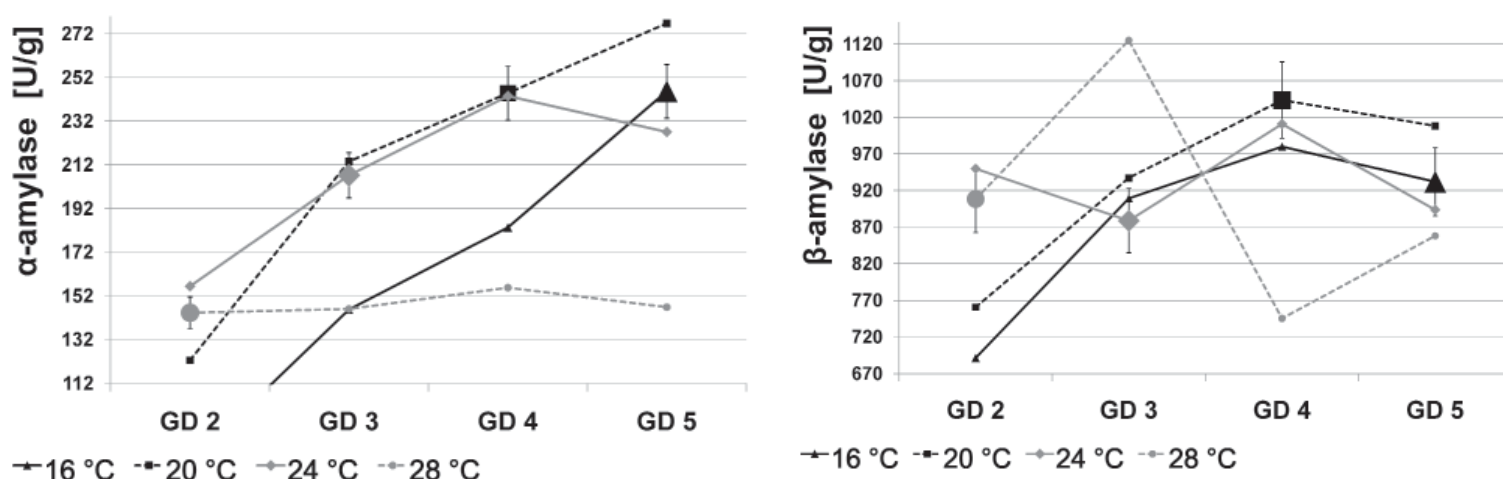


Fig. 4 Comparison of the enzyme activities of α - and β -amylase of the malt samples taken on the 1st to 4th germination day (standard deviation according to Megazymes analyses for the important malt samples achieving comparable malting losses included)

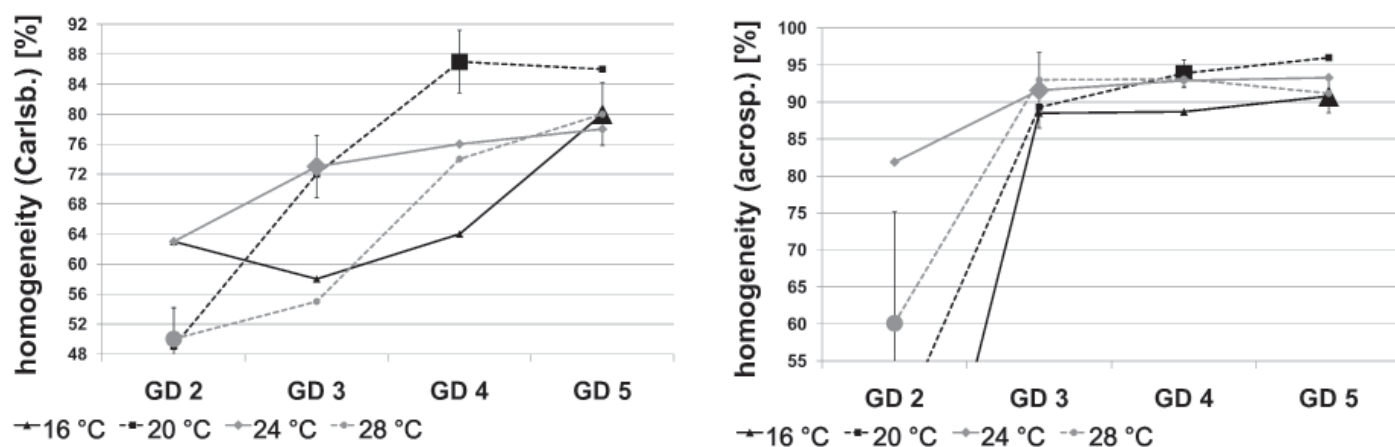


Fig.5 Comparison of the homogeneity according to Carlsberg and the homogeneity of the acrospires length (Carlsberg-standard deviation according to MEBAK analyses; acrospire standard deviation of duplicate determination)

Nevertheless, no significant differences could be shown for the 24 °C-sample and the reference sample. Germinating at 28 °C led to significantly decreased homogeneities which imply an inhomogeneous growth due to the high germination temperature of 28 °C.

In contrast to the findings of Baxter and O'Farrell [2] who found extended lautering times of the laboratory mashes when germinating at 25 °C compared to a reference germination temperature of 16 °C, no significant differences could be observed for the samples germinated at the different temperatures and taken at the germination days two to five (see Fig. 6). This was explained by the high standard deviation of the method. Nevertheless, all samples were filtered in an adequate time between 24 and 42 minutes.

'Good' malt qualities as suggested by analytical data do not necessarily imply an adequate lautering time in the breweries [18, 24, 31]. The lautering performance is influenced by many factors and published literature claims are ambiguous. For further examination of the germination temperature's influence on the lautering performance of the produced malt samples in the present study, an in-house method was developed (see materials and methods section) and used to check the produced malt samples. The

obtained curves of the tests are displayed in figures 7. The trials were done in triplicate.

The malt's lautering properties are evaluated by comparing the curve shapes as received when plotting collected wort volume against filtration time and by analysing the total volume after 300 seconds filtration time. In correlation to the results of the filtration time (see Fig. 6), no significant lautering properties between the important malt samples, which showed an acceptable malting loss compared to the reference sample, could be detected. Merely, the run off at the beginning of the measurement was slightly slower for the malt samples germinated at higher temperatures but after 300 seconds the same amount of lautered wort were measured. Nevertheless, the data seemed to be valid because the developed laboratory lautер test had successfully been used in other investigations [10, 11] by means of detected significantly varying lautering performances between different processed malt samples produced from one barley cultivar. Hence, the result of these trials imply that there was no negative influence of higher germination temperatures on the lautering performance which was supported by the lack of differences found with the analysis of the filtration time of the congress mashes.

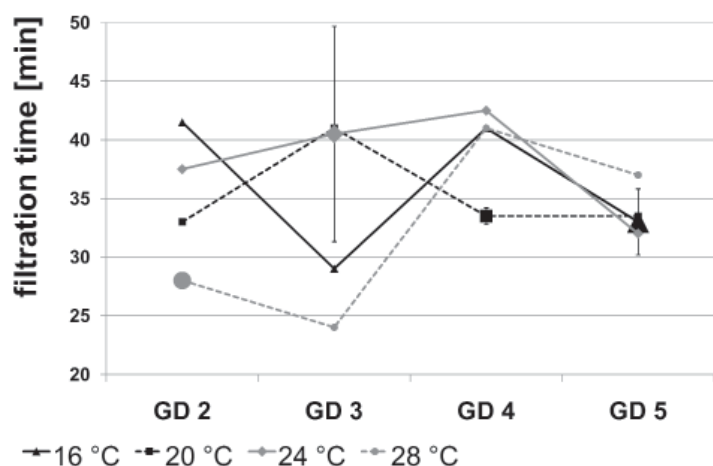


Fig. 6 Comparison of the filtration time of congress worts for the important malt samples achieving comparable malting losses according to MEBAK (standard deviation of the duplicate determination)

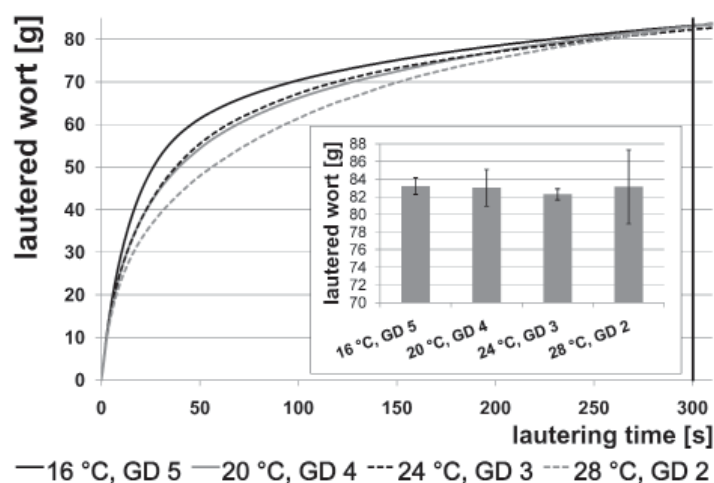


Fig. 7 Comparison of the lautering properties for the important malt samples achieving comparable malting losses, evaluated by an in-house laboratory lautering test; (standard deviation of the triplicate determination)

4 Conclusion

The influence of germination temperatures between 16 and 28 °C on the resulting malt quality and homogeneity was investigated. Constant steeping and kilning parameters as well as the same steeping degree of 45 % during germination were thereby a basic requirement for investigating the germination temperature exclusively. The main aim was to find out the necessary germination time reduction depending on the applied germination temperature for achieving similar or lower malting losses gained with the reference temperature of 16 °C. Therefore, samples were kilned after two to five germination days.

Applying temperatures up to 24 °C compared to 16 °C led to a faster start to germination, comparable to improved malt qualities, especially the cytolytic modification and comparable to improved homogeneities achieved in less time. Thereby, malting losses seem to be compensable by shortening by one to two days depending on the temperature. By shortening the malting process and applying higher temperatures during germination, energy can be saved due to less and shorter necessary cooling of air used to temper and aerate the grain bed. Observed reduced but still sufficient FAN contents, when using an accelerated germination program, can be advantageous for improved flavour stability due to fewer precursors for the formation of staling-related compounds. Furthermore, it could be shown that applying higher germination temperatures did not lead to detectable differences in lautering performance which was determined by the filtration time according to MEBAK and an in-house laboratory lauter test.

Taking all data together, the optimal steeping temperature was observed to be ranged between 20 and 24 °C for producing malt in less time without decreasing the malt quality and negatively affecting the malting losses. According to the findings in the present study, germination temperatures above 24 °C should generally be avoided.

In future, further improvements could be achieved when combining higher steeping and germination temperatures. Higher steeping temperatures up to 25 °C were found to be advantageous for an enhanced cytolytic modification, higher malt homogeneities and improved lautering [10].

It seems that today's barley varieties, whose properties have been steadily improved during the last decades, may be less heat sensitive and more suitable for applying high germination temperatures. Nevertheless, barley cultivars should be checked before malting if they are suitable for an accelerated germination regime applying higher temperatures.

Acknowledgment

Gratefully acknowledgements go to the laboratory workers and students for their kind help and analytical support, TU Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science, Germany.

This research project was supported by the German Ministry of Economics and Technology (via AiF) and the FEI (Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V., Bonn, Germany). Project AiF-16299 N.

5 References

1. Axcell, B., Jankovski, D. and Morrall, P.: The Crucial Factor in Determining Malt Quality, *The Brewers Digest*, **58/8** (1983), pp. 20-23.
2. Baxter, E. D. and O'Farrell, D. D.: Effects of Raised Temperatures During Steeping and Germination on Proteolysis, *J. Inst. Brew.* **86** (1980), pp. 291-295.
3. Briggs, D. E.: Accelerating Malting a Review of some Lessons of the Past from the United Kingdom, *ASBC Journal* **45** (1986), pp. 1-6.
4. Brookes, P. A., Lovett, D. A. and Mac William, I. C.: The Steeping of Barley – A Review of the Metabolics Consequences of Water Uptake and their Practical Implications, *J. Inst. Brew.* **82** (1976), pp. 14-26.
5. Dietrich S.: Einfluß und Bedeutung der Belüftung während der Weicharbeit und Vermälzung von Braugerste, *BRAUWELT* **106** (1966), no. 1/2, pp. 1-4.
6. Home, S., Stenholm, K. and Olkku, J.: Measuring and Evaluating Malt Homogeneity, *Proc. 27th EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1999), pp. 365-375.*
7. Kleinwächter, Meyer, A. K. and Selmar, D.: Malting Revisited: Germination of Barley (*Hordeum vulgare* L.) is Inhibited by Both Oxygen Deficiency and High Carbon Dioxide Concentrations, *Food Chem.* **132** (2012), pp. 476-481.
8. Kleinwächter, M., Müller, C., Methner, F. J. and Selmar, D.: Biochemical Heterogeneity of Malt is caused by Both Biological Variation and Differences in Processing: I. Individual Grain Analyses of Biochemical Parameters in Differently Steeped Barley (*Hordeum vulgare* L.) Malts, *Food Chem.* **147** (2014), pp. 25-33.
9. MEBAK (Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission), Band Rohstoffe, Selbstverlag der MEBAK, Freising-Weihenstephan, Germany (2006).
10. Müller, C., Kleinwächter, M. Selmar, D. and Methner, F. J.: The Influence of Elevated Steeping Temperatures on the Resulting Malt Homogeneity and Malt Quality, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* **66** (2013), no. 7/8, pp. 114-122.
11. Müller, C., Kunz, T. and Methner, F. J.: The Influence of Vibrations of Sonic Waves during Wet Steeping on the Resulting Malt Homogeneity and Malt Quality, *BrewingScience – Monatsschrift der Brauwissenschaft* (in review).
12. Narziß, L. and Hellich, P.: Die Keimung mit fallenden Temperaturen, *BRAUWELT* **106** (1966), no. 48/49, pp. 885-894.
13. Narziß, L. and Hellich, P.: Mälzungsversuche bei verschiedenen hohen, aber konstanten Keimtemperaturen und unterschiedlichem Feuchtigkeitsniveau, wobei der jeweils maximale Keimgutwassergehalt zu verschiedenen Zeiten hergestellt wird, *BRAUWELT* **106** (1966), no. 44, pp. 801-811.
14. Narziß, L. and Kieninger, H.: Die Weicharbeit im Lichte neuester Erkenntnisse, *BRAUWELT* **107** (1967), no. 84/85, pp. 1569-1581.
15. Narziß, L., Reicheneder, E. and Brauchle, R.: Untersuchungen zur Cytolyse des Malzes, *BRAUWELT* **127** (1987), no. 33/34, pp. 1453-1461.
16. Narziß, L.: Der Stand der Mälzertechnologie, *BRAUWELT* **129** (1989), no. 21/22, pp. 939-940, 953-961.
17. Pool, A. A.: Reappraisal of the Usefulness of Warm-Water Steeping in Malting in the Light of the Effect of Gibberellic Acid, *J. Inst. Brew.* **70** (1964), pp. 221-225.
18. Sarx, H. G. and Rath, F.: Filtration Risk Analysis – New Method for Predicting Problems in Wort and Beer Filtration, *Proc. 25th EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1995), pp. 615-620.*

19. Schilfarth, H., Sommer, G. and Kremkow, C.: Kolbachzahl, Malz- und Bierqualität, *Mtschr. Brauerei* **23** (1970), pp. 177-186.
20. Sommer, G. and Antelmann, H.: Untersuchungen über ein Verfahren zur Minderung des Mälzungsschwandes, *Mtschr. Brauerei* **12** (1966), pp. 337-343.
21. Sommer, G.: Weichtemperatur und Malzqualität, *Mtschr. Brauerei* **24/8** (1971), pp. 205-210.
22. Sommer, G.: Einige Aspekte moderner Mälzereitechnologie, *Mtschr. Brauerei* **29** (1976), pp. 21-28.
23. Stadler, H.: Kleinmälzungsversuche über die optimale Temperaturführung beim Mälzen, *Brauwissenschaft* **17** (1964), no. 5, p. 186.
24. Webster, R. D. J.: Prediction of Lautering Performance of Malt, *J. Inst. Brew.* **87** (1981), pp. 52-56.
25. Weidinger, A.: Neue Wege der Weichgutbelüftung, *BRAUWELT* **106** (1966), pp. 1171-1178.
26. Weith, L.: Studien zur Technologie der Mälzerei VII – Der Einfluß der Faktoren Zeit, Temperatur und Wassergehalt auf die Malzqualität, *Proc. 11th EBC Congr.*, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1967), pp. 251-265.
27. Weith, L.: Studien zur Technologie der Mälzerei, *Brauwissenschaft* **13** (1960), pp. 214-218, 262-267, 288-294.
28. Weith, L.: Die proteolytischen Enzyme in der Mälzereitechnologie, *BRAUWELT* **101** (1961), no. 43, p. 961.
29. Wilhelmson, A., Laitila, A., Vilpola, A., Olkku, J., Kotaviita, E., Fagerstedt, K. and Home, S.: Oxygen Deficiency in Barley (*Hordeum vulgare*) Grain during Malting, *J. Agric. Food Chem.* **54** (2006), pp. 409-416.
30. Zastrow, K.: Aufgaben, Ergebnisse und Probleme der Kleinmälzung, *Mtschr. Brauerei* **14** (1961), pp. 36-40.
31. Zürcher, Ch., Krauß, G., Eifler, K.-J. and Kursawe, R.: Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier, *Mtschr. Brauerei*, **7** (1972), pp. 178-186.

Received 14 March 2013, accepted 26 March, 2014

7.1.3 Variation of the steeping regime for optimising the cytolytic modification using an accelerated malting procedure (2014)

Müller, C., Brandt, N.-O., Kadatz D., Lion C., Methner, F.-J.

BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss. 67 (3/4), 26-32.

C. Müller, N. O. Brandt, D. Kadatz, C. Lion, and F.-J. Methner

Variation of the Steeping Regime for Optimising the Cytolytic Modification using an Accelerated Malting Procedure

Producing high-modified malt within short malting procedures due to higher temperatures can be a major advantage for the malting industry. At this, the malt kernel's cytolytic and proteolytic modifications are the most important quality parameters. In literature, steeping and germination regimes with low temperatures between 12 and 17 °C during long process times up to 8 days including kilning are recommended. The majority of these recommendations were given decades ago. Economical reasons have led to studies for shortening the process time to save energy whereby the malt quality should be kept as high as possible. Aim of this study was to optimise an accelerated malting procedure by varying the duration of the wet steeps in respect of short process times and acceptable malt qualities, particularly with regards to the cytolytic modification. Laboratory steeping trials as well as a pilot plant malting were carried out with focus on the intensity of water uptake and germination performance. The first wet steep was varied between 2 and 8 hours and the second between 20 minutes and 2.5 hours. The chosen temperature during the first wet steep was set to 22 °C, followed by an 18 h air-rest at 21 °C. Equal steeping degrees of 45 % in all trials were adjusted by spraying with water. The germination was carried out at temperatures between 17 and 22 °C for 3 days in all trials and also kilning was kept constantly. An optimal steeping regime was found to be a 5–6 hour first wet steep, followed by a reduced second wet steep of 20 to 60 minutes. Those regimes led to the highest cytolytic modification and malt homogeneities. In general, the proteolytic modification was too low, which has to be changed in prospective trials for optimising the germination parameters.

Descriptors: steeping, temperature, water uptake, germination performance

1 Introduction

Steeping, as the first major step of malt production, has a huge impact on the resulting malt quality. During the last decades, the steeping procedure has been perceived as more and more important and critical production step [1, 7]. In industry, the steeping and germination procedure are mostly separated, whereby in nature, both form a biological unit [8]. Therefore, it seems worthwhile to regard both production steps together. Furthermore, the steeping and germination procedure should be adjusted for each cereal and variety [26].

The aims of steeping procedures are a fast and homogenous water absorption and germination initiation of the grain whereby an insufficient steeping performance cannot be compensated later [1]. The water uptake depends on barley variety, steeping temperature and the steeping regime [31].

The duration of germination usually lies between 5 and 7 days in dependence of temperature and steeping degree [4, 5, 8, 14, 15, 21,

29]. Thus, the production of malt is a time and energy consuming process and higher steeping temperatures consequently lead to a faster water uptake and a sooner initialisation of the germination, which in turn results in a possible advantageous reduction of the germination time [5, 9, 21, 23]. Hence, many authors investigated the use of higher steeping temperatures during the last decades whereby the influences on malt quality are discussed controversially. Several authors suggested relatively low temperatures of 12–17 °C during steeping [8, 13, 14, 19] and germination [15, 18, 25, 29] to produce malt with a high quality, such as high extract yields, low malting losses and a good proteolytic and cytolytic modification. Depending on the barley variety, higher steeping temperatures lead to faster initially growth and higher respiration, resulting in lower extract contents and lower protein modification [13].

Baxter *et al.* [3, 4] and Reeves *et al.* [21] carried out trials comparing the even higher steeping temperature of 20, 25 and 30 °C with 16 °C and reduced the germination time by one day. Here, considerably reduced enzyme activities in the warm steeped malt samples but a faster cytolytic modification were found. Also, the filterability (filtrate volume after 30 min by folded filter tests) of mashes produced from warm steeped malt samples was markedly lower.

Recent studies from Müller *et al.* [11] found that applying steeping temperatures between 20 up to 30 °C leads to an improved homogeneity, enhanced cytolytic modification and improved lautering performance without negatively affecting the malt quality as

Authors

Dipl.-Ing. Christian Müller, BSc Niklas Ole Brandt, BSc Daniel Kadatz, BSc Cedric Lion, Prof. Dr.-Ing. Frank-Jürgen Methner, Technische Universität Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science, Berlin, Germany; corresponding author: c.mueller@tu-berlin.de

compared to lower steeping temperature of 15 °C. An optimum in germination performance and homogeneity lay between 20 and 25 °C, resulting in a quicker start of the germination promoting an earlier onset of the cytolytic modification of the barley. The malting losses only increased slightly applying higher steeping temperatures and a time reduction of the germination process appears to be possible while similar or better malt qualities can be achieved. Müller [12] also varied the germination temperature between 16 and 28 °C to obtain the influence of the temperature on the germination and thus the resulting malt quality and malting losses. Applying a germination temperature of up to 24 °C compared to 16 °C led to a faster start of germination, to an improved malt quality, and in particular to an enhanced cytolytic modification. Furthermore, a similar to improved homogeneity was achieved in a shorter germination time without markedly increasing the malting losses. The optimal germination temperature was detected between 20 and 24 °C.

