

F&E

Dokumentation

AiF 16299 N

„Heterogenitäten beim Mälzen - ein
chronisches Problem für die Bierbrauerei:
Erfassung der Ursachen und Erarbeitung
von Strategien zu deren Vermeidung“

- Schlussbericht 2013 -

*Projekt der Industriellen
Gemeinschaftsforschung*



Forschungsstelle I:

Technische Universität Braunschweig
Institut für Pflanzenbiologie
Arbeitsbereich Angewandte Pflanzenbiologie
Mendelssohnstr. 4, 38106 Braunschweig

Tel.: + 49 531 391-5881

Fax: + 49 531 391-8180

E-Mail: d.selmar@tu-bs.de

Internet: www.tu-braunschweig.de/ifp

Projektleiter:

Prof. Dr. Dirk Selmar

Forschungsstelle II:

Technische Universität Berlin
Institut für Biotechnologie, Fachgebiet Brauwesen
Seestraße 13, 13353 Berlin

Tel.: + 49 30 314-27504

Fax: + 49 30 314-27503

E-Mail: frank-juergen.methner@tu-berlin.de

Internet: www.brauwesen.tu-berlin.de

Projektleiter:

Prof. Dr. Frank-Jürgen Methner

Eine Publikation dieses Berichts oder der hierin aufgeführten Daten
ist ohne Zustimmung der Projektleitung nicht gestattet.

Bewilligungszeitraum: 1.01.2010 – 31.12.2012

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:



Das o.g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn, wurde über die Aif im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Datum des Berichts: 28.02.2013

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzzusammenfassung.....	4
2 Beteiligte Stellen	5
3 Einleitung.....	6
3.1 Anlass des Forschungsvorhabens	6
3.2 Stand der Forschung – Literaturüberblick	7
3.3 Zielsetzungen des Forschungsvorhabens	13
4 Experimentelle Vorgehensweise	14
4.1 Einfluss äußerer Faktoren auf die Keimung	14
4.2 Erfassung der biologischen Variabilität - Einzelkornanalysen	16
4.3 Forschungsaufenthalt bei der Mälzerei DURST	16
4.3.1 Datenaufnahme.....	16
4.3.2 Weichexperimente	17
4.4 Experimente im Labor- und Pilotmaßstab.....	18
4.4.1 Weichversuche im Labormaßstab (Exsikkator)	18
4.4.2 Schmidt-Seeger Kleinmälzung.....	19
4.4.3 „Eco-Steep“ der Fa. Bühler	20
4.4.4 Heyl-Mälzerei der VLB-Berlin / Mittelmälzung	21
4.5 Malzanalysen nach MEBAK.....	21
4.6 Läutertest.....	21
5 Ergebnisse (Pflanzenbiologisch-Biochemische Untersuchungen).....	22
5.1 Einfluss äußerer Faktoren auf die Keimung	22
5.1.1 Einfluss von Sauerstoffmangel	22
5.1.2 Einfluss von erhöhten CO ₂ -Konzentrationen	24
5.1.3 Inhomogene Keimungsbedingungen führen zu unterschiedlichen Stoffwechselaktivitäten.....	26
5.2 Einzelkornanalysen - Laborstudien (natürliche Variabilität)	27
5.2.1 Natürliche Variabilität der α -Amylase-Aktivität.....	27
5.2.2 Natürliche Variabilität der β -Amylase-Aktivität	29
5.2.3 Natürliche Variabilität der β -Glucanase-Aktivität	30
5.2.4 GABA-Gehalte einzelner Gerstensämlinge	31
5.2.5 Die natürliche Variabilität biochemischer Parameter ist hoch.....	32

5.3 Einzelkornanalysen unterschiedlich prozessierter Malze	32
5.3.1 Variabilitäten der α -Amylase-Aktivität	32
5.3.2 Variabilitäten der β -Amylase-Aktivität	34
5.3.3 Variabilitäten der β -Glucanase-Aktivität	35
5.3.4 GABA-Gehalte der Gerstensämlinge	36
5.3.5 Belüften in der Weiche wirkt sich negativ auf die Homogenität des Malzes aus... 36	
5.4 Auswirkungen der Position im Weichsystem auf die Keimung.....	38
5.4.1 Ansatz ohne Belüftung	38
5.4.2 Ansatz mit CO ₂ -Absaugung in der Luftrast.....	39
5.4.3 Ansatz mit Druckbelüftung.....	40
5.4.4 Einfluss des Belüftens in der Weiche auf die Enzymaktivitäten	42
5. 5 Synchronisierung der Keimung durch „Priming“	43
6 Ergebnisse (Brauereitechnologische Untersuchungen)	45
6.1 Weichversuche zur Untersuchung des Einflusses von Belüftung	45
6.1.1 Bestimmung der Sauerstoffaufnahme beim Weichen ohne Belüftung.....	45
6.1.2 Einfluss der Belüftung bzw. Atmosphäre (Luft, N ₂ ; CO ₂) beim Weichen	47
6.1.3 Weichversuche zur Belüftung im Pilotmaßstab	49
6.1.4 Auswirkungen des Belüftens in einer Industrie-Weiche auf die Keimung.....	55
6.1.4.1 Kontrolle der Ankeimung	55
6.1.4.2 Auswirkungen der Probepositionen in den Weichsystemen auf die Keimung und die Malzqualität- Kleinmälzung	57
6.1.4.3. Vergleich des Einflusses des Weichverfahrens und der Probenpositionen auf die Malzqualität - Kleinmälzung	60
6.2 Gegenüberstellung eines „aggressiven“ und eines „moderaten“ Weichprogramms....	63
6.3 Variation der Weich- und Keimbedingungen (Kleinmälzung, Fa. Schmidt-Seeger)	66
6.4 Untersuchungen von Darmmalzen aus großtechnischen Darren	69
6.5 Beurteilung Blattkeimentwicklung nach MEBAK und der Zusammenhang mit der Homogenität der Malzqualität	71
6.6 Versuche zu extremen Temperaturen beim Weichen, Keimen und Darren.....	72
6.6.1 Hohe Weichtemperaturen	72
6.6.2 Hohe Keimtemperaturen	75
6.6.3 Niedrige Schwelktemperaturen	78