Lubert *et al.* [9] investigated the influence on the water sensitivity of even higher steeping temperatures from 20 up to 50 °C during the first of three wet steeps, varied from 15 min to 12 hours. The water sensitivity of a more heat sensitive barley did not increase by 10 % with wet steeps up to 8 hours at 25 °C, 6 hours at 30 °C, 3.5 hours at 35 °C, 2 hours at 40 °C and 1 hour at 45 °C. When applying different temperatures, the malt quality parameters extract and extract difference were impaired remarkably above these maximal initial steeping periods. The other barley cultivar could be steeped about twice as long at the different temperatures without exceedingly worsening the malt quality. It was recommended that short wet steeps at high temperatures below 30 °C lead to an optimal initially growth, but the best malt extract contents are achieved at 20 °C steeps. Ward and Briggs [28] agreed to this, whereby 25 °C and steeps over 8 hours should not be exceeded; otherwise the procedure could be harmful to the grain.

Regarding the water supply there are two main procedures applied, pneumatic wet steeps and spraying steeps. Traditionally, a steeping procedure includes two or three wet steeps to achieve a high steeping degree. A spray steeping can replace parts of the wet phases. Narziß *et al.* [17] assumed that spray steeping is not as efficient as wet steeping. According to Voborsky [27], spraying results in a faster initial germination, which is strongly supported through a higher temperature of the spraying water.

An important parameter to regulate the germination is the steeping degree defined by the water content of the steeped barley [26]. Between 32 and 38 % the germination processes in the barley grains start [9]. Dietrich and Siegfried [5] described a direct correlation between embryonic activity and moisture content. To achieve a fast initial growth, water contents of 38–40 % seem to be necessary. In consequence, raised water contents intensify the growth leading to amplified enzymatic activities and modification, but also greater losses [22].

Furthermore, the homogeneity of a malting batch is of interest. Heterogeneities during steeping cannot be corrected during the later germination or kilning processes [1]. For this reason, Home *et al.* [6] suggested the counting of chitted grains during steeping and at the start of germination to evaluate the homogeneity of the germination initiation and progress.

The aim of this study was to find an optimal steeping regime using elevated steeping and germination temperatures according to previous trials of Müller *et al.* [11, 12] which recommended steeping as well as germination temperatures from 20 to 25 or 24 °C, respectively. For this reason, different steeping regimes were implemented in laboratory steeping and small scale malting trials using two common barley cultivars. The procedure consisted of two wet steeps, whereby the first was varied between 2 and 8 hours and the second between 0 (spraying) and 2.5 hours. Dry rests between the wet steeps, the adjusted steeping degree, germination and kilning programs were kept constant for all trials. This was necessary to investigate the influence of different wet steep durations on the water uptake, speed of germination as well as the final malt homogeneity and the malt quality, exclusively. During steeping and germination the growth performance was recorded.

2 Materials and methods

2.1 Used barley varieties

Two two-row spring barley varieties Propino and Scarlett were used for laboratory steeping and pilot plant malting trials. The characteristics of the cultivars are summarised in table 1.

2.2 Lab-scale trials

Two pre-trials were done in laboratory scale. The first trial was done with the common summer barley variety Propino. Steeping was carried out with 200 g batches in perforated plastic cups in duplicate. A basin with tempered and agitated water functioned as steep where the false-bottomed cups were placed. The duration of the first wet steeps was 2, 3, 4 and 5 h at 22 °C, followed by an air-rest of 18 h at 21 °C. After the air-rest was over, which was performed in an insulated chamber with slowly air circulation, a second steep was held with a duration of 1.5, 2 and 2.5 h at a temperature of 20 °C. The different temperatures of the steeping steps were applied for all trials. Only the wet steep durations were varied.

In the second laboratory trial, the steeping regimes of the first trials were extended. Six different steeping regimes were implemented with a first steep of 5, 6, 7 and 8 h at 22 °C, followed by an air-rest of 18 h. The second wet steep was kept at 2.5 h. Additionally, two

Table 1 Data of used two-row summer barley cultivars Propino and Scarlett

	Origin	Crop year	Water [%]	Protein [%]	Germination energy [%]	Water sensitivity [%]
Propino	Germany	2012	12.6	10.3	98	23.5
Scarlett	Argentina	2011	12.7	10.5	99	7.0

special trials with an first wet steep of 6 h were conducted; one with a second wet steep of 20 min in order to simulate a direct steeping out after filling the steeping vessel and one without a second wet steep. The barley was only sprayed with 15 mL of water for simulating a steeping regime without second wet steep and a first spraying after steeping out dry.

The germination was aborted after the first day of germination. For evaluation of the steeping regimes, the reached steeping degree and the percentage of germinated kernels was determined before the second wet steeps and on the first germination day. To get a first information about the cytolytical progress, the green malt was kilned after one germination day and the mealiness was analysed.

2.3 Pilot plant trial

For further investigation of the optimal wet steeping phases, both barley cultivars (Propino and Scarlett) were steeped in a small scale malting plant (system model A1-2008, no. 176/1, Schmidt-Seeger, Beilngries, Germany) for 3 h/2 h, 4 h/1 h, 5 h/1 h and 6 h/0.33 h at 22 °C/20 °C for the first / second wet steep, respectively. Afterwards the germination (3 days: 20–21.5 h at 20 °C, 23 h at 22 °C, 13 h at 21 °C and 17 h at 17 °C) and kilning (1 day: 6.5 h at 37.5 °C, 4.5 h at 40 °C, 2.5 h at 45 °C, 2 h at 50 °C, 2 h at 55 °C, 1.5 h at 60 °C, 4 h at 80 °C, 1 h at 82 °C) procedures were kept constant to investigate the influence of the steeping regime, exclusively. All trials were done in duplicate.

The automated malting plant consists of a combined steeping-/germination unit with a maximum load of 16 baskets á 400 g each and an accordingly adjusted kilning unit. The steeping-/germination unit is equipped with a box containing the 16 baskets and housed in an insulated floodable chamber. The box can be ventilated with tempered and humidified air and can be periodically rotated (every 6 h) to avoid the formation of clusters. During germination, the water content of the samples was checked daily by weighing the germination baskets and calculating the steeping degree with reference to the dry matter. Afterwards, the amount of water for adjusting the steeping degree to 45 % was calculated by the actual steeping degree and initial barley weight. It was sprayed onto the baskets on the first (twice) and second germination day (only little corrections necessary).

After air rest and on the first germination day, the percentage of chitted and forked grains were counted to monitor the germination performance and homogeneity influenced by the different steeping regimes.

The rootlets of the kilned malt were removed with an automated sample cleaner (model SLN, Pfeuffer, Kitzingen, Germany) and the removed rootlets were weighed for determining the losses.

2.4 Malt analyses

The malt analyses mealiness, extract fine grist, Kolbach-Index, β -glucan content, modification and homogeneity (Carlsberg method), homogeneity of acrospire length were performed according to MEBAK [10]. To verify the results, all the analyses were done in duplicate.

3 Results and Discussion

In the first laboratory trial, the first wet steep was varied between 2 and 5 hours and the second between 1.5 and 2.5 hours (see Fig. 1). Longer first steeps at 22 °C result in significant higher moisture contents after the air rest compared to short ones which also was found in several investigations [3, 4, 7]. The variation of the second wet steep did not result in significant higher steeping degrees. Differences in water content after first steep could not be caught up with the second steep. Hence, the duration of the first wet steep seemed to be markedly more important for the final steeping degree after steeping.

The counting the percentage of chitted kernels after the air rest and on germination day 1 (germinative energy after one day) showed that the duration of the first wet steep significantly influences the start of germination. On germination day 1, no difference could be found which may be traced back to the relatively high steeping and germination temperatures and the resulting accelerated growth. As Dietrich [5] and Sims [22] stated, a higher initial steeping degree yields a faster germination performance.

Based on the highest water uptake and germination performance of the samples steeped for 5 hours, a second laboratory trial was done extending the first wet steeps up to 8 hours. Two additional trials with a first wet steep of 6 h were conducted; one with a second wet steep of 20 minutes in order to simulate a direct steeping out after filling the steeping vessel and one without a second wet steep. This sample was sprayed with 15 mL water for simulating a steeping regime without a second wet steep and a first spraying after steeping out dry.

The laboratory trials (see Fig. 2) show a strong correlation between the duration of the first steep and the moisture content after air rest ($R^2 = 0.96$). A first wet steep higher than 6 hours seemed to be useless due to no significant increase of the steeping degree on germination day 1. After a first wet steep of 6 hours, a spraying instead of a second wet steep was sufficient to increase the steeping degree to the value of a 4 h/2.5 h steeping regime, but compared to the other samples which had a first wet steep of

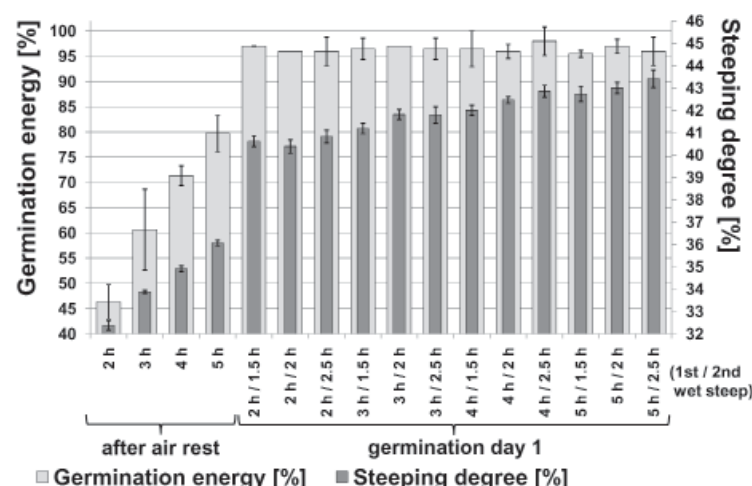


Fig. 1 Germination energies and steeping degrees after the air rest and on germination day 1 (standard deviation of duplicate determination), lab-scale trial 1

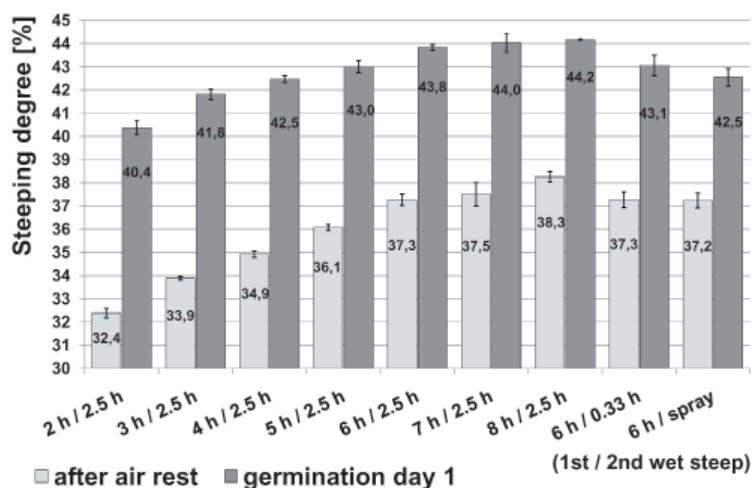


Fig. 2 Steeping degrees after air rest and on germination day 1 (standard deviation of duplicate determination), lab-scale trial 1+2

6 hours, the steeping degree was significantly lower. Narziß et al. [17] already assumed that spray steeping is not as efficient as wet steeping.

Regarding the germinative energy, no significant differences between the wet steep duration of 5 to 8 hours could be detected (see Fig. 3). Nevertheless, the germinative energy of the samples steeped for 8 hours seemed to decrease slightly. According to Lubert et al. [9] and Ward et al. [28], e.g. wet steeps of longer than 8 hours at 25 °C can lead to an increase of the grain's water sensitivity thus decreasing the germinative energy. This could also have been the cause for the slight decrease applying a first wet steep of 8 hours in present investigations. Even though the spraying instead of a second wet steep led to a reduced steeping degree, the germination performance was similar to the other samples steeped longer than 5 hours. This may be explained by the lack of a growth inhibiting second wet phase due to the low solubility of oxygen. This outcome confirms Voborsky's findings [27] in which spraying resulted in a faster initial germination performance.

To get first information about the progress of cytolytic modification, the green malt samples of the second lab-scale trial were kilned after one germination day and the mealiness was analysed (see

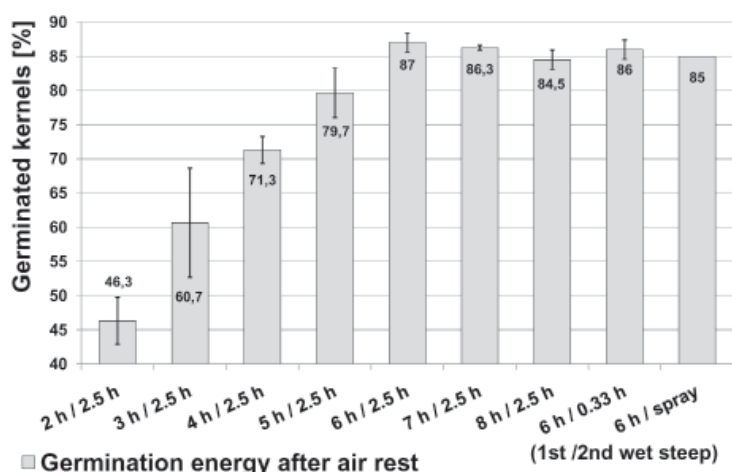


Fig. 3 Germination energies after air rest (standard deviation of duplicate determination), lab-scale trial 1+2

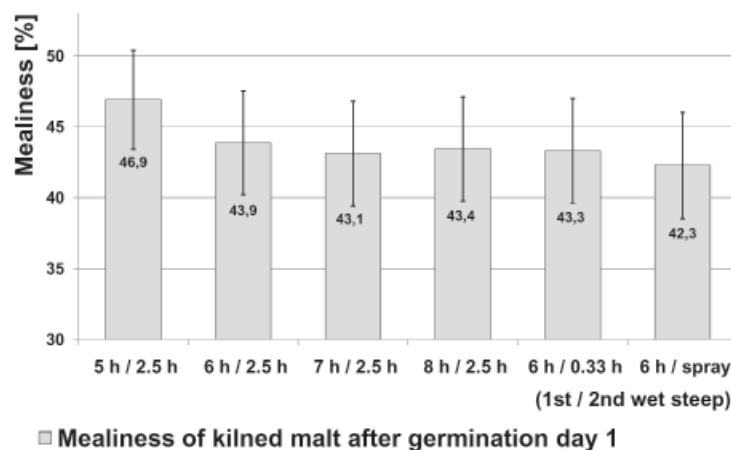


Fig. 4 Mealiness of kilned malt after one germination day (standard deviation according to MEBAK), lab-scale trial 2

Fig. 4). Despite of no significant differences, the highest mealiness was found for the 5 h/2.5 h-sample. Surprisingly, no correlation between the mealiness and the germination performance could be found which suggests that kernel growth and kernel modification do not necessarily relate to each other.

Based on this, the facts that the germinative energy is not increased with first wet steeps of higher than 5 hours and that the second wet steep was found to be less important for the water uptake, the steeping regimes for the small scale malting trial were chosen. Using the two barley cultivars Propino and Scarlett, extended steeping regimes 4 h/1 h, 5 h/1 h and 6 h/0.33 h (1st/2nd wet steep) were compared with a reference steeping applying a first wet steep of 3 hours and a second wet steep of 2 hours.

Again, a shorter wet steep led to markedly reduced steeping degrees after the air rest. It can be assumed that the first steep is much more effective for water uptake than the second steep. Despite of the smaller kernels of barley cultivar Scarlett, the barley Propino soaked the steeping water a bit faster during the first wet steep and air rest. In addition to the kernel size, the barley variety and year of crop also can influence the water uptake [31]. The samples 5 h/1 h and 6 h/0.33 h were similar, but a higher steeping degree range of 40–41 % was reached compared to the samples which were steeped 5 hours in total.

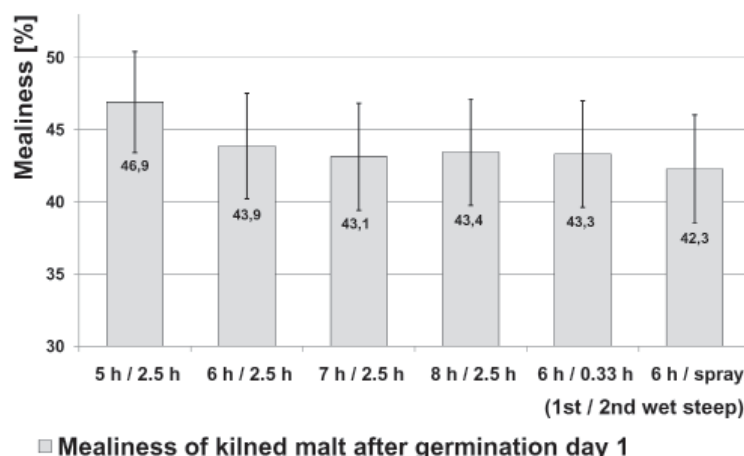


Fig. 5 Steeping degrees after air rest and on germination day 1 (standard deviation of duplicate determination), pilot plant trial

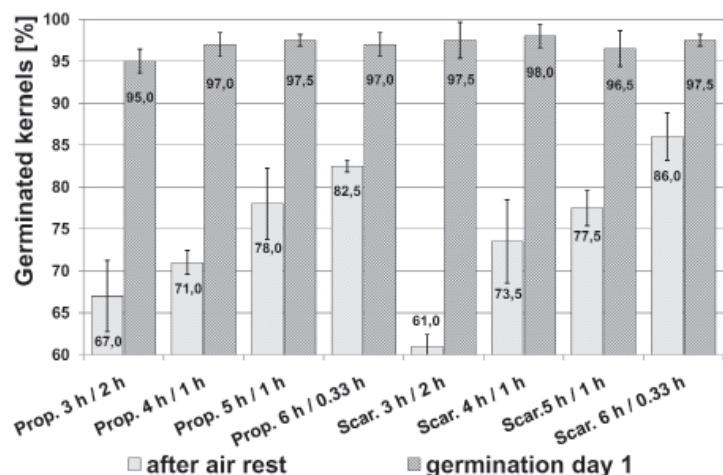


Fig. 6 Germinative energies after air rest and on germination day 1 (standard deviation of duplicate determination), pilot plant trial

Regarding the germination performance, for both barley varieties, a faster germination start was found when applying longer first wet steps (see Fig. 6) which confirmed the results of the lab-scale trials. On the first germination day, again, no differences were observable because of the accelerated growth at the applied temperatures. Up to a first steep of 6 hours, no inhibition of growth was detectable.

Typical malt analyses (Fig. 7–10) were carried out to evaluate the different steeping regimes by its malt quality. In general, the results of malt analyses were in the specifications recommended by MEBAK.

Figure 7 compares the extracts and malting losses of the different steeped malt samples, whereby the extracts did not show any differences. In correlation with the higher steeping degrees and faster germination initiation, the malting losses were slightly higher when applying first wet steps of 5 and 6 hours compared to shorter steps. The losses may be compensable by reducing the germination time. This seems possible with regards to the enhanced cytolytic modification, as indicated by the β -glucan contents in figure 9, which were significantly lower when applying first wet steps of 5 and 6 hours for the barley Propino. Additionally,

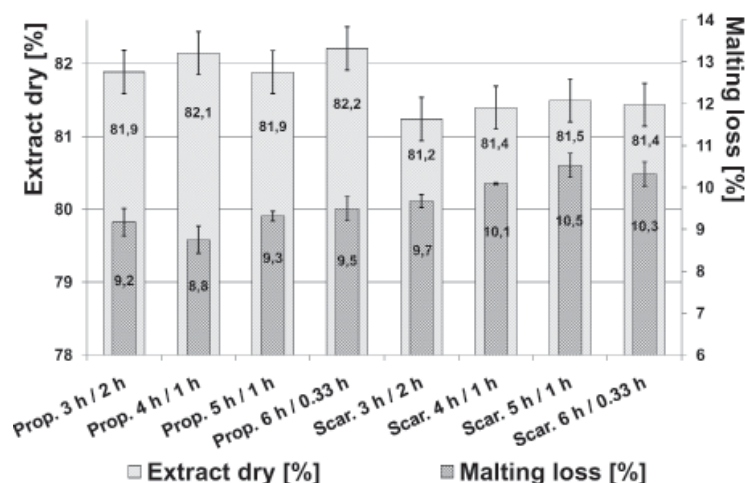


Fig. 7 Comparison of malt analysis extract and malting losses (extract's standard deviation according to MEBAK; malting loss' standard deviation of duplicate determination), pilot plant trial

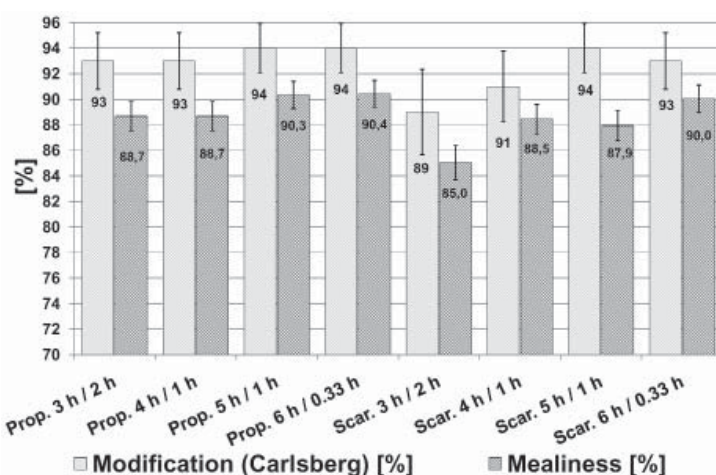


Fig. 8 Comparison of malt analyses modification and mealiness (standard deviation according to MEBAK), pilot plant trial

for Scarlett, the β -glucan content also was lower in the 4 h/2 h-sample compared to the reference sample (3 h/2 h). This could be confirmed by the parameters modification according to Carlsberg and the mealiness, both showing higher values. Nevertheless, the results of these parameters were not significant due to the high standard deviation of the methods.

The proteolytic modification, indicated by the Kolbach-Index, was rather low for all malt samples steeped at relatively high temperatures between 20 and 22 °C and germinated between 17 and 22 °C. Several authors [13, 14, 16, 18, 24, 29, 30] exposed the same observation in malting trials at higher temperatures. The Propino malt samples steeped 4 and 5 hours showed significant higher Kolbach-Indices which are nearly acceptable according the MEBAK specifications. This gave a hint that prospective trials might solve the problem of the too low protein degradation by adapting the germination program which is more affecting the proteolysis compared to the steeping regime.

Figure 10 illustrates a comparison of the homogeneities analysed with the Calcofluor method according to Carlsberg and evaluated by the acrospire length. Due to the high standard deviations of both methods, no significant differences could be observed. Ne-

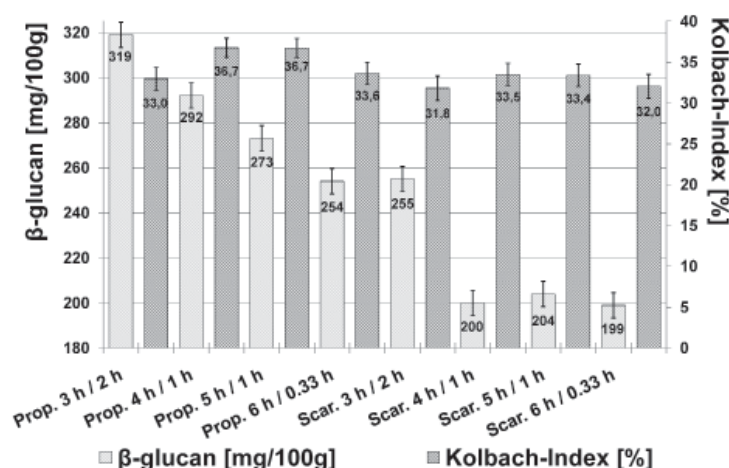


Fig. 9 Comparison of malt analyses β -glucan content and Kolbach-Index (standard deviation according to MEBAK), pilot plant trial

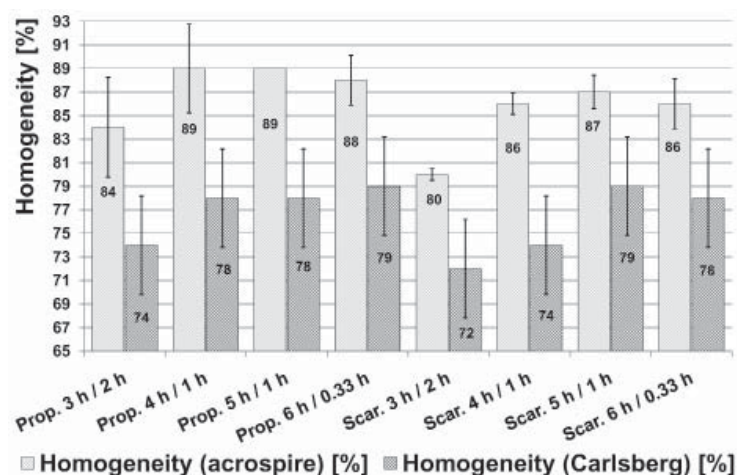


Fig. 10 Comparison of the homogeneity according to Carlsberg and the homogeneity of the acrosires length (Carlsberg's standard deviation according to MEBAK; acrosires' standard deviation of duplicate determination)

vertheless, both methods showed higher homogeneities for the extended first wet steepings up to 6 hours compared to the reference steeping regime (3 h/2 h) for both barley cultivars. This confirms the other results which showed that a longer first wet steep was advantageous for the resulting malt quality due to the higher importance and effectiveness of the first wet steep compared to the second wet steep.

Summarising the findings, the steeping procedures 5 h/1 h and 6 h/0.33 h (1st and 2nd wet steep) led to the highest water uptake which in turn resulted in the faster germination start and finally in enhanced cytolytic modification and slightly higher homogeneities.

4 Conclusion

Different steeping regimes with varied durations of the first (2–8 h) and second (20 min to 2.5 h or only spraying) wet steepings were investigated, using the two row barley cultivars Propino and Scarlett. In all trials, the same temperature regime (1st wet steep at 22 °C, air rest 18 h at 21 °C, 2nd wet steep at 20 °C) was used. Furthermore, the steeping degrees were adjusted to 45 % for all small scale malting trials and germination as well as kilning programs were kept constant for an investigation of wet phases' impacts, exclusively.

The duration of the first wet steep correlated with the moisture content after the air rest, which was also described in literature [3, 4, 7]. Supporting Dietrich and Sims [5, 22], a higher initial steeping degree yielded a faster germination start.

Furthermore, the first wet steep turned out to be more important for the water uptake compared to the second wet steep. An inadequate steeping degree after first wet steep could not be compensated by a longer second wet steep. When applying a reasonable long first wet steep, a spraying instead of a second wet steep seemed to be sufficient for acceptable malt quality.

The reached steeping degree had an impact on the germination performance, which increased with higher initial steeping degrees.

On the other side, laboratory trials showed an inhibition in initial germination by too long first wet steepings of 8 hours, which was also stated by *Lubert et al.* [9] and *Ward et al.* [28]. It is important, to achieve a growth-adequate moisture content in the grain as fast as possible to gain a good cytolytic modification and malt homogeneity. In consideration of the laboratory and pilot plant malting trials, the optimal steeping procedure seems to contain a first wet steep around 5–6 hours, whereas the second steep should be rather short. This can be explained by a slow metabolism when the grain has not yet started germination. During the second wet steep, when metabolism is already accelerated, an oxygen deficiency by long wet steepings must be avoided because the grain has to recover from an "anaerobic" phase, thus, the longer the second wet steep, the lower the germination performance.

The malting losses increased slightly with a higher germination performance. Due to a better initial modification, this might be compensated with a shorter total germination time [11].

Referring to the malt analyses, it was obvious that the proteolytic modification was too low compared to literature recommended values [10] which should be balanced by varying the germination program in prospective trials.

Compared to the moderate steeping regime (1st wet steep 3 h; 2nd wet steep 2 h), the cytolytic modification, indicated by the β -glucan content, was markedly increased by extending the first wet steepings to 5 or 6 hours, also resulting in slightly higher homogeneities. The positive effect of the first wet steepings points out the importance of the water distribution in the endosperm which was already stated by *Axcell et al.* and *Rath* [2, 20].

Nevertheless, water and temperature sensitivity of the barley, variety and crop year must be taken into consideration and thus the suitability of barley for an accelerated steeping and germination program should be verified.

It has to be taken into consideration that applying warm steeping at 20–22 °C can lead to a fast heating up of the grain bed in dependency on the climatic conditions and the steeping equipment of the malting plant. High steeping temperatures thus may require a heating unit for the water preparation as well as insulated steeping tanks and perhaps a stronger CO₂-extraction to keep the temperature during the dry rests, especially during warm seasons and regions.

Acknowledgment

Gratefully acknowledgements go to the laboratory team of the TU Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science.

6 References

1. Aalbers, V. J., Drost, B. W. and Pesman, L.: Aerated Steeping Systems, MBAA Techn. Quart. **20** (1983), no. 2, pp. 74-79.
2. Axcell, B., Jankovski, D. and Morrall, P.: The Crucial Factor in Determining Malt Quality, The Brewers Digest **58** (1983), pp. 20-23.

3. Baxter, E. D., Reeves, S. G. and Bamforth, C. W.: The Effects of Increased Steeping Temperatures on Enzyme Development in Malt, *J. Inst. Brew.* **86** (1980), pp. 182-185.
4. Baxter, E. D. and O'Farrell, D. D.: Effects on Raised Temperatures During Steeping and Germination on Proteolysis During Malting, *J. Inst. Brew.* **86** (1980) pp. 291-295.
5. Dietrich, B.: Einfluß und Bedeutung der Belüftung während der Weicharbeit, *BRAUWELT* **106** (1966), no. 1/2, pp. 1-4.
6. Home, S., Stenholm, K. and Olkku, J.: Measuring and Evaluating Malt Homogeneity, *Proc. 27th EBC Congr.*, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1999), pp. 365-375.
7. Huang, X., Han, Y. and Yu, S.: The Effect of Steeping Conditions on Arapiles Malting, *BrewingScience—Monatsschrift für Brauwissenschaft* **57** (2004), no. 2, pp. 13-15.
8. Kretschmer, K. F.: Über die Güteeigenschaften von Braumalzen, *BRAUWELT* **107** (1967), no. 48/49, pp. 929-934.
9. Lubert, D. J. and Pool, A. A.: Studies in Barley and Malt XXII. Effect of Elevated Temperatures During Multiple Steeping, *J. Inst. Brew.* **70** (1964), pp. 145-155.
10. Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission. Brautechnische Analysemethoden, Band Rohstoffe, Selbstverlag der MEBAK, Freising-Weihenstephan, Germany (2006)
11. Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D. and Methner, F.-J.: The Influence of Elevated Steeping Temperatures on the Resulting Malt Homogeneity and Malt Quality, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* **66** (2013), no. 7/8, pp. 114-122.
12. Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D. and Methner, F.-J.: The Influence of Elevated Germination Temperatures on the Resulting Malt Quality and Malting Losses, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* **67** (2014), no. 3/4, pp. 18-25.
13. Narziß, L.: Moderne Mälzungsmethoden I. Der Einfluß der Weicharbeit auf Keimung und Malzqualität unter besonderer Berücksichtigung der Weichtemperatur, *BRAUWELT* **105** (1965), no. 81, pp. 1506-1515.
14. Narziß, L.: Steeping as the Foundation of Modern Malting Technology, *MBAA Techn. Quart.* **3/4** (1966), pp. 237-243.
15. Narziß, L. and Hellich, P.: Die Keimung mit fallenden Temperaturen, *BRAUWELT* **106** (1966), no. 48/49, pp. 885-894.
16. Narziß, L. and Hellich, P.: Mälzungsversuche bei verschieden hohen, aber konstanten Keimtemperaturen und unterschiedlichen Feuchtigkeitsniveau, wobei der jeweils maximale Keimgutwassergehalt zu verschiedenen Zeiten hergestellt wird, *BRAUWELT* **106** (1966), no. 44, pp. 801-811.
17. Narziß, L.: Die Weicharbeit im Lichte neuester Erkenntnisse, *BRAUWELT* **107** (1967), no. 84/85, pp. 1569-1582.
18. Narziß, L.: Der Stand der Mälzereitechnologie, *BRAUWELT* **129** (1989), no. 21/22, pp. 939-940, 953-961.
19. Pollock, J. R. A. and Pool, A. A.: Enzymes of Barley and Malt III – The latent β -amylase of Barley, *J. Inst. Brew.* **64** (1958), pp. 151-156.
20. Rath, F.: Histologische und physiologische Untersuchungen zur Wasseraufnahme bei der Vermälzung unterschiedlicher Gerstengenotypen verschiedener Herkünfte und Erntejahrgänge mit dem Ziel der Optimierung von Mälzungsarbeit und Malzqualität, dissertation, TU Berlin, (1993), pp. 152-171.
21. Reeves, S. G., O'Farrell, D. D. and Wainwright, T.: The Effect of Increased Steeping Temperature on Malt Properties, *J. Inst. Brew.* **86** (1980), pp. 226-229.
22. Sims, R. C.: Germination of Barley: Effects of Varying Water Contents upon the initiation and maintenance of growth, *J. Inst. Brew.* **65** (1958), pp. 46-50.
23. Sommer, G. and Antelmann, H.: Untersuchungen über ein Verfahren zur Minderung des Mälzungsschwands, *Brauwissenschaft* **19** (1966), no. 12, pp. 337-343.
24. Sommer, G.: Eiweißabbau und Aminosäure-Zusammensetzung, *EBC Monograph II* (1975), pp. 188-197.
25. Sommer, G.: Einige Aspekte moderner Mälzereitechnologie, *Brauwissenschaft* **29** (1976), no. 1, pp. 21-28.
26. Swanston, J. S. and Taylor, K.: The Effects of Different Steeping Regimes on Water Uptake, *J. Inst. Brew.* **96** (1990), pp. 3-6.
27. Voborsky, J.: Einfluß der Sprühweiche und der Wassertemperatur auf die Qualität des Malzes, *Die Lebensmittelindustr.* **18 (10)** (1971), pp. 377-380, 428-431.
28. Ward, P. and Briggs, D. E.: Methods for Accelerating Malting a Small Scale Investigation, *J. Sci. Fd Agric.* **22** (1971), pp. 581-586.
29. Weith, L.: Studien zu Technologie der Mälzerei VII. Der Einfluss der Faktoren Zeit, Temperatur und Wassergehalt auf die Malzqualität, *Proc. 11th EBC Congr.*, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1967), pp. 251-265.
30. Zastrow, K.: Aufgaben, Ergebnisse und Probleme der Kleinmälzung, *M Schr. Brauerei* **14** (1961), pp. 36-40.
31. Zila, V. V., Trkan, M. and Skvor, F.: Über Korngröße und Weiche, *Woch. Brau.* **59/14** (1942), pp. 63-65.

Received 20 March 2014, accepted 29 March, 2014

7.1.4 The influence of the withering temperature on the resulting proteolytic and cytolytic modification of pale malt (2014)

Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J.

BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss. 67 (7/8), 88-95.

C. Müller, M. Kleinwächter, D. Selmar and F.-J. Methner

The Influence of the Withering Temperature on the Resulting Proteolytic and Cytolytic Modification of Pale Malt

During kilning, the germinated malt has to be dried from moisture contents of 42–48 to 3–6 % to interrupt the growth and to make the malt storable. Therefore, the green malt is firstly dried by blowing air with moderate temperatures between 45–65 °C through the grain bed. This first of two steps during kilning is called withering and it is important to ensure highest possible enzyme activities in the malt which are mandatory for later brewing process. During withering, the enzyme formation and activities are accelerated and a lot of biochemical reactions, e.g. the enzymatic degradation of cell wall substances hemicelluloses (cytolysis) and protein (proteolysis), occur especially at a stage of still high grain's moisture content. The withering temperature has a remarkable influence on the final malt quality. After withering, when a moisture content of 10–15 % is reached, the malt is cured at higher temperatures between 75–90 °C for some hours for pale malt like Pilsener malt.

Laboratory withering trials in a grain layer height of 35 cm applying isotherm temperatures between 30 and 60 °C were carried out to investigate the influence on the resulting pale malt quality especially by means of the cytolytic and proteolytic modification. The curing process, 4 hours at 80 °C, was kept constant for all trials. The cytolysis was enhanced by reducing the withering temperature. Comparing the 30 and 60 °C samples, an about 60 mg/L lower β -glucan content, an about 8 % higher mealiness and an about 5 % higher modification according to Carlsberg could be observed. The proteolysis could be reduced as indicated by a 2.8 % lower Kolbach-Index comparing the lowest and the highest applied withering temperatures of 30 and 60 °C.

Therefore, an optimal withering temperature regarding the cytolytic and proteolytic modification in present study was found to range between 30 and 37 °C. Additionally, the influence of the withering temperature on different layers of the grain bed was investigated. The upper layer stayed moist for a longer period, thus enzymatic activities, by means of a higher cytolytic and proteolytic modification, could take place in a higher extend. Thereby, the malt quality deviation between the upper and lower layer increased with higher temperatures. The disadvantages of lower withering temperatures are an extended kilning process and a slightly higher energy consumption of the kilning fan.

Descriptors: kilning program, withering temperature, cytolysis, proteolysis, grain layers

1 Introduction

During kilning, as the last main step in malt production, the water content of the germinated green malt is dried from about 42–48 % to 3–6 % by a hot air stream which is blown through the grain bed from the bottom up whereby in most cases recirculated air is used when outcoming air is not saturated with water vapour during the last hours in order to save energy [19, 31].

The aims of the drying process are an interruption of the growth and enzymatic modification as well as the warranty of a shelf life

for a long storage stability of the easily perishable green malt. Furthermore, the enzymes, formed during germination, have to be treated gently for keeping highest possible activities due to the importance for the brewing industry [27, 31, 26]. Therefore, the grain is normally pre-dried at temperatures of 45–65 °C kept for 10–24 hours depending on the air flow until a humidity of 10–15 % is reached during the so-called withering process. At that stage, the enzymes are more robust against higher temperatures due to the lower grain's humidity and the temperature can be increased to the curing temperature of about 75–90 °C for pale malt which are kept for 3–6 hours to further reduce the moisture content [11, 23, 26, 31].

The biochemistry of kilning can roughly be divided into three phases which are defined according to the range of temperature grain humidity and the ongoing reactions. The first one is the "germination" phase in which the acrospire and rootlets are still growing. The ongoing catabolism and anabolism take place up to a moisture content of 20 % and a temperature below 40 °C in the grain bed [4, 16, 19, 23, 26]. *Reinikainen et al.* [30] demonstrated a two to fourfold respiration by measuring the CO₂ production

Authors

Dipl.-Ing. Christian Müller, Technische Universität Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science, Berlin, Germany, corresponding author: c.mueller@tu-berlin.de; Dr. Maik Kleinwächter, Prof. Dr. Dirk Selmar, Technische Universität Braunschweig, Institute for Plant Biology, Germany; Prof. Dr.-Ing. Frank-Jürgen Methner, Technische Universität Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science, Berlin, Germany

during the first hours of withering compared to the germination proving the enhanced growth in the “germination” phase. After that, the “enzymatic” phase follows. The growth is interrupted but the enzymatic degradation of high molecular substances like starch, hemicelluloses and protein continues resulting in an accumulation of sugars and amino acids. Proteases and amylases work up to a grain temperature of 60–70 °C whereas β -glucanases are inactivated at lower temperatures. At grain temperatures higher than 70 °C, chemical reactions take place, exclusively. During this “chemical” phase, colour components by means of caramelised sugars, oxidised polyphenols and melanoidins as well as aroma components, the last two due to Maillard reactions, are formed [4]. According to *Barrett et al.* [3], the free amino nitrogen (FAN) decreases during the curing phase because they act as precursors for the Maillard reactions.

Furthermore, DMS precursors (S-Methylmethionine = SMM), synthesised during germination, are degraded and formed DMS (Dimethylsulfid = DMS) is evaporated whereby a higher withering and curing temperature accelerate the degradation [2, 7, 8]. These claims stand in contrast to Forster’s findings [9] of which lower withering temperatures led to a higher DMS-P degradation. Forster explained that by an increased degradation at longer lasting higher moisture contents.

In general, many parameters influence the drying process. The commonly used kilning technique of aeration from bottom to top leads automatically to different conditions between upper and lower layers in the grain bed increasing with higher grain beds. During the passing of incoming air through the grain bed, the air is humidified by the wet grain in the lower layers and thus the upper layers are dried slower or not at all in case of saturation. Therefore, biochemical metabolism can longer take place in the upper layer of the grain bed due to longer lasting higher moisture contents which leads to inhomogeneities of a malt batch [23, 27]. Next to the grain layer height, the air flow rate, the conditions of outdoor air by means of temperature and relative humidity, the pressure difference between the incoming and exhaust air, in turn influenced by the grain weight and the empty space between the kernels, the length of the rootlets and mainly the temperature of incoming air influence the duration of the kilning process [11, 33]. In addition, *Schuster et al.* [33] and *Abrahamson* [1] stated that the parameter temperature is much more important than the kilning time for reaching low moisture contents because the reachable moisture content in the malt itself depends on the kilning temperature due to a temperature dependant gradient of vapour pressure between the kernel and the kilning air. *Narziss and Stippler* [23] further explained that reaching a moisture content below 10 % is difficult because the moisture gradient and the water transport from inside to outside of the kernel is counteracted by a temperature gradient in the other direction resulting from the evaporative cooling inside the kernel. Therefore, the temperature has to be increased after the drying of adhesive water and moisture on the outer parts of the kernels which can easily be removed.

Grebe et al. [10] simulated the batch-wise kilning process and calculated a lower energy requirements when drying at higher temperatures as an advantage next to the reduced process time. On the other hand, *Bathgate* [4] and *Harris et al.* [13] claimed

a remarkable β -glucan degradation during kilning which is important for avoiding filtration problems during brewing because β -glucan can form gels blocking pores of the beer filter [5]. Further investigations [9, 11, 14, 24] showed increasing cytolytic modification when applying lower temperatures during kilning especially during withering. *Narziß and Stippler* [24] evaluated the cytolysis by determining the extract difference, whereby up to 1 % lower values were found when reducing the withering temperature from 65 to 50 °C. *Gromus et al.* [11] found an up to 3.5 % increased mealiness when withering between 25 and 35 °C as compared to withering at 50 °C. The enhanced cytolysis can be explained by a relatively high heat sensitivity of hemicelluloses degrading enzymes, especially with regards to exo- β -glucanases [5, 6, 21, 24, 29]. Nevertheless, *Preece and Hoggan* [29] found that β -glucanase activities vary extremely in different barley cultivars and also observed a barley variety dependant inactivation of β -glucanases between 30 and 75 %. *Zahn* [35] observed a higher β -glucan degradation when applying a more moderate withering by reducing the air flow. The degradation takes place in the first hours of withering when the grain water content is still high and this phase is prolonged by the air flow reduction. In contrast to these findings, *Schuster et al.* [33] could not find changed extract differences and mealiness up to a withering temperature of 70 °C. Others authors [3, 14] observed reduced degrees of final attenuation of worts produced from malts kilned at higher temperatures. This was explained by an enhanced enzyme inactivation of α -amylases and especially β -amylases, which is markedly more heat sensitive compared to the α -amylase, resulting in lower starch degradation during mashing. Therefore, *Narziss and Rusitzka* [26] claimed that in general lower withering temperatures are of advantage for higher enzyme activities. In contrast to this, *Schuster et al.* [33] observed that the β -amylase, indicated by the parameter diastatic power, is only reduced at higher temperatures than 60 °C and the optimal range for its activity during kilning lies between 40 and 60 °C.

The proteolytic enzymes, especially the carboxypeptidases and endoproteases, are known for a relatively high heat stability and for higher catalytic activities at higher temperatures above 50 °C up to 70 °C. Higher withering temperatures thus result in higher protein degradation indicated by higher Kolbach-Indices and higher FAN contents [3, 16, 21, 22, 24, 25, 26, 31].

The kilning temperature also strongly influences the malt colour which is increasing when applying warmer withering as well as curing temperatures due to accelerated Maillard reactions yielding in a higher melanoidin formation [3, 9, 14, 15].

Despite of the discussed economical aspects of withering at higher temperatures by means of the kilning time, the energy consumption and up to 0.6 % lower malting losses [33], the aim of this study was to investigate the influence of the relatively low withering temperature down to 30 °C on the resulting quality of pale malt, especially the cytolytic and proteolytic modification. Therefore, laboratory withering trials at 30 and 60 °C with a grain layer height of 35 cm were carried out using the same frozen green malt and curing the malt for 4 hours at 80 °C for all trials to assess the withering temperature’s influence, exclusively. Furthermore, malt samples from two grain layer heights were analysed to evaluate the

resulting homogeneity of the malt when applying different withering temperatures which may be improved at lower temperatures due to more similar conditions in all layers. Previous studies on similar topics dealing about the influence of the withering temperature, especially applying relatively low temperatures down to 30 °C, were done several decades ago, thus modern barley cultivars whose quality changed a lot during the last decades may behave different nowadays.

2 Materials and methods

2.1 Pilot plant trial

For investigating the influence of the withering temperature on the resulting malt quality, the two row summer barley cultivar Marthe (water 13.9 %, protein 10.5 %, germination energy 98 %, water sensitivity 35 %) was steeped and germinated in a “Heyl” small scale malting. The “Heyl” system consists of two steeping/germination wheels each subdivided into quarters which can be filled with up to 25 kg barley. The wheels are housed in an insulated chamber which is ventilated with tempered and humidified air. For steeping, the baskets are dipped periodically into a water tubs, located below the wheels, by the turning wheels (0.25 turns per minute) to ensure a good water and oxygen supply of the malt. During germination, the water tubs are drained and the wheels are turned continuously to aerate the grain and to avoid the formation of clusters. The steeping (1st wet steep: 6 h, air rest: 19 h, 2nd wet steep: 2.5 h) and germination (5 days) temperature was kept at 14 °C. During germination, the water content of the samples was checked daily by weighing the germination baskets and calculating the steeping degree with reference to the dry matter. Afterwards, the amount of water for adjusting the steeping degree to 45 % was determined by the drying method. It was sprayed onto the baskets on the first and second germination day. After germination, the barley was deep frozen by liquid nitrogen in order to have a constant green malt quality to investigate the influence of the withering temperature, exclusively. The withering trials were done with the kilning unit of a laboratory malting plant (system model A1-2008, no. 176/1, Schmidt-Seeger, Beilngries, Germany). For this, an extra basket, closable by sieves at the top and the bottom, was manufactured to have the highest practicable grain layer in the used kilning unit compared to the original baskets of the plant. 4200 g frozen green malt was filled into the basket resulting in a grain layer height of 35 cm before kilning. A third sieve could be placed in the middle of the basket to separate the upper and lower grain layer in order to be able to run malt analyses from the different layers afterwards. Two temperature loggers recorded the temperatures in the height of 2 and 33 cm of the grain bed. The withering temperatures of 30, 37.5, 45, 52.5 and 60 °C was kept as long as the water content was higher than 13 % which was determined by weighing the basket every 1–2 hours or more often. When a water content of 13 % ± 0.3 % was reached, the same curing program (4 hours at 80 °C) was started for all trials. The energy consumption of the heating system and fan were recorded and the room temperature and humidity were measured for calculating the air’s enthalpy and absolute humidity. The trials were done without recirculation of air in order to get more comparable results.

2.2 Malt analyses

The malt analyses moisture content, mealiness, modification and homogeneity (Carlsberg method) were analysed from final malts according to MEBAK [20]. The parameters extract, degree of final attenuation, filtration time, turbidity, colour of boiled wort, pH value, Kolbach-Index, free amino nitrogen (FAN), viscosity, β -glucan content and DMS-P content were analysed from congress wort produced of the final malts according to MEBAK [20]. The activities of α - and β -amylases and β -glucanases were determined with commercial assay kits (Megazyme, Bray, Ireland). All analyses were done in duplicate.

2.3 Laboratory lautering tests

To get further information about the processability of the produced malt, an in-house-method of a laboratory lautering test was used to determine the lautering properties of the mashes produced from the respective malt samples. The lautering test was performed in triplicate at 20 °C using a Filtercheck®-apparatus (Stabifix, Gräfelting, Germany). 50 g malt were ground with a DLFÜ-mill (Bühler, Uzwil, Switzerland) at a disk gap of 0.8 mm and mashed in with 180 mL bi-distilled water of 45 °C. For mashing, the congress mashing apparatus (Bender & Holbein, Bruchsal, Germany) and regime according to MEBAK [20] were used. After cooling the mash to 20 °C, bi-distilled water was added to the mashes to adjust the beaker contents to 200 g. After filling the mash onto a steel mesh with a gap size of 0.25 mm placed on the bottom of the Filtercheck®-apparatus, followed by a lautering rest of 2 minutes, the filtrate was collected on a scale and the filtrate volume was recorded during the test and afterwards plotted against the lautering time. Comparing the curves and the filtrate volume after a certain time of 300 seconds provided information about the malt’s lautering properties.

3 Results and Discussion

The drying rate was accelerated by higher withering temperatures and a linear response of $R^2 = 0.90$ between withering time and applied withering temperature of 30–60 °C could be observed (see Fig. 1). The results rather showed a very strong 3rd order polynomial

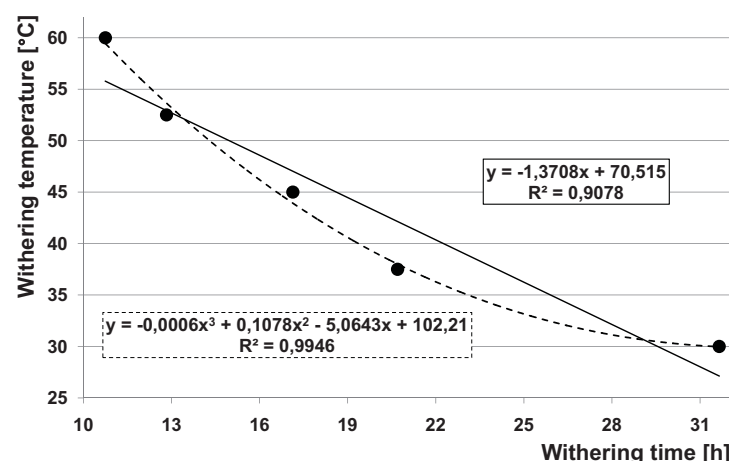


Fig. 1 Correlation between withering temperature and the withering time until a reached moisture content of 13 %

Table 1 Data of kilning time, energy consumption and outdoor conditions (absolute humidity and enthalpy gained from h,x-diagram)

Withering temperature [°C]	Withering time [h]	Heating energy for withering [kWh]	Fan energy for withering [KWh]	Heating and fan energy for withering [kWh]	Mean room temperature [°C]	Mean relative humidity of room air [%]	Mean absolute humidity [g/kg]	Mean enthalpy of room air [kJ/kg]
30.0	31.6	9.5	0.95	10.4	18.8	59.0	8.0	39.2
37.5	20.7	10.6	0.62	11.2	14.9	59.2	6.2	30.8
45.0	17.1	10.4	0.51	10.9	17.0	75.1	9.1	40.1
52.5	12.8	9.2	0.39	9.5	17.8	68.4	8.7	40.0
60.0	10.7	9.1	0.32	9.4	17.7	70.4	8.9	40.4

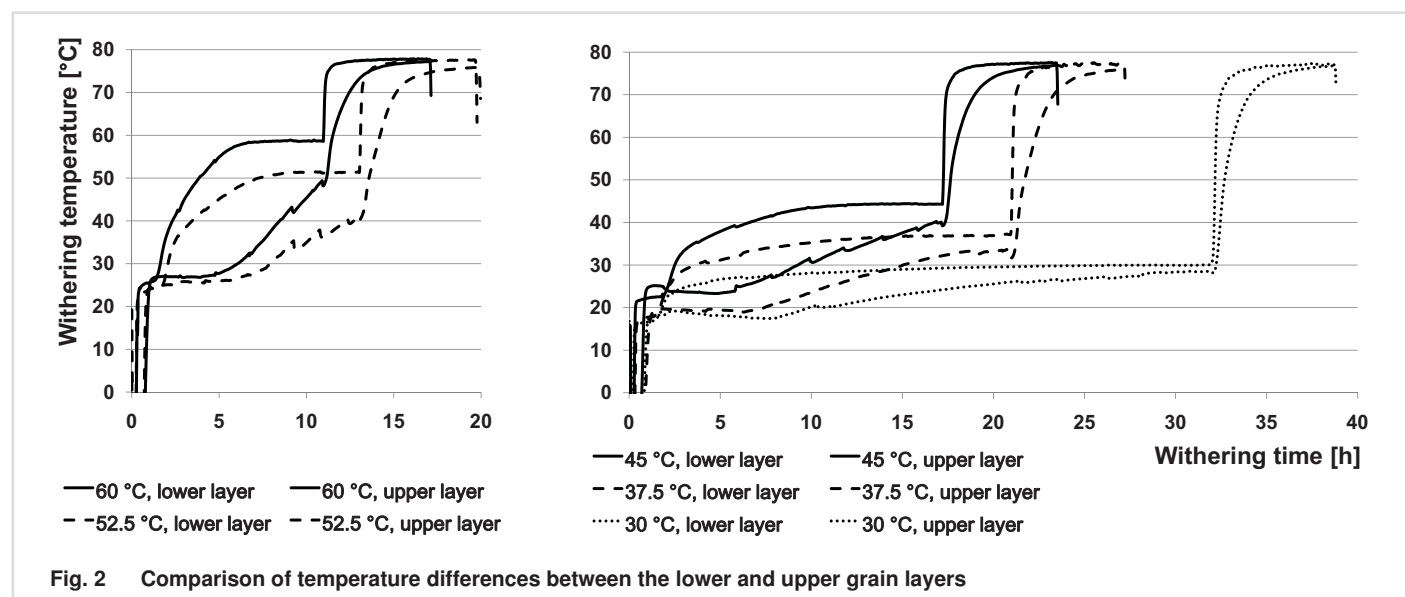
function because remarkably slower drying could be observed when applying a withering temperature of 30 °C. The deviations from a linear correlation can be explained by water transport through the capillaries of the porous kernel which is dependent on the vapour pressure gradient which in turn is dependent on the drying temperature [1, 23, 33]. Also, *Schuster et al.* [33] found really slow drying rates at 20 and 30 °C. Comparing isotherm kilning temperatures between 20 and 85 °C, a potential correlation between the time and temperature was observed, thus a correlation seems to be strongly dependent on the used system, grain bed height, air flow etc.. Due to the vapour pressure gradient, responsible for the water transport from the inner kernel, the retardation of the drying occurs earlier at lower temperatures. At temperatures below 30 °C, a recommended breakthrough moisture of 10–13 % is said to be difficult to reach [23]. In present investigations (see Table 1), the applied withering temperature of 37.5 °C was capable to reduce the moisture content to the aimed 13 % in less than one day.

In general, the withering at 60 °C led to the lowest energy consumption which had been expected due to the energy requirements of the fan which ran constantly but longer with decreasing withering temperature. Nevertheless, the energy consumption did not correlate with the withering temperature. In contrast, *Grebe et al.* [10] simulated the batch-wise kilning process and found a lower energy consumption when drying at higher temperatures as an advantage next to the reduced process time. In present study, little difference of energy consumption were caused by an influence of the incoming

air's conditions by means of the relative humidity, the temperature and resulting the enthalpy. Lower air temperatures of the 37.5 and 45 °C trials might have led to an increased energy consumption for heating up the incoming air.

Temperature loggers were placed in the heights of 2 and 33 cm of the 35 cm grain bed for recording the heating progress in two different layers. *Harnoy et al.* [12] found increasing temperature differences between the lower and upper layer when drying at higher temperatures which could partly be compensated by increasing the air flow. The result of the present trials confirmed these findings as demonstrated in figure 2. Therefore, an inhomogeneity of the kilning process should be reducible when applying lower withering temperatures due to more comparable conditions in different grain layers for a more even duration of biochemical and chemical reactions [23, 27]. Despite of the applied low grain bed height of 35 cm compared to industrial green malt heights of 80–120 cm, the found temperature differences of about 10–28 °C with increasing withering temperatures are remarkable.

The different layer heights also influenced the malt quality independently from the varied withering temperature despite of a three to fourfold lower grain height in comparison to industrial kilns (see Table 2). Next to expected slightly higher moisture contents, up to 0.4 % higher extracts were found in the malts of the upper layer, although the activities of α - and β -amylase did not show considerable differences. A cause could be the slightly higher cytolytic



modification determined by the parameters viscosity, mealiness, modification and β -glucan which in turn probably resulted from the longer lasting lower temperature at higher moisture contents at the start of withering in the upper layer. Nevertheless, higher activities of the heat sensitive β -glucanases [5, 6, 21, 24, 29] were observed in the final malts of the lower layer which can be explained by a higher inactivation due to higher moisture contents at increased temperatures during the curing phase. Furthermore, slightly higher turbidities could be found in the congress worts produced from the malts of the upper layers, but the congress worts' turbidities did not correlate with the withering temperature. This stays in contrast to findings of *Isebaert et al.* [15] in which the turbidity increased with higher withering temperatures. In case of the temperature insensitive proteases, whose catalysing activities are enhanced at higher temperatures, higher moisture contents when increasing curing temperatures may have led to found slightly higher proteolytic modification in the final malts of the upper layer indicated by the parameters Kolbach-Index and FAN content [3, 16, 21, 22, 24, 25, 26, 31]. Due to the higher FAN contents, which comprise precursors for the Maillard reactions forming colouring substances like the slightly acidic melanoidins, the colours of boiled wort increased and the pH decreased in the upper layers [3, 9, 14, 15]. Generally, the colour of this Pilsener type malt was out of the range of the MEBAK recommendations. Possibly, a cause for this was the freezing and thawing procedures of the green malt before kilning that might have led to an increased oxidation of polyphenols due to a partly destructed fabric structure of the husks. The parameter filtration time did not correlate with the degree of cytolytic modification and also did not show a clear influence of the varied withering temperature. Nevertheless, a slightly improved filtration was found for the lower layer malts of all trials.

Slightly lower DMS-P contents could be observed when applying increasing withering temperatures. Also other authors [7, 8] showed a faster DMS-P degradation when applying higher temperatures. Astonishingly, the differences between the upper and lower layers in the different trials were higher than the difference between the samples withered at different temperatures. Possibly, the kilning time compensated the lower temperature. The higher temperatures in the lower grain bed layers led to significantly reduced DMS-P contents with differences of about 1.5 mg/kg due to an earlier stopped DMS-P formation and/or earlier degradation caused by the higher temperature exposure.

The parameter homogeneity according to Carlsberg normally provides information about the germination performance of barley and should not be influenced during kilning; however, in these trials lower values were found in the upper layer for all trials. This can be explained by an analysis method dependant influence of cytolytic modification on the parameter homogeneity. Nevertheless, considering the β -glucan, Kolbach-Index and colour, greater differences between the malts of the two layers were observed when applying higher withering temperatures which implied a higher inhomogeneity (see Fig. 2). As a logical consequence, withering at lower temperatures should be even more positively affecting the homogeneity in industrial scale with grain heights of 80–120 cm instead of the 35 cm as used in present study.

In figures 3–6, the mean results of both layers of the most important analyses parameters are graphically presented to compare the influence of the withering temperature on the malt quality, exclusively. *Kolbach and Schild* [16] observed an optimal proteolysis between 50 and 70 °C depending on the moisture content of the grain which explains the higher Kolbach-Indices and slightly higher

Table 2 Data of malt analyses; comparison of two different grain bed layer heights (0–17.5 and 17.5–35 cm)

Analysis	30 °C top	30 °C bottom	37.5 °C top	37.5 °C bottom	45 °C top	45 °C bottom	52.5 °C top	52.5 °C bottom	60 °C top	60 °C bottom
Moisture [%]	4.5	4.2	4.3	4.0	4.5	4.2	4.4	4.2	4.7	4.4
Extract fine (dry) [%]	81.5	81.3	81.7	81.3	81.7	81.3	81.6	81.6	81.7	81.3
Final attenuation [%]	84.5	80.8	79.2	79.5	78.8	78.8	79.3	80.3	79.7	78.0
Filtration time [min]	37	30	77	37	55	65	58	42	67	55
Turbidity 90° [EBC]	5.6	4.4	5.3	5.2	6.8	5.4	6.4	5.0	5.5	4.3
Colour of boiled wort [EBC]	10.6	9.0	10.6	9.3	11.2	11.7	14.4	11.7	15.4	12.5
pH value [1]	6.04	6.06	6.06	6.06	5.98	6.00	5.97	6.00	5.93	5.96
Kolbach-Index [%]	43.5	42.8	44.5	43.0	45.3	44.3	45.4	44.3	46.9	45.0
FAN (dry) [mg/100g]	150	140	153	143	156	144	157	155	159	148
Viscosity (8.6 %) [%]	1.46	1.47	1.45	1.46	1.46	1.47	1.46	1.47	1.45	1.47
Mealiness [%]	91.6	88.5	90.0	88.0	88.3	86.7	86.4	84.5	82.8	81.1
Modification [%]	95	95	99	95	98	89	93	92	93	92
Homogeneity [%]	83	77	91	76	84	73	77	76	82	77
β -glucan [mg/L]	121	175	143	192	145	194	158	221	174	247
α -amylase (dry) [U/g]	194	190	187	187	175	180	172	203	187	188
β -amylase (dry) [U/g]	786	793	968	948	905	836	722	832	866	876
β -glucanase (dry) [U/kg]	588	606	380	472	192	354	190	218	77	71
DMS-P (dry) [mg/kg]	6.1	4.7	6.8	5.2	6.3	4.6	5.7	4.3	5.9	4.7

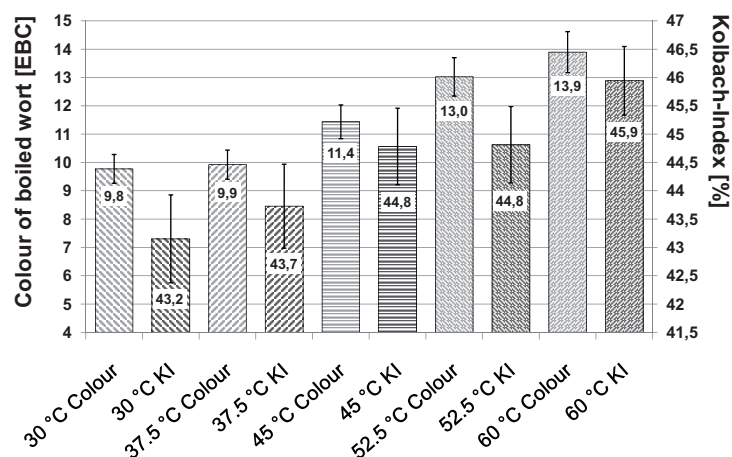


Fig. 3 Comparison of boiled wort's colour and Kolbach-Index (mean of both layers; standard deviation according to MEBAK)

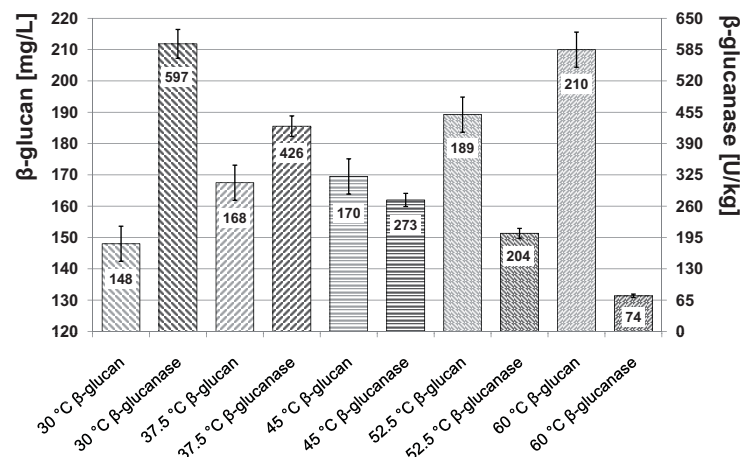


Fig. 5 Comparison of β-glucan and β-glucanase activity (mean of both layers; standard deviation according to MEBAK and Megazyme analyses)

FAN contents when applying higher withering temperatures in the present investigations (see Fig. 3). Next to the influence of the temperature, thereby more precursors for a colour formation via the Maillard reactions were available. Again, it can be proposed that the resulting increased formation of slightly acidic melanoidins led to the slight pH reduction of about 0.1 when increasing the withering temperature to 60 °C (see Table 2). This confirmed the findings of *Isebaert et al.* [14] in which lower pH values were found when applying higher withering temperatures, too. In respect to the oxidative flavour stability, these slightly higher pH values should easily be compensated by a 40 % lower colour of the more moderately withered malts. According to *Kunz et al.* [17, 18], the colour correlates very well with the content of reductones which are also generated during the Maillard reactions and were shown to act pro-oxidative by their strong reduction potential against specific oxidised metal ions like Fe^{3+} . The oxidized iron ions can be reduced in a faster reaction rate to Fe^{2+} . In logical consequence, more Fe^{2+} is available for the oxygen activation via electron transfer and the catalytic effect in the generation of pro-oxidatively acting radicals by the Fenton-/Haber-Weiss reaction systems.

Concerning the cytolytic modification, different samples' viscosities were not influenced (see Table 2) by the different applied

withering temperatures. The values were quite low and thus sufficient for all samples. The parameters mealiness, modification according to Carlsberg and the β-glucan, which are graphically shown in figure 4 and 5, imply a reduced cytolytic modification with increased withering temperatures and an optimal withering temperature between 30 and 37.5 °C. From 30 to 60 °C, the β-glucan content of the final malts was increased by about 60 mg/L. Nevertheless, also the highest value of 210 mg/L can be rated as sufficient [20]. In direct correlation, up to 8 % and 5 % higher mealiness and modification, respectively, could be observed. For the parameters mealiness and β-glucan, a linear coefficients of (a linear coefficient $R^2 > 0.94$ could be found) could be found. Surprisingly, an extreme inactivation of β-glucanases of about 88 % was observed when comparing the 30 and 60 °C-sample only resulting in an about 30 % higher β-glucan content. These results again underline an already discussed remarkable heat sensitivity of cell wall degrading enzymes [5, 6, 21, 24, 29].

In figure 6, the activities of the starch degrading enzymes α- and β-amylase are compared. It is obvious, that the α-amylase, as a relatively heat stable enzyme [3, 14], was not influenced by the withering temperature. Also the β-amylase did not show a clear trend or significant differences. *Schuster et al.* [33] claimed that the

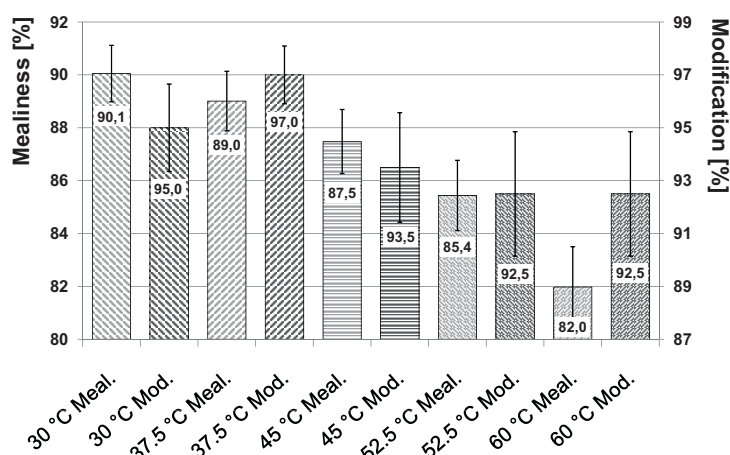


Fig. 4 Comparison of mealiness and modification (mean of both layers; standard deviation according to MEBAK)

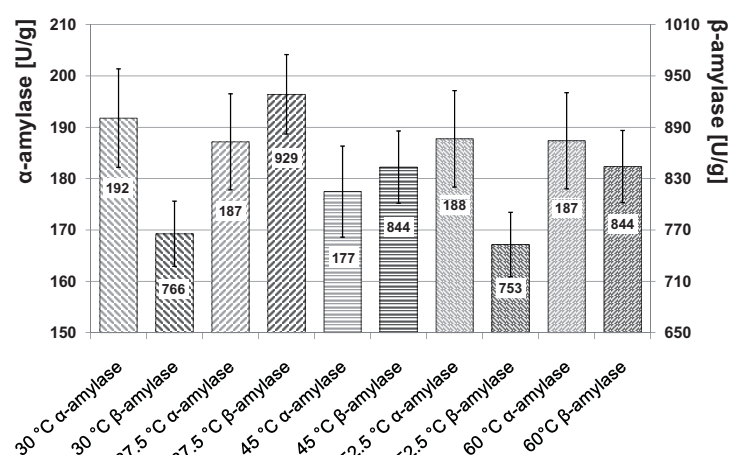


Fig. 6 Comparison of α- and β-amylase activities (mean of both layers; standard deviation according to Megazyme analyses)

β -amylase is only reduced at higher temperatures than 60 °C and the range for an optimal activity lies between 40 and 60 °C, thus this could be a reason no clear trend was observed. In combination with the results of the degrees of final attenuation, that did not show a clear trend, constant mean extract values were found (see Table 2), and thus an influence of the withering temperature on the starch degradation could not be detected in this study.

The cytolytic modification is said to correlate with the processability in terms of lautering and filtration performance in the brewing process because a too low modification can lead to lautering and filtration problem. This results from increasing the wort's viscosity and the formation of β -glucan gels which can block the pores of the beer filter [5]. Sufficient malt qualities according to MEBAK [20], in terms of the cytotoxicity describing parameters mealiness, modification, β -glucan, filtration time and viscosity, do not necessarily imply an adequate lautering time, because the lautering performance is influenced by many factors and published literature claims are ambiguous [32, 34, 36]. In present study, all analysed parameters showed values within the recommended MEBAK specifications (except colour of boiled wort for pale malt). Due to a high standard deviation of the analytical method filtration time of the congress wort, no clear trend could be observed and the values showed big variations (see Table 2). In addition, the parameter filtration time is said not to be an adequate malt quality parameter for forecasting the lautering performance of malt [32]. Therefore, the withering temperature's influence on the lautering performance was evaluated with an in-house laboratory lautering test (see materials and methods section). The results of the tests, which are evaluated by determining the total run-off volume after 300 seconds, done in triplicate, are displayed in figures 7. The results imply that there was no significant influence of withering temperatures between 37.5 and 60 °C, but a slight trend to improved lautering performances when applying higher temperatures could be observed. Despite the lowest measured β -glucan contents (see Table 2), both 30 °C-samples (top and bottom) showed a significantly reduced lautering behaviour. Therefore and due to extended kilning times, such low withering temperatures should not be applied according to the present trials. In most cases, except the 52.5 °C-samples, the malt of

the upper layers showed slightly better lautering performances which in this comparison correlated with the cytolytic modification.

4 Conclusion

By using the same deep-frozen green malt and applying constant curing program (80 °C for 4 hours) for all trials, the influence of the withering temperatures' impacts could be obtained, exclusively. Summarising the findings, varying isotherm withering temperatures between 30 and 60 °C in laboratory scale remarkably influenced the cytolytic and proteolytic modification of the final malt. When applying 30 °C, the cell wall degradation was enhanced compared to withering at 60 °C which was indicated by an about 60 mg/L lower β -glucan content as well as up to 8 % and 5 % higher mealiness and modification, respectively. Furthermore, a too high Kolbach-Index of 45.9 % could be reduced by 2.7 % and 2.2 % when applying 30 and 37.5 °C, respectively. Especially the enhanced cytolytic modification hints at a possible germination time reduction which may compensate the extended kilning time when applying more moderate withering temperatures.

Future trials should be done in pilot scale or in industrial scale to obtain if the found advantages of applying low withering temperatures can be confirmed when kilning in grain heights of 70-110 cm. Furthermore, such trials should be done trials using green malt which has not been frozen before kilning. With the present trials, the influence of different withering temperatures on the malting losses could not be investigated due to the use of deep-frozen green malt that certainly was unable to grow during the germination phase of withering. Unfortunately, a kilning procedure using lower withering temperatures should also be practicable in industrial scale malting because the malting plants normally are run with daily batches and applying low withering temperatures will probably result in kilning processes lasting longer than one day. Therefore, at least the first hours of withering should be kept at 35–40 °C when the moisture content of the green malt is still high, adhesive water is easily removed and therefore at a time when the temperature gradient is not so important for a fast and ongoing drying. This may combine the advantages of low withering temperatures by means of an enhanced cytolytic modification during the phase of still high moisture contents with a still relatively fast withering procedure in comparison to withering at low isotherm temperatures. Furthermore, applying moderate withering temperatures until a moisture content of about 20–30 %, when enzyme activities start to retard [23], may be a tool for keeping the degree of protein degradation (Kolbach-Index) low due to suppressed activities of proteases.

Acknowledgment

Gratefully acknowledgements go to the laboratory team of TU Berlin, Department of Food Technology and Food Chemistry, Chair of Brewing Science.

This research project was supported by the German Ministry of Economics and Technology (via AiF) and the FEI (Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V., Bonn, Germany). Project AiF-16299 N.

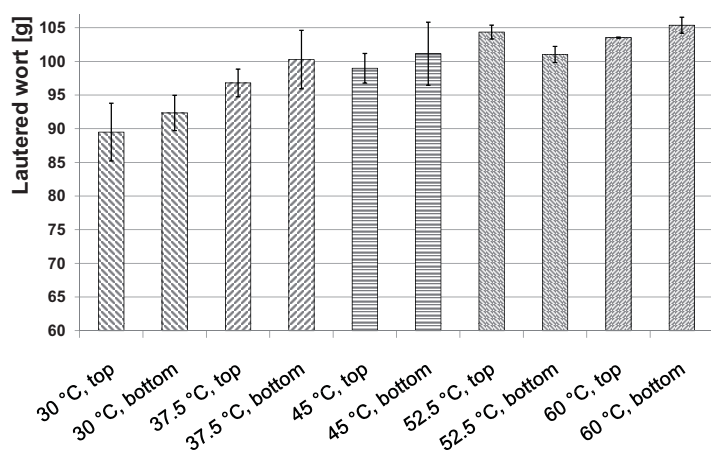


Fig. 7 Comparison of the lautering properties for the important malt samples achieving comparable malting losses, evaluated by an in-house laboratory lautering test (standard deviation of the triplicate determination)

6 References

1. Abrahamson, M.: Moisture Removal During Kilning, Proc. 15th Congr. IoB (Australia & New Zealand Sect.) (1978), pp. 247-257.
2. Anness, B. J. and Bamforth, C.-W.: Dimethyl Sulfide – A Review, J. Inst. Brew. **88** (1982), pp. 244-252.
3. Barrett, J., Griffiths, C. M. and Kirsop, B. H.: Some Effects of Malt Kilning on Wort Properties, J. Inst. Brew. **73** (1967), pp. 445-450.
4. Bathgate, G. N.: The Biochemistry of malt kilning, The Brewers Digest **73** (1973), no. 4, pp. 60-65.
5. Bourne, D. T. and Pierce, J. S.: β -Glucan and β -Glucanase in Brewing, J. Inst. Brew. **76** (1970), pp. 328-336.
6. Brunswick, P., Manners, D. J. and Stark, J. R.: The development of β -D-Glucanases during the Germination of Barley and the Effect of Kilning on Individual Isoenzymes, J. Inst. Brew. **93** (1987), pp. 181-186.
7. Dickens, C. J.: Cambridge Prize Lecture Dimethyl Sulphide – Its Origin and Control in Brewing, J. Inst. Brew. **89** (1983), pp. 41-46.
8. Dumoulin, M. and Boivin, P.: Industrial Kilning Technologies and their Influence on Organoleptic Quality of Malt, Proc. 28th EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (2001), pp. 1-10.
9. Forster, C.: Der Einfluss der Darrtechnologie auf die Malz- und Bierqualität, Dissertation, TU München (1996), pp. 55-57, 74-105.
10. Grebe, G. C. and Gusnar, M.: Optimierung des Chargenprozesses Malzdarren (II), Lebensmittelindustr. **38** (1991), no. 1, pp.15-18.
11. Gromus, J., Kretschmer, K. F. and Bellmer, H. G.: Der Einfluss verschiedener Darweisen auf die Malzqualität und die Vergärbarkeit der Würzen, Monatsschrift für Brauwissenschaft **24** (1971), no. 3, pp. 81-87.
12. Harnoy, A. and Radajewski, W.: Optimization of Grain Drying With–Rest Periods – J. agric. Engng. Res. **27** (1982), pp. 291-307.
13. Harris, G. and MacWilliam, I. C.: Chemical Aspects of Malting IV. Changes in the Carbohydrates of barley during Malting, J. Inst. Brew. **60** (1954), pp. 149-157.
14. Isebaert, L. and Van der Bekken, R.: Onderzoek Betreffende de Invloed van de Afeestings temperatuur, Int. Tijdschr. Brouw. Mout. **25** (1965/1966), pp. 99-103.
15. Isebaert, L., Van der Bekken, R., Devos, A. and Ingels, A.: Invloed van het Voordrogen bij het Eesten en van de Afeestings temperatuur, Int. Tijdschr. Brouw. Mout. **6** (1970/1971), pp. 179-185.
16. Kolbach, P. and Schild, E.: Über den Einfluss des Wassergehaltes und der Temperatur des Malzes auf die Stoffumwandlungen beim Darren, Wschr. Brauerei **52** (1935), pp. 129-134, 137-141, 147-150.
17. Kunz, T., Müller, C. and Methner, F.-J.: EAP Determination and Beverage Antioxidative Index (BAX) – Advantageous Tools for Evaluation of the Oxidative Flavour Stability of Beer and Beverages (Part 1), BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft **66** (2013), no.1/2, pp. 12-22.
18. Kunz, T., Strähmel, A., Cortés, N., Hense, W., Kroh, L. W. and Methner, F.-J.: Influence of intermediate Maillard Reaction Products with Endiol Structure on the Oxidative Stability of Beverages, J. Am. Soc. Brew. Chem. **71** (2013), no. 3, pp. 114-123.
19. Lloyd, W. J. W.: Environmental Effects on the Biochemical Phases of Malt Kilning, ASBC Journal **46** (1988), no. 1, pp. 8-13.
20. Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission. Brautechnische Analysemethoden, Band Rohstoffe, Selbstverlag der MEBAK, Freising-Weihenstephan, Germany (2006).
21. Narziß, L., Rusitzka, P. and Stippler, K.: Der Einfluss des Schwelkprozesses auf die Entwicklung der Enzyme und einiger anderer Stoffgruppen des Malzes, Proc. 14th EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1973), pp. 85-98.
22. Narziß, L. and Lintz, B.: Verfolg der Eiweißfraktionen und der proteolytischen Enzyme in Grünmalz, Schwelkmalz, Darrmalz und gelagertem Darrmalz, Monatsschrift für Brauwissenschaft **28** (1975), no. 12, pp. 360-362.
23. Narziß, L. and Stippler, K.: Der derzeitige Stand unserer Erkenntnisse über Stoffumsetzungen beim Schwelk- und Darrprozess, Monatsschrift für Brauwissenschaft **29** (1976), no. 6, pp. 177-183.
24. Narziß, L. and Stippler, K.: Der Einfluss des Schwelkverfahrens auf die herkömmlichen Analysendaten des Malzes, Monatsschrift für Brauwissenschaft **29** (1976), no. 7, pp. 199-206.
25. Narziß, L. and Stippler, K.: Über den Einfluß des Schwelkverfahrens auf die freien Kohlenhydrate und Aminosäuren, Monatsschrift für Brauwissenschaft **29** (1976), no. 9, pp. 276-281.
26. Narziß, L. and Rusitzka, P.: Über die Veränderungen der Enzyme während des Schwelkens und Darrens, Monatsschrift für Brauwissenschaft **30** (1977), no. 1, pp. 1-11.
27. Ostertag, D.: Beitrag zur Frage der Ungleichmäßigkeit des Darres, Monatsschrift für Brauwissenschaft **24** (1971), no. 8, pp. 285-299.
28. Parsons, R.: Malt Kilning Conditions and the Control of Beer Dimethylsulphide Levels, Proc. 16th EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1977), pp. 115-127.
29. Preece, I. A. and Hoggan, J.: Enzymatic Degradation of Cereal Hemicelluloses. I. Observations on the β -Glucanase System and its Development during Malting, J. Inst. Brew. **62** (1956), pp. 486-495.
30. Reinikainen, P., Räsänen, E. and Olkku, J.: A practical at-line measurement of carbon dioxide production of barley during malting process, Monatsschrift für Brauwissenschaft **49** (1996), no. 9/10, pp. 280-282.
31. Runkel, U. D.: Das Darren des Malzes und sein Einfluß auf die Malz- und Bierqualität, EBC Monograph **II** (1975), pp. 208-221.
32. Sarx, H.G. and Rath, F.: Filtration Risk Analysis – New Method for Predicting Problems in Wort and Beer Filtration, Proc. 25th EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1995), pp. 615-620.
33. Schuster, K. and Grünewald, J.: Darrprobleme, BRAUWELT **97** (1957), pp. 1446-1451.
34. Webster, R.-D.-J.: Prediction of Lautering Performance of Malt, J. Inst. Brew. **87** (1981), pp. 52-56.
35. Zahn, T.: Der β -Glucan-Abbau im Grünmalz während des Darrens, Proc. 23rd EBC Congr., Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, Germany, (1991), pp. 169-175.
36. Zürcher, Ch., Krauß, G., Eifler, K.-J. and Kursawe, R.: Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier, Mschr. Brauerei, **7** (1972), pp. 178-186.

Received 5 May 2014, accepted 1 August 2014

7.1.5 An accelerated malting procedure - Influences on the malt quality, homogeneity and malting losses (2015)

Müller, C., Methner, F.-J.

J. Inst. Brew. 121 (2), 181-192.

An accelerated malting procedure – influences on malt quality and cost savings by reduced energy consumption and malting losses

Christian Müller* and Frank-Jürgen Methner

In times of rapidly increasing energy costs and rising importance of economic efficiency, the malting industry is searching for possibilities to reduce malting time to lower their production costs and to increase production capacities. The aim of this study was to compare a step-wise optimized accelerated malting procedure, combining optimal parameters found in previous individual investigations about steeping, germination and withering with two reference malting programmes: a standard laboratory malting programme according to MEBAK and a programme applied in an industrial malting plant. For five investigated spring barley cultivars, sufficient malt qualities according to the MEBAK specifications could be achieved in a malting process that was about 2 days shorter. Despite slightly lower extract contents, resulting from slightly higher pH values and activities of the starch degrading α - and β -amylases, a reduced and thus improved proteolytic modification, improved malt homogeneities, a reduced thermal impact resulting in lower malt colours, in turn implying an increased oxidative flavour stability, and an improved behaviour of premature yeast flocculation could be observed when malting was accelerated. The lautering properties, cytolytic modifications, deoxynivalenol content and gushing potential were not influenced in a significant positive or negative way. Next to the notable production time reduction, decreased dimethyl sulphide precursor contents imply advantages for the brewing and malting industry with regard to a shorter necessary boiling and kilning time. Further significant cost savings of €1.27–4.87/t malt could be calculated owing to a reduction in the amount of electrical energy used for aerating and cooling during germination and lower malting losses, depending on the cultivar. Copyright © 2015 The Institute of Brewing & Distilling

Keywords: malting time; malt quality; malting losses; energy savings

Introduction

Malt quality is of major importance for the brewing industry. During malting, by means of a controlled germination of grain, specific enzymes are generated, which are necessary in the brewing process. Furthermore, the aims of malting are a partial, but adequate, degradation of high molecular compounds such as proteins and hemicelluloses, and especially β -glucan, in the cell walls of the grain's endosperm to achieve a sufficient processability of the malt during brewing with respect to high extract yield, proper fermentation and sufficient filtration processes.

As the first and the key step of three malting steps, the malting process is started by steeping the grain. According to Sims (1), the grain kernels start germinating at water contents >30%. The steeping regime in most cases consists of two and sometimes three immersion phases, the wet steeps, and periodic dry rests, and it takes 1–2 days. The aims of steeping procedures are to obtain a fast and homogenous water absorption and germination initiation of the grain, as an insufficient steeping performance cannot be compensated for later (2,3). The rate of water uptake to steeping degrees between 38 and 41% depends upon the steeping temperature, the steeping regime and the rate of water uptake. The latter, in turn, is dependent upon the cultivar, the crop year, the kernel size, the nitrogen content and the kernel's physiological status, such as dormancy or water sensitivity (4–6), and a sufficient oxygen supply during wet steeps and dry rests (7–9).

During germination, malt quality is influenced mainly by three parameters: germination time, steeping degree and the temperature in the grain bed (10). The duration of the germination

phase usually takes about 5 days, depending on the temperature and the water content (steeping degree) of the grain, which normally varies between 42 and 48% and is adjusted after steeping by spraying water during the first few days of germination (6,7,9,11–17).

In nature, the two production steps, steeping and germination, form a biological unit and therefore it is worthwhile considering both together, whereas in industry, both steps are mostly separated from a technological point of view (14). The steeping and germination temperatures are probably the most important influencing factors on water uptake by the grain and germination performance (18). The literature suggests relatively low temperatures of 12–17°C during steeping (14,15,19,20) and germination (10,15,16,21) to produce high-quality malt and to keep malting losses low owing to growth inhibition and respiration of the grain. For producing industrial-scale malt in batches of up to 300 t, during recent decades economic considerations have led to studies on shortening the process time of 7–8 days, including the kilning, to save energy, with the malt quality being kept high and malting losses as low as possible. Higher steeping temperatures lead to a faster water uptake and a more rapid initiation of germination

* Correspondence to: C. Müller, Department of Food Technology and Food Chemistry, Technische Universität Berlin, Seestraße 13, 13353 Berlin, Germany. E-mail: c.mueller1516@googlemail.com

Department of Food Technology and Food Chemistry, Technische Universität Berlin, Seestraße 13, 13353 Berlin, Germany

and higher germination temperatures lead to faster germination performance and growth (7,22–25,33). This is an important basis for a possible germination time reduction. Nevertheless, in most cases, non-negligible disadvantages such as decreased extract yields (10,12,16,22,26–29) and markedly higher malting losses (3,10,23,26,27,29,30) have been found. Regarding the generated enzyme activities, contrary findings have been shown. In some trials, various enzyme activities increased when applying higher steeping temperatures (13,25) and other studies found the opposite (3,16,21,26,28–31). Proteolytic modification is said to be reduced at higher germination temperatures resulting in lower free amino nitrogen (FAN) and soluble nitrogen content and thus decreased Kolbach indices, which can be insufficient for adequate yeast nutrition and foam stability in the final beer (12,16,21,28,29). In addition, Baxter and coworkers (13,26) and Reeves *et al.* (25) observed an impaired filterability of mashes produced from warm steeped and germinated malt. On the other hand, a generally improved cytolytic modification could be observed when applying increased steeping and germination temperatures, as shown by several authors (10,12,21,22,26–29,31,34). Sommer (10) evaluated the results of Schilfarth *et al.* (32) and Weith (21) regarding the influence of increased germination temperature for accelerating cytolytic modification with regard to economic efficiency. It was stated that increasing the temperature by 1°C resulted in approximately 0.3% higher malting losses and 0.4% lower extract yields, and thus, for reasons of economic efficiency, it was advised not to germinate at higher temperatures.

Contrary to the described findings, previous investigations performed at the Technische Universität Berlin (33) showed more positive results regarding the influence of the steeping and germination temperature on the resulting overall malt quality and homogeneity. As background for the present work, the main results are summarized in the following.

Trials in which the steeping temperature was varied between 15 and 35°C showed faster germination rates, higher germination energies and improved malt qualities as well as increased malt homogeneities in comparison to the reference temperature of 15°C, when applying steeping temperatures up to 30°C (33). Furthermore, the lautering performance of the produced malts, evaluated by an in-house laboratory lautering test, was improved or equal when using a steeping temperature of up to 30°C. The optimal steeping temperature in the trials was shown to lie between 20 and 25°C and resulted in a more rapid start of the germination, thus promoting an earlier onset of the cytolytic modification of the barley, which, in turn, led to the highest malt quality and homogeneity. The malting losses only increased slightly when applying higher steeping temperatures and a time reduction of the germination process appeared to be possible.

In other trials, Müller *et al.* (34) varied the germination temperature between 16 and 28°C, to assess the influence of the temperature on the germination performance and thus the resulting malt quality and malting losses. Samples were kilned after 3, 4, 5 and 6 days after steeping. Applying a germination temperatures of up to 24°C compared with 16°C led to a faster start of germination, improved malt quality, and in particular, enhanced cytolytic modification, indicated by the parameters of mealiness, modification of malt according to Carlsberg, and congress wort β -glucan content and viscosity. Improved homogeneities were achieved in a shorter germination time when germinating warmer without a marked increase in malting losses. The optimal germination temperature lay between 20 and 24°C. A further aim of this study was to ascertain the necessary germination time reduction when applying higher

germination temperatures in order to achieve similar or lower malting losses compared with the reference sample, which was germinated for 5 days at 16°C. Thereby, malting losses could be compensated for by shortening the process by 1 or 2 days, depending on the temperature of 20 or 24°C, respectively. Proteolytic modification, as determined by the soluble nitrogen content, Kolbach index and FAN, was also reduced, but was still within the recommended MEBAK specifications (35). Furthermore, for the malt samples germinated at temperatures higher than 16°C, no lautering problems were detected. The only disadvantage found was a decreased extract yield when germinating at higher temperatures, which has also been determined by others (10,12,16,26–29).

A reason for the contrary findings of Müller *et al.* (33,34,36) in comparison to previous publications about applying higher steeping and germination temperatures might be the fact that all of these investigations were carried out between 25 to 50 years ago and thus the results appear not to be as valid with today's barley cultivars. The actual barley cultivars, whose properties have steadily been improved by breeding during the last decades, may be less heat sensitive and more suitable for the application of high steeping temperatures. Furthermore, in many of the former investigations, old-fashioned steeping regimes were applied, using short dry rests, which should be avoided according to Narziß *et al.* (17,28), as well as extended wet phases, which can cause stress for the barley owing to the diminished availability of oxygen.

In another study, Müller *et al.* (36) investigated the influence of the steeping regime using elevated steeping and germination temperatures found in previous studies that recommended steeping as well as germination temperatures between 20 to 25 or 24°C, respectively (33,34). Therefore, the duration of the wet steep was varied to find the highest cytolytic modification. An optimal steeping regime was found to be a first wet steep of 5 h (and up to 6 h) and a quite short second wet steep of 20–90 min.

During kilning, the step after germination, the green malt is dried and the moisture content of 42–48% is reduced to 3–6%, to interrupt germination and growth and to ensure that the easily perishable green malt is storable (37,38). The green malt is first pre-dried by blowing air, with moderate temperatures between 50 and 65°C, through the grain bed. This first of two steps during kilning is called withering and it is important to achieve the highest possible enzyme activities in the malt, as these are mandatory for the later brewing process. During withering, enzyme formation is accelerated and many biochemical reactions (e.g. the enzymatic degradation of cell wall substances hemicelluloses and protein) occur, especially at the stage where there is still a high grain moisture content during the first hours of withering. Thus temperature has a significant influence on final malt quality. After withering, when a moisture content of 10–15% is reached, the malt is cured at higher temperatures (between 75 and 105°C for some hours) depending on the desired type of final malt product. At that stage, the enzymes are more robust against higher temperatures owing to the lower humidity in the grain (38–42).

Bathgate (43) and Harris *et al.* (44) claimed a notable β -glucan degradation during kilning. Properly cytolytically modified malt is important for filtration performance during brewing as β -glucan can form gels, which block the pores of the beer filter (45). Owing to a relatively high heat sensitivity of the hemicellulose degrading enzymes, especially the *exo*- β -glucanases (45–49), withering plays an important role regarding the extent of the cytolytic modification during this enzyme activity-accelerating phase. Therefore,

many investigations (39,47,48,50–52) showed increasing cytolytic modification when lower temperatures were applied during kilning, especially during withering.

Müller *et al.* (53) studied the influence of extreme low withering temperatures, down to 30°C, on the resulting cytolytic and proteolytic modification of the final malt. For this, pilot-scale withering trials applying isotherm temperatures between 30 and 60°C were carried out, whereby the curing process was kept constant for all trials. An optimal withering temperature regarding the proteolytic and cytolytic modification was found to range between 30 and 37°C. Cytolysis was enhanced and proteolysis remained low in comparison to higher temperatures. The disadvantages of lower withering temperatures were a notable extended kilning time and higher energy consumption for the kilning fan. Therefore, it was recommended to maintain a withering temperature of about 37–45°C for at least the first hours of withering, when the moisture content of the green malt is still high, and adhesive water is easily removed and at a time when the temperature gradient is not as important for a rapid and ongoing drying. This combines the advantages of a low withering temperature by means of an enhanced cytolytic modification during the phase of still high moisture content, with a still relatively rapid withering procedure, in comparison to withering at a low isotherm temperature (53).

The aim of the present study was to develop an accelerated malting programme within a 5 day process, instead of the 7 or 8 day process that is the industrial standard when there is no addition of growth enhancers such as gibberellic acid. Therefore, the findings of previous investigations for an optimal steeping temperature (33), a suitable steeping regime (36) and the optimal germination (34) and withering temperatures (53) were united into one malting process in order to combine the observed advantages for achieving a maximum reduction in process time by shortening the germination time.

Materials and methods

Small-scale maltings

Three different accelerated malting programmes were compared with a common industrial programme (trials I–III) and the laboratory malting regime according to the procedure of MEBAK (35) (trial I), in order to evaluate the resulting malt quality and homogeneity. For this, five two-row spring barley cultivars (Table 1) were used.

The trials were performed, in duplicate, in a small-scale malting plant (system model A1-2008, no. 176/1, Schmidt-Seeger, Beilngries, Germany). The automated malting plant consisted of a combined steeping/germination unit, with a maximum load of eight baskets of 800 g each and an accordingly adjusted kilning unit. The steeping/germination unit was equipped with a box containing the eight baskets and housed in an insulated floodable chamber. The box was ventilated with tempered and humidified

air and was periodically rotated (every 6 h) to avoid the formation of clusters. During germination, the water content of the samples was checked daily by weighing the germination baskets and calculating the steeping degree with reference to the dry matter. Afterwards, the amount of water for adjusting the aimed steeping degree was calculated by the actual steeping degree and initial barley weight and moisture. Water was sprayed onto the grain bulk on the first (twice) and second germination day (only a small correction was necessary). The rootlets of the kilned malt were removed with an automated sample cleaner (model SLN, Pfeuffer, Kitzingen, Germany) and the removed rootlets were weighed for the determination of loss.

In trial I, the barley cultivar Marthe was aerated only periodically during the dry rest (11 min rest, aeration for 4 min) and sprayed with water every 4 h, whereas in trials II and III the grain was continuously aerated and no spray was applied during the dry rest. After dry rest, on the first and second germination day, the percentages of chitted and forked grains were counted to monitor the germination performance and homogeneity, as influenced by the different steeping and germination regimes. The malting parameters of the different trials and malting programmes are summarized in Table 2.

For optimizing the accelerated programme 1, the steeping and germination temperatures were lowered slightly in trial II, owing to a too high malting loss compared with the reference malts in trial I. A further optimization of accelerated programme 2 was performed by slightly increasing the temperature during the first hours of withering to compensate for the low proteolysis found in trial II. Additionally, the steeping regime was changed according to the results of Müller *et al.* (36) and the germination temperature was slightly reduced again to compensate for the increased malting loss, which was expected owing to the faster germination start resulting from the changed steeping regime. Further information is given below.

Analytical methods

Barley analyses. The analysis of water content, protein content, germinative energy and water sensitivity of the barley were performed according to MEBAK (35). To verify the results, all analyses were performed in duplicate.

Malt analyses. The analyses of moisture, extract, filtration time, colour of boiled wort, thiobarbituric acid index (TBI), pH value, dimethyl sulphide precursor (DMS-P), total and soluble nitrogen, Kolbach index, FAN, friability, glassiness, β -glucan, modification and homogeneity according to Carlsberg, homogeneity of the acrospire length and modified gushing test were performed on the malt according to MEBAK (35). The malt enzyme activities of α - and β -amylases, β -glucanases and proteinases were determined by commercial assay kits (Megazyme, Bray, Ireland). All analyses were performed in duplicate.

Table 1. Trials using two-row spring barley cultivars

Trial	Barley cultivar	Origin	Crop year	Moisture content (%)	Protein (%)	Germinative energy (%)	Water sensitivity (%)
I	Marthe	Germany	2010	13.9	10.5	98	35
II, III	Propino	Germany	2012	12.6	10.3	98	24
II, III	Grace	Germany	2011	14.2	10.8	95	48
II, III	Scarlett	Argentina	2011	12.7	10.5	99	7
II, III	Tipple	Belgium	2010	13.5	9.2	96	26

Table 2. Malting programmes: MEBAK laboratory malting (35), example of an industrial malting and three accelerated malting programmes (WS = wet steep, DR = dry rest)

Malting programme/trial	Barley cultivar	Steeping programme	Germination programme	Kilning programme	Steeping time	Germination time	Kilning time	Total time
MEBAK (35)/I	Marthe	WS 5 h 14°C DR 19 h 14°C WS 4 h 14°C	116 h 14°C	16 h 50°C 1 h 60°C 1 h 70°C 5 h 80°C 1 h 60°C 12 h 65°C 1 h 70°C	28 h	116 h	23 h	167 h
Industry/I–III	All	WS 4 h 14°C DR 15 h 16°C WS 2 h 14°C	24 h 18°C 24 h 16°C 77 h 15°C	1 h 75°C 1 h 80°C 2 h 84°C ½ h 84°C	21 h	125 h	18½ h	165 h
Accelerated 1/I	Marthe	WS 3 h 23.5°C DR 18 h 22°C WS 1¾ h 21°C	11 h 21°C 17 h 22°C 31 h 22.5°C 14 h 20.5°C	7 h 35°C 4½ h 40°C 3 h 45°C 2 h 50°C 2 h 55°C	22¾ h	73 h	25 h	121 h
Accelerated 2/II		WS 3½ h 22°C DR 18 h 21°C	11 h 20°C 24 h 22°C 24 h 21°C	1½ h 60°C 4 h 80°C 1 h 82°C	24 h	74 h		123 h
Accelerated 3/III (slightly increased steeping degree)	Propino, Grace, Scarlett, Tipple	WS 5½ h 22°C DR 18 h 21°C WS 1¼ h 20°C	8 h 20°C 24 h 21°C 42 h 20°C	6½ h 37.5°C 4½ h 40°C 2½ h 45°C 2 h 50°C 2 h 55°C 1½ h 60°C 4 h 80°C 1 h 82°C	24¾ h	74 h	24 h	123 h

Premature yeast flocculation. The produced malts were evaluated by the Asahi test according to Jibiki *et al.* (54), in duplicate.

Deoxynivalenol. The produced malts were evaluated using the Veratox 5/5 quantitative deoxynivalenol (DON) test kit (Neogen, Lexington, USA).

Laboratory lautering test. To obtain further information about the processability of the produced malt, an in-house laboratory lautering test method was used to determine the lautering properties of the mashes produced from the respective malt samples. The lautering test was performed in triplicate at 20°C using a Filtercheck®-apparatus (Stabifix, Gräfelfing, Germany). A 50 g aliquot of malt was ground with a DLFÜ-mill (Bühler, Uzwil, Switzerland) at a disc gap of 0.8 mm and mashed in with 180 mL bi-distilled water at 45°C. For mashing, the congress mashing apparatus (Bender & Holbein, Bruchsal, Germany) and regime according to MEBAK (35) were used. After cooling the mash to 20°C, bi-distilled water was added to the mash to adjust the beaker content to 200 g. After filling the mash onto a steel mesh with a gap size of 0.25 mm placed on the bottom of the Filtercheck®-apparatus, followed by a lautering rest of 2 min, the filtrate was collected on a scale for 300 s and the filtrate volume was recorded during the test and

afterwards plotted against the lautering time. The curves provided information about the malt's lautering properties.

Results and discussion

In trial I, the fastest germination performance and germination homogeneity, evaluated by the percentage of germinated kernels (germinative energy) one day after steeping in, on first and second germination day, could be observed for the accelerated steeping regime followed by the industrial steeping regime (Fig. 1a). Owing to the 7–11°C higher steeping temperatures applied in the accelerated programme, the percentage of chitted kernels was doubled after just 24 h. The germinative energy applying the MEBAK programme was significantly lower on the second germination day, which can be explained by the lowest applied germination temperature of 14°C compared with the higher temperatures of 18/16 and 21/22°C of the industrial and accelerated germination programmes, respectively.

The results of trials II and III confirmed these findings (Fig. 1b). In comparison to the industrial malting programme, the accelerated programmes (trials II and III) again led to a considerably faster germination initiation for all of the barley cultivars. Steeping according to the industrial programme resulted in no apparent

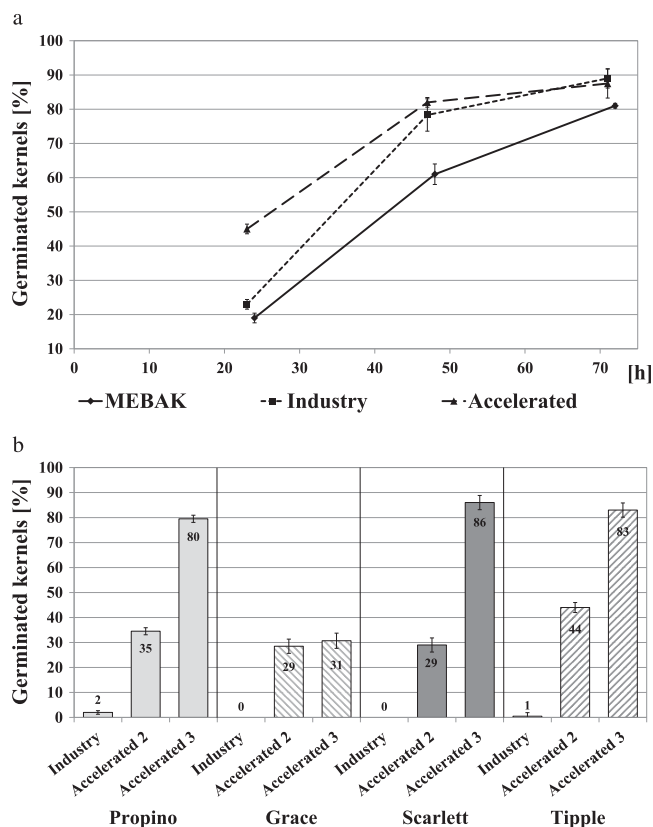


Figure 1. (a) Germination energies 1, 2 and 3 days after steeping in (standard deviation of duplicate determination) – trial I. (b) Germination energies 18 h after steeping in (standard deviation of duplicate determination) – trial II + III.

germination after 18–19 h. The positive influence of increasing steeping temperatures has already been shown by several authors (4,33,55), who claimed that warm steeping improves water distribution within the kernels, which is important for a simultaneous germination start that serves as a basic requirement for shortening the malting process. Comparing the two accelerated steeping regimes (trials II and III), programme 2 showed germinative energies of 29–44% and programme 3 germinative energies up to 86% after dry rest for the barley cultivars Propino, Scarlett and Tipple. The only difference in the steeping regimes was an extended first wet steep from 3.5 to 5.5 h, and a shortened second wet steep from 120 to 75 min, resulting in steeping degrees up to 1.1% higher after dry rest (Table 3). As Dietrich (7), Sims (1) and Müller *et al.* (36) have stated, a higher initial steeping degree yields a faster germination performance, thus the duration of the first wet steep influenced the start of germination significantly. Müller *et al.* (36) found a strong linear correlation ($R^2 = 0.96$) between the duration of the first steep and the moisture content after dry rest in laboratory trials. Nevertheless, no differences could be detected for the barley cultivar Grace. Possibly, Grace's high water sensitivity of 48% (Table 1) compensated for the positive influence of the chosen wet steep duration owing to a slightly higher growth inhibition. The MEBAK and industrial steeping regimes in trial I resulted in proportions of chitted kernels of about 20%, compared with almost no germination when applying the industrial programme in trials II and III. This might be explained by varietal differences, or by the 6 h delay in the counting of chitted kernels. Another reason could be the dry rest procedure of trial I, in which the grain was periodically sprayed with water every 4 h, resulting in higher steeping degrees before the second wet steep, in turn resulting in an enhanced start of germination.

In general, all malts showed analyses parameters within the specifications of MEBAK and thus the accelerated malting programmes succeeded in achieving adequate overall malt quality. Nevertheless, the advantageous and disadvantageous of the accelerated malting programmes, resulting in malt quality differences, are discussed in the following.

A lower extract, which was observed for all of the accelerated produced malts, with differences of 0.5–1.5% and up to 1% considering the malts of the final optimization step, is indeed disadvantageous for the brewing industry, but it does not affect the maltster, as in all cases sufficient values within the MEBAK specification were found. Causes for the lower extracts might have been the slightly higher pH values in the congress mashes produced from the accelerated produced malt, resulting in lower activities of the starch-degrading enzymes α - and β -amylase (57) during mashing and lower α - and β -amylase activities in general (Table 3). The latter can be explained by the findings of Müller *et al.* (34) and other authors (21,26,28,29,31,58) in which a more rapid enzyme formation at higher germination temperatures, but lower maximal values when reducing the germination time, were found. Comparing the accelerated malt produced in trials II and III, this thesis could be confirmed by the slightly higher extracts in trial III caused by the germination temperature, which was slightly decreased (Table 2). Higher steeping temperatures of up to 25°C (33) and lower withering temperatures down to 30°C (53) did not notably influence enzyme activities. Schuster and Grünwald (59) observed that the β -amylase, as indicated by the diastatic power parameter, was only reduced at withering temperatures >60°C and that the optimal range was between 40 and 60°C.

The protease activity (only analysed in trial I) was positively influenced by increasing the temperature during steeping and germination. The accelerated malting programme showed the highest protease activity followed by the industrial programme. Nevertheless, proteolytic modification was reduced by 5–12% when applying the accelerated malting programmes compared with the industrial malts of all trials, as indicated by the soluble nitrogen content. The Kolbach indices were closer to the recommended Kolbach index optimum of 40% (35). This can be explained by the shorter germination time, the higher germination temperature (16,21,28,29,34,58) and lower withering (38,41,53,60–62) temperature. The proteolytic enzymes, especially the carboxypeptidases and endoproteases, are known to have relatively high heat stability and higher catalytic activity at higher temperatures (>50 and up to 70°C). Higher withering temperatures resulted in higher Kolbach indices and higher FAN contents.

According to MEBAK (35), the barley malt FAN content should lie between 120 and 160 mg/100 g malt. Too low values could be observed for malts produced according to the accelerated programme 2 (trial II). Low values can lead to fermentation problems owing to insufficient yeast nutrition. Additionally, the high proteolysis found in the reference samples can negatively influence the flavour stability of the beer as amino acids serve as precursors for the formation of staling-related compounds via oxidation processes (63). To compensate for the low FAN content resulting from accelerated programme 2, the germination temperature was slightly decreased (Table 2) and the target steeping degree was slightly increased for programme 3, depending on the barley cultivar (Table 3), as higher steeping degrees have an enhancing effect on proteolytic modification (12,15,19,27) of about 20–50 mg/L soluble nitrogen per 1% increase, independent of the germination time (12). The latter was observed in the present study too. To support an increase in proteolysis in the accelerated malting

Table 3. Steeping degree (SD) and malt analysis (comparison of the accelerated malting programmes with the industry programme)

Trial		I	I	I	II/III	II	III
Programme		MEBAK	Industry	Accelerated 1	Industry	Accelerated 2	Accelerated 3
Barley cultivar		Marthe	Marthe	Marthe	Propino	Propino	Propino
Malting time	h	167	165	121	165	123	123
SD after dry rest (before second wet steep)	%	More or less wet owing to spraying every 4 h			30.8	32.5	33.3
SD after steeping (before first spray)	%	40.8	41.9	40.9	37.2	41.8	38.2
Adjusted SD	%	45.5	45.5	45.5	45	45	46.5
Extract (dry) ^{X1}	%	81.4	81.6	81.1*	82.9	81.4**	82.1*
Filtration time	min	27	36	35	40	52	25
Colour of boiled wort ^{X1}	EBC	5.4	7.2	5.3**	6.6	5.2**	5.3**
TBI	1		n. a.		13	n. a.	9
pH value ^{X1}	1	5.93	5.91	5.91	5.90	5.96*	5.94*
DMS-P ^{X2}	mg/kg		n. a.		4.5	4.0	4.4
Soluble nitrogen ^{X1}	mg/100 g	684	718	682*	702	601*	670
Kolbach index ^{X1}	%	42.0	43.0	41.4*	42.7	37.4**	40.0**
FAN (dry) ^{X1}	mg/100 g	126	140	119*	149	97**	133*
Viscosity (8.6%) ^{X1}	mPa s	1.56	1.51	1.54*	1.43	1.48**	1.47**
Friability ^{X1}	%	80.6	85.9	86.1	90.8	88.5*	93.8**
Glassiness ^{X1}	%	1.1	1.2	1.2	0.1	0.4*	0.2
β -Glucan (dry) ^{X1}	mg/100 g	397	295	258**	180	187*	156**
Modification (Carlsberg) ^{X1}	%	88.1	95.7	97.4*	92.0	98.0**	97.0*
Homogeneity (Carlsberg) ^{X1}	%	70.7	81.9	84.7	77	88*	87*
Homogeneity (acrosipire) ^{X3}	%	78.2	90.5	90.3	83.3	n. a.	88.0*
α -Amylase (dry) ^{X4}	U/g	139	177	205**	270	212**	203**
β -Amylase (dry) ^{X4}	U/g	684	762	764	877	807*	739**
β -Glucanase (dry) ^{X4}	U/kg	369	163	493***	254	559***	515***
Proteinase (dry) ^{X4}	U/kg	67	72	84**		n. a.	

TBI, thiobarbituric acid index; DMS-P, dimethyl sulphide precursor; FAN, free amino nitrogen; Confidence coefficient using *t*-test: * 95%, ** 99%, *** 99.9%. X1, Repeatability given by MEBAK (35); X2, 15.4% s. d. according to Barnett *et al.* (56); X3, s. d. given by each duplicate determination; X4, s. d. 5% according to Megazyme, Bray, Ireland. s. d., standard deviation; n. a., Not analysed.

programme 2, the withering temperature during the first hours of withering was increased by 2.5°C.

Owing to the lower FAN content, which comprises precursors for Maillard reactions forming colouring substances (e.g. melanoidins), the colours of the boiled congress worts produced from the accelerated produced malts were 1.3–2 EBC units, or expressed in percentages, 25–31% lower compared with the reference malts produced according to the industrial programme (50–52,60). Underlying this theory, the values of TBI, indicating the heat impact during kilning by determining 5-hydroxyl methyl furfural and several other reaction products of the Maillard reactions (35), were 8–38% lower. Additionally, the lower formation of melanoidins, which are slightly acidic, resulted in up to 0.1 higher pH values in the congress worts produced from the accelerated malted samples in comparison to the MEBAK and industry programmes. Isebaert and Van der Bekken (50) also found lower pH values when applying higher withering temperatures. Thus the applied kilning programmes appear to be the influencing factor for higher pH values.

According to Kunz *et al.* (64–66), the colour and TBI correlate well with the content of reductones, which are also formed during the Maillard reactions. These have been demonstrated to act pro-oxidatively owing to their strong reduction potential against specific oxidized metal ions such as Fe³⁺. The oxidized

iron ions, in turn, can be reduced to Fe²⁺ in a faster reaction rate. As a consequence, more Fe²⁺ is available for the oxygen activation via electron transfer and the catalytic effect in the generation of pro-oxidatively acting radicals during the Fenton and Haber–Weiss reactions. Therefore, the lower colour and TBI hint towards a positive influence on oxidative flavour stability of the final beers produced with the accelerated produced malt. In contrast to the lower colour, the slightly higher pH values found may influence the oxidative flavour stability negatively (67) owing to enhanced Fenton/Haber–Weiss reactions, probably resulting in a moderately increase in radical formation. However, when evaluating the findings of Kunz *et al.* (64–67) with regards to the results of the present study, the positive effect on a theoretically improved oxidative stability owing to a decreased content of reductones should be notably higher than the negative effect of the slightly higher pH values. In summary, the accelerated malting programme appears to be advantageous regarding oxidative flavour stability. This should further be investigated in future trials. In combination, the influence on the lipoxygenase activity should also be studied owing to its relevance in the beer-aging process.

Concerning the cell wall degradation of the endosperm, cytolytic modification-describing parameters of viscosity, β -

Table 3. (Continued)

II/III Industry Grace	II Accelerated 2 Grace	III Accelerated 3 Grace	II/III Industry Scarlett	II Accelerated 2 Scarlett	III Accelerated 3 Scarlett	II/III Industry Tipple	II Accelerated 2 Tipple	III Accelerated 3 Tipple
165	123	123	165	123	123	165	123	123
31.0	33.1	33.1	28.8	31.2	31.4	32.9	34.2	35.3
37.4	42.0	39.1	36.9	41.3	37.2	39.4	42.3	39.8
45	45	46	45	45	46	45	45	45.5
82.1	81.3*	81.4*	82.3	81.0**	81.4**	83.6	82.1**	82.5**
25	24	30	22	20	35	30	70	50
6.3	5.2**	5.0**	7.1	5.5**	5.3**	6.8	6.3**	4.9**
11	n. a.	8	13	n. a.	8	12	n. a.	11
5.88	5.97*	5.93*	5.97	6.09**	6.07*	5.92	5.97*	5.98*
6.1	5.3*	5.2*	7.3	5.9*	6.2*	4.6	3.6*	3.8*
744	619**	694*	724	600**	634*	686	575*	635*
43.4	37.2**	40.7**	43.7	37.0**	37.9**	47.6	39.9**	44.1**
134	100**	135	133	97**	122*	154	104**	131**
1.46	1.49*	1.49*	1.46	1.52**	1.51**	1.47	1.47	1.49*
87.4	86.2*	89.3*	86.3	87.5*	91.2**	87.3	88.7*	89.3*
1.0	1.1	1.1	0.5	0.6	0.4	1.0	0.9*	1.0*
200	246**	257***	159	151*	172*	197	128***	160**
88.5	94.4*	95.6*	90.0	95.0*	94.0*	92.0	98.0**	96.0*
71	73	79*	74	80*	78*	79	89*	82
69.5	n. a.	74.1**	91.0	n. a.	91.7	82.0	n. a.	87.0*
264	212**	233*	316	290*	289*	250	212*	226*
995	912*	904*	700	702	761*	758	727*	726*
225	669***	598***	314	892***	869***	368	746***	666***
	n. a.			n. a.			n. a.	

glucan, mealiness and modification were influenced differently. However, all malts produced by the accelerated procedures showed sufficient values within the MEBAK recommendations (Table 3). The congress wort viscosities were slightly higher compared with the reference samples malted according to the industrial malting programme, despite the diversified β -glucan content. Values were 25–60 mg/100 g malt lower for the barley cultivars Marthe, Propino, Tipple, but 10–60 mg/100 g higher for the cultivars Scarlett and Grace. The latter had the highest water sensitivity of the cultivars (48%, see Table 1) and this might be a reason for the approximately 60 mg/100 g higher β -glucan content. Water sensitivity may also have a great influence on the barley's behaviour regarding accelerated malting. This was not investigated in the present study owing to the relatively low sensitivities of all of the barley cultivars used. An influence of accelerated malting when processing water-sensitive barley cultivars should be investigated in future trials.

The parameters of mealiness and modification according to Carlsberg generally implied an improved cytolytic modification when malting was accelerated even though the β -glucan parameter did not show a clear trend. Nevertheless, it can be assumed that a comparable to improved cytolytic modification, despite the 2 days shorter malting time, resulted from the applied malting parameters found in the prior investigations of Müller *et al.* (33,34,53). Steeping at temperatures up to 25°C compared with 15°C, germinating at 20–24°C instead of 16°C and withering at

30–37.5°C compared with 60°C were shown to result in a faster cytolytic modification. Also other authors found an enhanced cell wall degradation when steeping (22,26) and germinating at higher temperatures (10,21,32) and at lower withering temperatures (41,42,68). The found optimal parameters combined in the accelerated malting programmes succeeded sufficiently in the shorter process.

In order to further improve the accelerated malting programme 2, the first wet steep was increased from 3.5 to 5.5 h, and at the same time the second wet steep was shortened to 1.25 h in trial III. Prior investigations (36) regarding the influence of the steeping regime, while applying steeping temperatures between 20 and 22°C, showed enhanced cytolytic modification with first wet steeps of 5–6 h, followed by a short second wet steep. In the present study, these modifications may have compensated for the decreased cell wall degradation by reducing the germination temperature and increasing the temperature during the first hours of withering to increase proteolysis (accelerated programmes 2 and 3; see Table 2).

Surprisingly, about 2- to 3-fold higher β -glucanase activities were seen in the accelerated produced malts compared with the reference malt, without affecting the β -glucan degradation to the extent found in previous investigations when low withering temperatures were applied (53). Higher β -glucanase activities can be advantageous in the brewing process owing to current high mashing in temperatures, which are higher than the optimal range for the β -glucanases. Thereby, the β -glucan may be degraded to a

higher extent during short mashing regimes. This should also be further investigated.

The influence of the different malting programmes on the resulting homogeneity of the final malts was determined using the Calcofluor method according to Carlsberg and additionally the homogeneity of acrospire length was evaluated (35). Despite the high standard deviations of both methods, some significant differences could be observed. Both methods showed considerably higher homogeneities for all of the accelerated produced malts in comparison to the samples malted according to the MEBAK and industrial programmes. Confirming the results of a prior study about the exclusive influence of a higher steeping temperature on homogeneity (33), the higher steeping temperatures applied in the accelerated malting programmes of the present study can be stated to be the main cause for the improved malt homogeneity. Axcell *et al.* (4) and Home *et al.* (55) claimed that warm steeping improves water distribution within the kernels, which is important for a simultaneous germination start. This may also explain the improved germination performance when applying higher steeping and germination temperatures. During germination, water sprayed onto the green malt should be more evenly distributed and taken up more rapidly. According to Aalbers *et al.* (2), homogeneity generally provides information about the steeping process and the resulting germination performance of barley and should not be influenced during kilning. However, Müller *et al.* (53) found indirect hints for improvement of homogeneity when applying relatively low withering temperatures. The β -glucan, Kolbach index and colour showed greater differences between the upper and lower grain layer in the kiln at higher temperatures, thus the inhomogeneity of the kilning process should be reduced when applying lower withering temperatures owing to more comparable conditions for more even biochemical and chemical reactions in the different grain layers (40,42).

In addition to the other findings, accelerated malting led to a lower concentration of the DMS-P *S*-methyl methionine, analysed for malts of trials II and III. DMS-P is synthesized during germination, mainly in the germ of the kernel (69), and is mostly degraded to volatile DMS during kilning. The degradation is accelerated by higher withering and curing temperatures and depends on the curing time (53,70,71). Yang and Schwarz (72) and Dumoulin and Boivin (71) could not find any important DMS-P degradation up to a withering temperature of about 65°C. According to this and because the curing programmes were comparably long and tempered (industry: 1 h 75°C, 1 h 80°C, 2 h 82°C, 0.5 h 84°C; accelerated: 4 h 80°C, 1 h 82°C), the lower DMS-P in the accelerated produced malts must have been mainly influenced by the germination parameters. Yang and Schwarz (72) observed an increased formation of DMS-P during germination when changing the temperature from 16 to 20°C. Varying the steeping degree from 43 to 46% did not lead to significant differences in the DMS-P formation during germination. Dethier *et al.* (69) found a formation of DMS-P about 2-fold higher when germinating for 6 instead of 4 days, whereas the synthesis first started significantly on the third germination day when steeping and germinating at 14°C and at a steeping degree of about 46%. Indeed, DMS-P formation should be faster when malting is accelerated by applying raised temperatures, but the influence of the temperature appears to be much lower than the germination time. In the present study, the reduced DMS-P content in all of the accelerated malted samples resulted from a shorter applied germination time. A lower DMS-P value can be an advantage for the malting and brewing industry, owing to possible energy savings by a kilning and boiling time reduction.

Regarding the malting yield in trial I, accelerated malting increased the malting loss by 1 and 2% compared with the malts produced according to the industry and MEBAK programmes, respectively. Therefore, the applied steeping and germination temperatures and withering at lower temperatures, which were the basis for the malting time reduction of about 2 days, were only sufficient for malt quality as the loss could not be compensated for by the germination time reduction in trial I. Owing to the notable financial potential of the malting loss (Table 5), accelerated malting programme 1 was further improved by slightly reducing the steeping and germination temperatures in trial II (Table 2), resulting in a similar or lower malting loss compared with the industrial programme with the exception of the Scarlett malt cultivar.

Further optimizing the accelerated malting, programme 3 succeeded for all barley cultivars. The first wet steep was extended and the second steep shortened to further improve cytolytic modification (36), while the germination temperature was decreased slightly to compensate for the expected increase in malting loss. Furthermore, the initial withering temperature was increased to further decrease the loss, by reducing growth during the first of the three kilning phases (37,40,41,43). Reinikainen *et al.* (73) demonstrated a 2- to 4-fold respiration by measuring the CO₂ production during the first hours of withering compared with the germination, proving enhanced growth in the germination phase and that withering at higher temperatures resulted in a lower malting loss (59). The lower loss observed in trial III was confirmed by the slightly higher extracts compared with those of trial II, which can be explained by the lower respiration and growth during germination at the slightly lower temperature and withering at the slightly higher temperature (Fig. 2). Owing to a high standard deviation of the analytical filtration method time of the congress wort, no clear trend could be observed (Table 3).

In addition, the parameter of filtration time is not an adequate malt quality parameter for forecasting malt lautering performance (74). Despite all analysed parameters showing values within the recommended MEBAK specifications, 'good' malt qualities do not necessarily imply an adequate lautering time in the brewery. The lautering performance is influenced by many factors and published literature claims are ambiguous (74–76).

In contrast to the findings of Müller *et al.* (33,34), Baxter *et al.* (13,26) and Reeves *et al.* (25) found reduced lautering properties when applying higher steeping or germination temperatures. To exclude a negative influence of the accelerated malting on the lautering performance of the produced malt samples, an in-house laboratory lautering test was used (see 'Materials and methods'

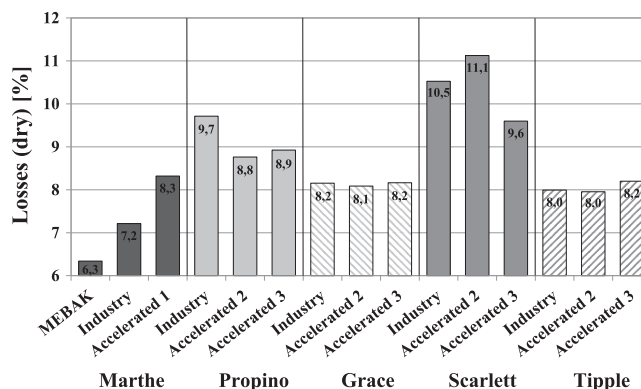


Figure 2. Comparison of the malting losses of the produced malts – trials I–III.

section). The test evaluated the total run-off volume after 300 s. The results (Fig. 3) suggest that the accelerated malting programmes led to comparable lautering properties of the malts so produced. For barley cultivar Tipple, a significant improvement was shown. The laboratory lautering test was deemed to be valid as it has successfully been used in other investigations (33,53) to detect significantly varying lautering performances between different processed malt samples produced from one barley cultivar. Hence, the results of the present study suggest that there was no negative influence of an accelerated malting programme on the lautering performance.

Despite an extensive literature survey, no publications about an influence of the malting parameters of temperature and time on the microbiology of the malt could be found. Nevertheless, the altered parameters for an accelerated malting could have an effect on microbial growth during germination. Thus, the DON content, as the most investigated mycotoxin in grain, the gushing potential and the premature yeast flocculation (PYF) behaviour were determined for the malts of trial III, to exclude a negative influence.

In Fig. 4, the results of the DON concentrations are shown. None of the tested malts approached the legal DON limit value of 1250 ppb. There was no trend in either direction with the industrial or the accelerated malting programme. With the barley Propino, a 3-fold lower level was seen and for the barley Scarlett a double DON concentration was found in the malts with the accelerated malting programme. The DON concentration of the other barley

cultivars did not change significantly. For deeper insight into this topic, further trials should be performed to investigate the influence of such an accelerated malting programme on the formation of other mycotoxins, especially when using high microbially contaminated grain.

Increasing numbers of problem cases of the PYF syndrome, which yields an early sedimentation of the yeast cells during fermentation, have been reported and shown to originate from the malt (77–81). Owing to an incomplete fermentation, PYF results in a low degree of attenuation, undesired flavour active fermentation by-products (e.g. diacetyl, acetaldehyde), extended production times and thus higher production costs. Therefore, the phenomenon of PYF is important for cost control. There are two main theories of PYF and both assume fungal contamination of the grain. On the one hand, excreted fungal xylanases are said to degrade the barley husk arabinoxylan, generating soluble PYF responsible for high-molecular-weight polysaccharides, which are able to form bridges between lectins on the yeast cell surface. Thereby, the yeast cells flocculate and sediment. On the other hand, grain is proposed to form antimicrobial peptides in response to the stress of fungal infections. The peptides are said to impair the membrane function of the brewer's yeast, resulting in a perforation of the cell wall, in turn leading to the flocculation and sedimentation of the cells. The antimicrobial peptides are also observed to be one factor for primary gushing, thus it was found that the results of the PYF analysis correlate well with the gushing potential of a malt (79).

Therefore, the gushing potential of the produced malts (trial III) was determined by the modified Carlsberg test (35) (data not shown) in the present study. None of the produced malts showed any gushing tendency. Also to examine the influence of the accelerated malting on the PYF behaviour, the produced malts were analysed with the Asahi test (54). Asahi suggests a floating yeast ratio limit for PYF-negative worts of 70%, and claims that the limit is dependent on the technical equipment used and thus has to be defined individually in each brewery. Figure 5 displays the results of the analysed sample pairs (industry and accelerated malting; trial III). In general, a positive effect of the accelerated malting programme was based on the improved yeast behaviour for all malts. Only for the Tipple malt was a significant improvement demonstrated. It appears that a shorter malting at higher steeping and germination temperatures can be useful to change a possible PYF-positive behaviour to a PYF-negative behaviour.

Next to the evaluation of the influence of accelerated malting programme on the resulting malt quality, the influence on

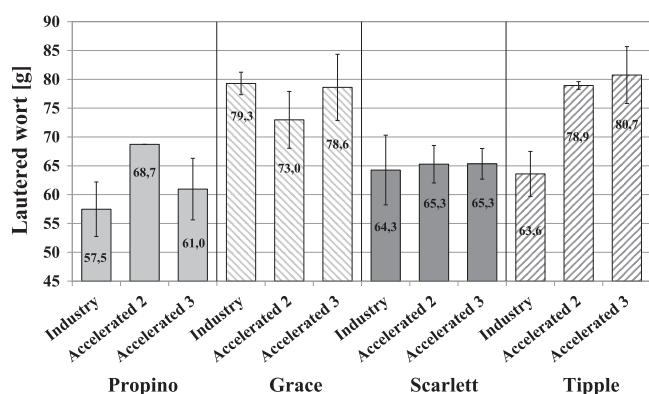


Figure 3. Comparison of the lautering properties of the produced malts evaluated by an in-house laboratory lautering test (standard deviation of triplicate determination) – trials II + III.

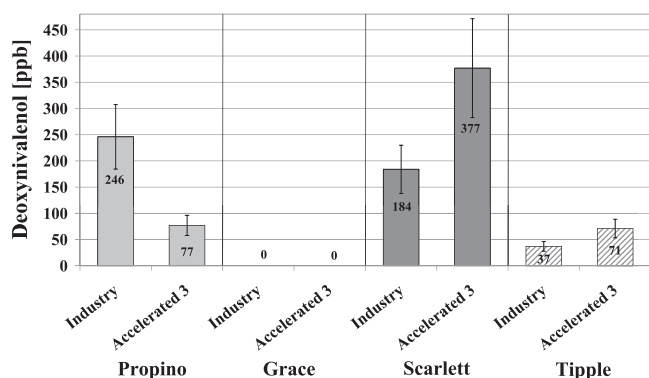


Figure 4. Comparison of deoxynivalenol (DON) content of the produced malts (maximum standard deviation of 25% according to Neogen, Lexington, USA) – trial III.

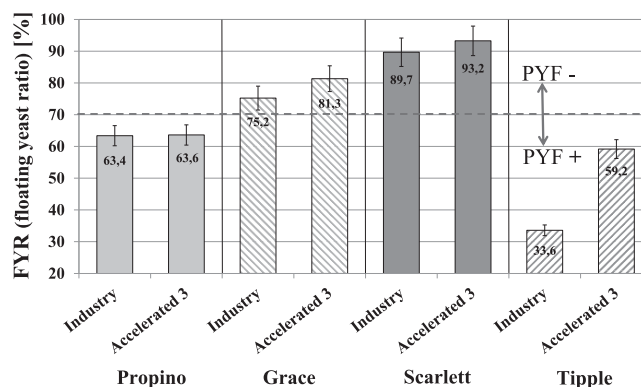


Figure 5. Comparison of premature yeast flocculation (PYF) behaviour of the produced malts (standard deviation of 5%, assumed) – trial III.

Table 4. Specific requirements for electrical energy according to Pensel (82), evaluated in respect of the present study data using trial III

	Industry programme	Theoretically calculated for the accelerated programme 3	
	(kW h/t) (82)	(kW h/t)	Explanation
Transport/other	20	20	
Cleaning/sorting	2	2	
Steeping/aspiration	1	1	
Cooling (germination)	35	18.4	Germination time (74 h/125 h) and -2.5% energy consumption/°C (83) (Average 20.3–15.8°C)
Germination fan	20	11.8	Germination time (74 h/125 h)
Kilning fan	42	53.3	Extended kilning time including 2 h cooling (26 h/20.5 h)
Total	120	106.5	
Savings at electricity costs of 14.25 Eurocents in 2013 (84)	$(120 - 106.5 \text{ kW h/t malt}) \times \text{€}0.1425/\text{kW h} =$		€1.92/t malt

Table 5. Financial evaluation of the found malting loss as well as sum of the loss yield and saved energy cost using data from trial III

Barley cultivar (trial III)	Propino	Grace	Scarlett	Tipple
Moisture content barley	12.6	14.2	12.7	13.5
Losses (dry) (industry) (%)	9.7	8.2	10.5	8
Losses (dry) (accelerated 3) (%)	8.9	8.2	9.6	8.2
Difference of weight (dry) (t/t malt)	0.00699	0	0.00786	-0.00173
Moisture content malt (Accelerated 3) [%]	4.5	4.2	4.2	4.6
Yield (at a malt price of €360/t) (€/t malt)	€2.64	€0.00	€2.95	€-0.65
Saved energy cost (€/t malt) (Table 4)			€1.92	
Total savings (€/t malt)	€4.56	€1.92	€4.87	€1.27
Total saving per annum (€/100,000 t malt)	€455,573	€192,000	€487,253	€126,717

potential for cost reductions was of a major interest. Therefore, data from Pensel (82), summarizing the overall energy consumption of a normal malting process, were used as a basis for theoretically calculating the savings in electricity in terms of germination time reduction (Table 4). Setting the data of Pensel as the required consumption for the industry malting programme the energy consumption for air cooling and the germination fan were calculated in proportion to the shortened germination time when applying the accelerated malting programme (trial III). Manger (83) assumed an energy saving for the cooling energy at higher germination temperatures of 2.5%/°C. This was also taken into account with respect to the mean germination temperatures of the two compared germination programmes. On the other hand, the extended kilning process when malting was accelerated had to be considered. Therefore, the stated kilning fan energy for the industrial programme was converted with the ratio of the applied kilning durations inclusive of a cooling time of 2 h (Table 4).

In addition to the calculated electrical energy savings of €1.92/t final malt, the malting losses imply a financial yield, which was found for the barley cultivars Propino and Scarlett when malting was accelerated. In contrast, the cultivar Tipple, when malted according to the industry programme, showed a slightly lower malting loss, whereas for barley Grace no differences could be detected.

For an evaluation of the loss in monetary terms, the dry weight differences between the samples pairs were calculated. The yield

was expressed in € per ton final malt when assuming a malt price of €360/t (Table 5). The sum of the energy savings and the monetary malt yield varied between about €127,000 and 487,000/t final malt evaluated annually for a 100,000 t plant.

Conclusions

It appears that barley cultivars, whose properties have been steadily improving over the past decades, are less heat sensitive and more suitable for applying higher steeping and germination temperatures. By means of five current barley cultivars, processed in laboratory malting trials, a step-wise optimized accelerated malting programme succeeded in achieving a malt of adequate quality within 5 days. The malt analyses parameters were equal or even better compared with the MEBAK small-scale and an industrial malting programme, which served as a reference with a complete malting time of about 7 days. Despite longer steeping and withering phases, a reduction of the overall process time by 2 days was made possible by shortening the germination time, which in turn was possible owing to the advantages found when optimizing the malting parameters separately (33,34,36,53).

Observable disadvantages of accelerated malting for the brewing industry were a slightly decreased extract value owing to a slightly higher pH value and a slightly lower activity of the starch degrading α - and β -amylases. Nevertheless, sufficient values within the MEBAK specification were observed.

An advantage of accelerated malting was a reduced proteolytic modification, as indicated by 2.5–6% lower Kolbach indices, which were closer to the MEBAK recommended optimum range of 38–42% for all barley cultivars (35). Therefore, it can be stated that the optimized accelerated malting programme could serve as a possibility to reduce protein degradation, which might have been useful in several crops over the last years.

Owing to lower malt colours and thiobarbituric acid indices combined with lower contents of FAN, which serve as precursors for the formation of staling-related compounds, a higher oxidative flavour stability could indirectly be predicted when using accelerated malting conditions (63–67).

Furthermore, malt homogeneity was higher, cytolytic modification was similar or even improved and the lautering performance was not negatively influenced when the malting process was accelerated.

For evaluating the microbial status of the accelerated malts indirectly, the DON content, gushing potential and the yeast PYF behaviour were analysed. No negative influence was detected, but a positive effect of an improved PYF was observed.

Generally less DMS-P was detected in the accelerated produced malts, implying an advantage for the malting and brewing industry owing to a possible kilning and wort boiling time reduction. Hence, less energy would be necessary to reduce the DMS-P content in the malt or wort to the recommended values (35).

In addition to a roughly 2 day faster malting process, the shortened germination time and higher applied germination temperatures lead to a reduction in electricity consumption for aerating and cooling during germination. Savings of about €1.92/t final malt were calculated.

The malting loss could be reduced by up to 0.9% when malting was accelerated, which would save up to €2.95/t of final malt. The latter was shown to be dependent on the barley cultivar, but with all of the cultivars used in this investigation, an overall cost reduction could be demonstrated.

Future trials should be carried out not only on laboratory scale but also on an industrial scale to verify if the described advantages of accelerated malting can be confirmed in practice. However, a change from daily batches to a more flexible production scheme may be necessary.

Furthermore, it has to be taken into consideration that applying warm steeping temperatures of 20–22°C can lead to a rapid heating of the grain bed depending on the climatic conditions and the steeping equipment. High steeping temperatures may require a heating unit for the water preparation and perhaps CO₂ extraction with an increased performance for maintaining a more constant temperature during the dry rests, especially during the summer and in warm regions. More barley cultivars should be tested to ascertain if they are suitable for an accelerated malting programme.

References

- Sims, R. C. (1958) Germination of barley: Effects of varying water contents upon the initiation and maintenance of growth, *J. Inst. Brew.* 65, 46–50.
- Aalbers, V. J., Drost, B. W., and Pesman, L. (1983) Aerated steeping systems, *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 20, 74–79.
- Huang, X., Han, Y., and Yu, S. (2004) The effect of steeping conditions on arapiles malting, *Brewing Science – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 57, 13–15.
- Axcell, B., Jankovski, D., and Morrall, P. (1983) The crucial factor in determining malt quality, *Brew. Dig.* 58, 20–23.
- Briggs, D. E. (1986) Accelerating malting – A review of some lessons of the past from the United Kingdom, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 45, 1–6.
- Brookes, P. A., Lovett, D. A., and MacWilliam, I. C. (1976) The steeping of barley – A review of the metabolic consequences of water uptake and their practical implications, *J. Inst. Brew.* 82, 14–26.
- Dietrich, S. (1966) Einfluß und Bedeutung der Belüftung während der Weicharbeit und Vermälzung von Braugerste, *Brauwelt* 106, 1–4.
- Weidinger, A. (1966) Neue Wege der Weichgutbelüftung, *Brauwelt* 106, 1171–1178.
- Wilhelmson, A., Laitila, A., Vilpola, A., Olkku, J., Kotaviita, E., Fagerstedt, K., and Home, S. (2006) Oxygen deficiency in barley (*Hordeum vulgare*) grain during malting, *J. Agric. Food Chem.* 54, 409–416.
- Sommer, G. (1976) Einige Aspekte moderner Mälzereitechnologie, *Brauwissenschaft* 29, 21–28.
- Kleinwächter, M., Müller, C., Methner, F.-J., and Selmar, D. (2014) Biochemical heterogeneity of malt is caused by both biological variation and differences in processing: I. Individual grain analyses of biochemical parameters in differently steeped barley (*Hordeum vulgare* L.) malts, *Food Chem.* 147, 25–33.
- Sommer, G. (1975) Eiweißabbau und Aminosäure-Zusammensetzung, in Proceedings of the European Brewers Convention Congress Monograph II, Report of the Barley and Malt Committee, pp. 188–197.
- Baxter, E. D., Reeves, S. G., and Bamforth, C. W. (1980) The effects of increased steeping temperatures on enzyme development in malt, *J. Inst. Brew.* 86, 182–185.
- Kretschmer, K. F. (1967) Über die Güteeigenschaften von Braumälzen, *Brauwelt* 107, 929–934.
- Narziß, L. (1966) Steeping as the foundation of modern malting technology, *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 3, 237–243.
- Narziß, L., and Hellich, P. (1966) Die Keimung mit fallenden Temperaturen, *Brauwelt* 106, 885–894.
- Narziß, L., and Kieninger, H. (1967) Die Weicharbeit im Lichte neuester Erkenntnisse, *Brauwelt* 107, 1569–1581.
- Zila, V. V., Trkan, M., and Skvor, F. (1942) Über Korngröße und Weiche, *Woch. Brau.* 59, 63–65.
- Narziß, L. (1965) Moderne Mälzungsmethoden I. Der Einfluß der Weicharbeit auf Keimung und Malzqualität unter besonderer Berücksichtigung der Weichtemperatur, *Brauwelt* 105, 1506–1515.
- Pollock, J. R. A., and Pool, A. A. (1958) Enzymes of barley and malt III – The latent beta-amylase of barley, *J. Inst. Brew.* 64, 151–156.
- Weith, L. (1967) Studien zu Technologie der Mälzerei VII. Der Einfluss der Faktoren Zeit, Temperatur und Wassergehalt auf die Malzqualität, Proceedings of the European Brewers Convention Congress, Madrid, pp. 251–265, Elsevier, Amsterdam.
- Sommer, G., and Antelmann, H. (1966) Untersuchungen über ein Verfahren zur Minderung des Mälzungsschwandes, *Msch. Brauerei* 12, 337–343.
- Pool, A. A. (1964) Reappraisal of the usefulness of warm-water steeping in malting in the light of the effect of gibberellic acid, *J. Inst. Brew.* 70, 221–225.
- Lubert, D. J., and Pool, A. A. (1964) Studies in barley and malt XXII. Effect of elevated temperatures during multiple steeping, *J. Inst. Brew.* 70, 145–155.
- Reeves, S. G., O'Farrell, D. D., and Wainwright, T. (1980) The effect of increased steeping temperature on malt properties, *J. Inst. Brew.* 86, 226–229.
- Baxter, E. D., and O'Farrell, D. D. (1980) Effects on raised temperatures during steeping and germination on proteolysis during malting, *J. Inst. Brew.* 86, 291–295.
- Narziß, L., and Hellich, P. (1966) Mälzungsversuche bei verschiedenen hohen, aber konstanten Keimtemperaturen und unterschiedlichen Feuchtigkeitsniveau, wobei der jeweils maximale Keimgutwassergehalt zu verschiedenen Zeiten hergestellt wird, *Brauwelt* 106, 801–811.
- Narziß, L. (1989) Der Stand der Mälzereitechnologie, *Brauwelt* 129, 939–940, 953–961.
- Zastrow, K. (1961) Aufgaben, Ergebnisse und Probleme der Kleinmälzung, *Msch. Brauerei* 14, 36–40.
- Narziß, L., and Friedrich, G. (1970) Der Einfluß des Mälzungsverfahrens auf die Steigerung der Enzymaktivität I–IV, *Brauwissenschaft* 23, 123–142, 167–175, 229–234, 265–271.
- Stadler, H. (1964) Kleinmälzungsversuche über die optimale Temperaturführung beim Mälzen, *Brauwissenschaft* 17, 186.
- Schilfarth, H., Sommer, G., and Kremkow, C. (1970) Kolbachzahl, Malz- und Bierqualität, *Msch. Brauerei* 23, 177–186.
- Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., and Methner, F.-J. (2013) The influence of elevated steeping temperatures on the resulting malt

- homogeneity and malt quality, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 66, 114–122.
34. Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., and Methner, F.-J. (2014) The influence of elevated germination temperatures on the resulting malt quality and malting losses, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 67, 18–25.
 35. Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission (2006) Brautechnische Analysemethoden, Band Rohstoffe, Selbstverlag der MEBAK, Freising-Weihenstephan, Germany.
 36. Müller, C., Brandt, N. O., Kadatz, D., Lion, C., and Methner, F.-J. (2014) Variation of the steeping regime for optimising the cytolytic modification using an accelerated malting procedure, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 67, 26–32.
 37. Lloyd, W. J. W. (1988) Environmental effects on the biochemical phases of malt kilning, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 46, 8–13.
 38. Runkel, U. D. (1975) Das Darren des Malzes und sein Einfluß auf die Malz- und Bierqualität, *EBC Monograph II*, 208–221.
 39. Gromus, J., Kretschmer, K. F., and Bellmer, H. G. (1971) Der Einfluss verschiedener Darreweisen auf die Malzqualität und die Vergärbarkeit der Würzen, *Brauwissenschaft* 24(1971), 81–87.
 40. Narziß, L., and Stippler, K. (1976) Der derzeitige Stand unserer Erkenntnisse über Stoffumsetzungen beim Schwelk- und Darreprozess, *Brauwissenschaft* 29, 177–183.
 41. Narziß, L., and Rusitzka, P. (1977) Über die Veränderungen der Enzyme während des Schwelkens und Darrens, *Brauwissenschaft* 30, 1–11.
 42. Ostertag, D. (1971) Beitrag zur Frage der Ungleichmäßigkeit des Darrens, *Brauwissenschaft* 24, 285–299.
 43. Bathgate, G. N. (1973) The biochemistry of malt kilning, *Brew. Dig.* 73, 60–65.
 44. Harris, G., and MacWilliam, I. C. (1954) Chemical aspects of malting IV. Changes in the carbohydrates of barley during malting, *J. Inst. Brew.* 60, 149–157.
 45. Bourne, D. T., and Pierce, J. S. (1970) β -Glucan and β -glucanase in brewing, *J. Inst. Brew.* 76, 328–336.
 46. Brunswick, P., Manners, D. J., and Stark, J. R. (1987) The development of β -d-glucanases during the germination of barley and the effect of kilning on individual isoenzymes, *J. Inst. Brew.* 93, 181–186.
 47. Narziß, L., Rusitzka, P., and Stippler, K. (1973) Der Einfluss des Schwelkprozesses auf die Entwicklung der Enzyme und einiger anderer Stoffgruppen des Malzes, Proceedings of the European Brewers Convention Congress, Salzburg, pp. 85–98, Elsevier, Amsterdam.
 48. Narziß, L., and Stippler, K. (1976) Der Einfluss des Schwelkverfahrens auf die herkömmlichen Analysendaten des Malzes, *Brauwissenschaft* 29, 199–206.
 49. Preece, I. A., and Hoggan, J. (1956) Enzymatic degradation of cereal hemicelluloses. I. Observations on the β -glucanase system and its development during malting, *J. Inst. Brew.* 62, 486–495.
 50. Isebaert, L., and Van der Bekken, R. (1965/1966) Onderzoek Betreffende de Invloed van de Afeestings temperatuur, *Int. Tijdschr. Brouw. Mout.* 25, 99–103.
 51. Isebaert, L., Van der Bekken, R., Devos, A., and Ingels, A. (1970/1971) Invloed van het Voordrogen bij het Eesten en van de Afeestings temperatuur, *Int. Tijdschr. Brouw. Mout.* 6, 179–185.
 52. Forster, C. (1996) Der Einfluss der Darstechnologie auf die Malz- und Bierqualität, Dissertation, TU München, pp. 55–57, 74–105.
 53. Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., and Methner, F.-J. (2014) The influence of the withering temperature on the resulting proteolytic and cytolytic modification of pale malt, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 67, 88–96.
 54. Jibiki, M., Sasaki, K., Kaganami, N., and Kawatsura, K. (2006) Application of a newly developed method for estimating the premature yeast flocculation potential of malt samples, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 64, 79–85.
 55. Home, S., Stenholm, K., and Olkku, J. (1999) Measuring and evaluating malt homogeneity, Proceedings of the European Brewers Convention Congress, Cannes, pp. 365–375, IRL Press, Oxford.
 56. Bartnett, C., McDovarsky, J., Benard, M., Garcia, C., Haag, R., Kjeldsen, J., Laycock, G., Lorenzana, R., Matyniak, N., Meyer, B., Nichols, L., Penarski, J., Shamaila, M., Stenross, L., Veldhuijzen, R., and Munar, M. (1998) Dimethyl sulfide precursor in malt by headspace gas chromatography, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 56, 186–188.
 57. Schur, F., Pfenninger, H. B., and Narziß, L. (1975) Einfluß verschiedener Maischparameter auf die Amylolyse, 4. Mitteilung, *Schweiz. Br. Rdsch.* 86, 153–159.
 58. Sommer, G. (1971) Weichtemperatur und Malzqualität, *Mschr. Brauerei.* 24, 205–210.
 59. Schuster, K., and Grünewald, J. (1957) Darprobleme, *Brauwelt* 97, 1446–1451.
 60. Barrett, J., Griffith, C. M., and Kirsop, B. H. (1967) Some effects of malt kilning on wort properties, *J. Inst. Brew.* 73, 445–450.
 61. Kolbach, P., and Schild, E. (1935) Über den Einfluss des Wassergehaltes und der Temperatur des Malzes auf die Stoffumwandlungen beim Darren, *Wschr. Brauerei* 52, 129–134, 137–141, 147–150.
 62. Narziß, L., and Stippler, K. (1976) Über den Einfluß des Schwelkverfahrens auf die freien Kohlenhydrate und Aminosäuren, *Brauwissenschaft* 29, 276–281.
 63. Wietstock, P.-C., and Methner, F.-J. (2013) Formation of aldehydes by direct oxidative degradation of amino acids via hydroxyl and ethoxy radical attack in buffered model solutions, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 66, 104–113.
 64. Kunz, T., Woest, H., Lee, E. J., Müller, C., and Methner, F.-J. (2011) Improvement of the oxidative wort and beer stability by increased unmalted barley proportion, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 64, 75–82.
 65. Kunz, T., Müller, C., Mato-Gonzales, D., and Methner, F.-J. (2012) The influence of unmalted barley on the oxidative stability of wort and beer, *J. Inst. Brew.* 118, 32–39.
 66. Kunz, T., Strähmel, A., Cortés, N., Hense, W., Kroh, L. W., and Methner, F.-J. (2013) Influence of intermediate Maillard reaction Products with endiol structure on the oxidative stability of beverages, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 71, 114–123.
 67. Kunz, T., Müller, C., and Methner, F.-J. (2013) EAP determination and Beverage Antioxidative index (BAX) – Advantageous tools for evaluation of the oxidative flavour stability of beer and beverages (part 1), *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 66, 12–22.
 68. Zahn, T. (1991) Der β -Glucan-Abbau im Grünmalz während des Darrens, Proceedings of the European Brewers Convention Congress, Lisbon, pp. 169–175, IRL Press, Oxford.
 69. Dethier, M., De Jaeger, B., Barszczak, E., and Dufour, J. P. (1991) In vivo and in vitro investigations of the synthesis of S-methylmethionine during malting barley germination, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 49, 31–37.
 70. Dickens, C. J. (1983) Cambridge prize lecture dimethyl sulphide – Its origin and control in brewing, *J. Inst. Brew.* 89, 41–46.
 71. Dumoulin, M., and Boivin, P. (2001) Industrial kilning technologies and their influence on organoleptic quality of malt, Proceedings of the European Brewers Convention Congress, Budapest, pp. 1–10, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg.
 72. Yang, B., and Schwarz, P. (1998) Factors involved in the formation of two precursors of dimethyl sulphide during malting, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 56, 85–92.
 73. Reinikainen, P., Räsänen, E., and Olkku, J. (1996) A practical at-line measurement of carbon dioxide production of barley during malting process, *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 49, 280–282.
 74. Sarx, H. G., and Rath, F. (1995) Filtration risk analysis – New method for predicting problems in wort and beer filtration, Proceedings of the European Brewers Convention Congress, Brussels, pp. 615–620, IRL Press, Oxford.
 75. Webster, R. D. J. (1981) Prediction of lautering performance of malt, *J. Inst. Brew.* 87, 52–56.
 76. Zürcher, C., Krauß, G., Eifler, K. J., and Kursawe, R. (1972) Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier, *Mschr. Brauerei* 7, 178–186.
 77. Axcell, B. C., van Nierop, S. N. E., and Vundla, W. (2000) Malt induced premature yeast flocculation, *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 37, 501–504.
 78. Armstrong, K., and Bendiak, D. (2007) PYF malt: Practical brewery observations of fermentability, *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 44, 40–46.
 79. Blechová, P., Havlová, P., and Havel, J. (2005) The study of premature yeast flocculation and its relationship with gushing of beer, *BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft* 58, 64–78.
 80. Lake, J. C., and Speers, R. A. (2008) A discussion of malt-induced premature yeast flocculation, *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* 45, 253–262.
 81. Van Nierop, S. N. E., Cameron-Clarke, A., and Axcell, B. C. (2004) Enzymatic generation of factors from malt responsible for premature yeast flocculation, *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 62, 108–116.
 82. Pensel, S. (1986) Darssysteme aus energiewirtschaftlicher Sicht, *Brauwelt* 49, 2430–2435.
 83. Manger, H. J. (2006) Die optimale Wirkungsweise einer Kälteanlage, Kälteanlagen in der Brau- und Malzindustrie, 1st ed., pp. 65–70, VLB-Fachbücher, Berlin.
 84. Statista – Strompreise für Industriekunden in Europa, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151260/umfrage/strompreise-fuer-industriekunden-in-europa/> (last accessed June 2014).

7.2 Sonstige Veröffentlichungen

7.2.1 Sonstige Publikationen

- (6) Kunz, T., Woest, H., Lee, E.-J., **Müller, C.**, Methner, F.-J. (2011) Improvement of the oxidative wort and beer stability by increased unmalted barley proportion, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 64 (7/8), 75-82.
- (7) Kunz, T., **Müller, C.**, Mato-Gonzales, D., Methner, F.-J. (2012) The influence of unmalted barley on the oxidative stability of wort and beer, *J. Inst. Brew.* 118, 32-39.
- (8) Maul, R., **Müller, C.**, Rieß, S., Koch, M., Methner F.-J. (2012) Nehls, I. germination induces the glucosylation of the Fusarium mycotoxin deoxynivalenol in various grains, *Food Chem.* 131, 274-279.
- (9) Kunz, T., **Müller, C.**, Methner F.-J. (2013) EAP Determination and Beverage Antioxidative index (BAX) - Advantageous tools for evaluation of the oxidative flavour stability of beer and beverages (part 1), *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 66 (1/2), 12-22.
- (10) Kleinwächter, M., **Müller, C.**, Methner, F.-J., Selmar, D. (2014) Biochemical heterogeneity of malt is caused by both biological variation and differences in processing: I. Individual grain analyses of biochemical parameters in differently steeped barley (*Hordeum vulgare* L.) malts, *Food Chem.* 147, 25-33.
- (11) PCT/DE2013/200198: Mälzungsverfahren (2014-04-17). **Müller, C.**, Methner, F.-J., Kunz, T., Patent Technische Universität Berlin.
- (12) **Müller, C.**, Kunz, T., Methner, F.-J. (2015) The cleaning effect on brewing barley using vibrations during wet steeping, *BrewingSci.-Monatsschr. Brauwiss.* 68 (1/2), 29-37.

7.2.2 Sonstige Vorträge

- (2) **Müller, C.**, Kunz, T., Mato-Gonzales, D., Methner, F.-J. (2011) The influence of unmalted Barley on the oxidative stability of wort and beer, *European Brewery Convention, Glasgow*.
- (3) **Müller, C.**, Kunz, T., Methner, F.-J. (2013) Beverage Antioxidative index (BAX) - Ein nützliches Tool für die Bewertung der oxidativen Geschmacksstabilität von Bier und anderen Getränken, *Barley Malt Conference, Moskau*.

7.2.3 Poster

- (1) Götz, F., **Müller, C.**, Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2012) γ -Aminobutyric acid (GABA) - A practical indicator for the detection of heterogeneities during malting?, *Trends in Brewing Congress, Gent*.

- (2) **Müller, C.**, Kunz, T., Methner F.-J. (2012) Beverage Antioxidative index (BAX) - An advantageous tool for the evaluation of the beer flavour stability using ESR spectroscopy, *Trends in Brewing Congress, Gent*.
- (3) **Müller, C.**, Götz, F., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (2012) γ -Aminobutyric acid (GABA) - A practical indicator for the detection of heterogeneities during malting?, *World Brewing Congress, Oregon*.
- (4) Kunz, T., **Müller, C.**, Methner F.-J. (2012) Beverage Antioxidative index (BAX) - An advantageous tool for the evaluation of the beer flavour stability using ESR spectroscopy, *World Brewing Congress, Oregon*.
- (5) **Müller, C.**, Kunz, T., Methner F.-J. (2013) Beverage Antioxidative index (BAX) - A beneficial index number for prognosis of the oxidative flavour stability, *European Brewery Convention, Luxembourg*.
- (6) **Müller, C.**, Kunz, T., Stoffregen, T., Methner F.-J. (2014) The influence of sonication during wet steeping on the resulting malt homogeneity and malt quality, *Trends in Brewing Congress, Gent*.

7.3 Malzanalysedaten zur Untersuchung zum Einfluss der Luftrastdauer (s. Kap. 2.1.2)

Versuchsreihe	1							2				3			
Braugerstensorte	Marthe (Ernte 2010)							Grace (Ernte 2011)				Scarlett (Ernte 2011)			
Dauer der Nassweichen	1. NW 5 h; 2. NW 3 h							1. NW 5 h; 2. NW 2 h				1. NW 4 h; 2. NW 2,5 h			
Dauer der Luftrast in h	7	11	15	7	11	15	19	19	24	29	34	14	19	24	29
Behandlung während der Luftrast	jede 4 h belüftet (2 min), ohne Berieselung							durchgehend belüftet, jede 4 h mit Wasser berieselt				durchgehend belüftet, jede 4 h mit Wasser berieselt			
Gesamtkeimzeit in h	133	137	141	145	145	145	145	142	142	142	142	142	142	142	142
Weich-, Keim- und Darretemperaturen (W, K, D)	W: 17 °C; K: 16 °C; D: 22 h 62 °C							W: 17 °C; K: 17,16,15,15,15 °C; D: 16 h 50°C, 5 h 80 °C				W: 16-17 °C; K: 16,16,15,15,15 °C; D: 16 h 50°C, 5 h 80 °C			
Extrakt (Trs.) in %	82,1	81,7	82,3	81,9	82,0	81,4	81,9	82,4	82,3	82,7	83,1	82,4	82,3	82,5	82,4
Verzuckerungszeit in min	10	13	11	13	10	12	10	10	10	10	11	11	11	11	11
Ablaufzeit in min	20	26	24	26	26	26	25	20	25	30	30	20	21	17	16
pH-Wert	6,05	5,92	5,96	5,92	5,98	5,95	6,09	6,05	6,02	5,92	5,85	6,05	6,06	6,04	6,05
Farbe in EBC	4,0	4,0	4,1	4,0	4,6	4,3	4,1	3,0	2,9	3,0	3,1	4,0	3,9	4,0	3,9
Kochfarbe in EBC	9,0	7,0	9,2	7,0	9,9	10,4	9,5	5,0	5,8	5,7	5,9	5,9	5,8	5,9	5,8
Trübung 90° in EBC	2,1	2,0	2,2	2,0	3,3	2,9	2,0	2,4	2,4	2,2	2,6	11,0	8,5	10,0	9,4
lösl. Stickstoff in mg/L	812	808	820	808	804	796	796	769	765	785	780	776	752	761	753
Kolbachzahl in %	44,1	43,7	44,4	43,2	43,4	43,0	43,2	40,7	40,7	41,7	41,0	41,7	40,5	41,8	39,9
FAN (Trs.) in mg/100g	147	157	161	158	157	155	156	124	122	121	125	120	117	121	119
Viskosität (8,6%) in mPa*s	1,45	1,45	1,41	1,43	1,44	1,43	1,42	1,42	1,49	1,42	1,43	1,45	1,43	1,39	1,46
Mürbigkeit in %	81,4	85,5	87,4	85,3	85,1	88,3	89,1	89,9	89,4	90,1	88,8	87,2	89,2	88,8	89,6
Ganzglasigkeit in %	1,4	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9	0,4	0,9	1,4	1,0	1,4	0,7	0,7	1,0	1,0
Modifikation (Carlsberg) in %	90	92	93	94	95	97	95	94	93	96	95	83	84	85	87
Homogenität (Carlsberg) in %	75	82	83	76	81	85	83	86	77	89	85	71	69	70	75
β-Glukangehalt (Trs.) in mg/100g	335	217	184	169	174	142	108	216	283	227	227	191	165	165	175

7.4 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt durch meine Unterschrift, dass ich die vorliegende Dissertation „Entwicklung eines optimierten Mälzungsverfahrens im Hinblick auf die Malzqualität, Reduzierung der Mälzungsdauer und Einsparungen von Produktionskosten“ in allen Teilen von mir selbständig angefertigt wurde und die benutzten Hilfsmittel vollständig angegeben sind.

Vorveröffentlichungen, die in der vorliegenden kumulativen Dissertation verwendet wurden, können dem Inhaltsverzeichnis entnommen werden und sind zusätzlich im Anhang aufgelistet. Alle Stellen, die ich wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen habe, sind als solche kenntlich gemacht und ich habe mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient. Nach § 5 Abs. 1 Satz 3 Nr. 5 und 6 PromO der TU-Berlin versichere ich an Eides statt, dass die Darstellung des Eigenanteils, die ich im Kapitel 7.1 „Grundlegende Veröffentlichungen dieser Arbeit“ beschrieben habe, der Wahrheit entspricht.

Weiter erkläre ich, dass ich nicht schon anderweitig einmal die Promotionsabsicht angemeldet oder ein Promotionseröffnungsverfahren beantragt habe.

Kulmbach, 23.04.2015

Christian Müller