6.6.4 Vergleich einer Mälzung „Optimälzung“ mit herkömmlichen Mälzungen (MEBAK und Industrie)	82
7 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Antrags.....	87
8 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen.....	88
9 Veröffentlichungen	89
10 Literaturverzeichnis.....	90
11 Anlagen.....	93
11.1 Zwischenbericht – Kurzversion (Haushaltsjahr 2012)	94
11.2 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	99

1 Kurzzusammenfassung

Beim Brauen von Bier treten regelmäßig Schwierigkeiten beim Läutern der Maische und bei der Filtration der Biere auf. Zumeist beruhen diese Probleme auf einem unzureichenden Abbau der Zellwand-Glukane des Endosperms in Teilen einer Malzcharge. Obgleich die genauen Ursachen für die auftretenden Heterogenitäten bislang nicht vollständig bekannt sind, so sind sie jedoch zweifelsohne die Folge einer unterschiedlichen Ausprägung der Keimungs- und Entwicklungsprozesse der Gerstensamen. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, diese Problematik erstmals systematisch zu untersuchen. Für eine erfolgreiche Umsetzung dieses Vorhabens galt es das Ausmaß und die Bandbreite prozessbedingter Inhomogenitäten während des Mälzens zu erfassen. Im Anschluss sollten die zu Grunde liegenden Ursachen ermittelt werden, um anschließend auf der Basis dieser Kenntnisse Strategien zur Verbesserung der Malzqualität zu erarbeiten.

Mit Hilfe von Einzelkornanalysen und Standardmalzanalysen konnte erstmals eindeutig belegt werden, dass das Belüften in der Weiche zu einer deutlich höheren Heterogenität relevanter Malzparameter führt. So sind z.B. in den belüfteten Ansätzen die Bandbreiten der α -Amylase-Aktivität um den Faktor 2-3 höher als im unbelüfteten Ansatz. Diese Ergebnisse, die von Proben aus authentischen Prozessen stammen, wurden durch Studien in einer Kleinmälzungsanlage untermauert. Es wurde deutlich, dass in den Malzen des belüfteten Ansatzes die Keimung - abhängig von der Schichttiefe der Weiche - sehr unterschiedlich weit vorangeschritten ist. Bei Belüftung von unten war die Keimung in den tieferen Schichten weiter fortgeschritten, und es fanden sich dort durchgängig höhere Enzymaktivitäten. In Hinblick auf eine Steigerung der Homogenität erscheint es also als angebracht, zukünftig auf das Belüften in der Weiche zu verzichten. Die mit der Nicht-Belüftung einhergehende verzögerte Ankeimung könnte durch eine Verlängerung der Keimzeit ausgeglichen werden.

In weiterführenden Versuchsreihen wurden Braugersten bei Temperaturen gemälzt, die nach Lehrbuchmeinung eher unüblich sind (hohe Weich- und Keimtemperaturen, sowie niedrige Schwelktemperaturen). Dabei erwiesen sich Weich- und Keimtemperaturen von 20-25°C als optimal für eine schnelle und homogene Ankeimung, sowie für ein homogenes Wachstum und die resultierende Malzqualität. Weichtemperaturen über 30°C sollten nicht angewandt werden. Niedrigere Schwelktemperaturen (30-40°C) als die in der Industrie üblichen (50-65°C) führten zu einer länger anhaltenden Wachstumsphase und damit zu einer höheren cytolytischen Lösung und einer Reduzierung des Eiweißabbaus. Allerdings verlängerten sich auch die Darrzeiten.

Die ermittelten optimalen Weich- Keimtemperaturen sowie die niedrigen Schwelktemperaturen (Start bei 36°C, vorsichtige Erhöhung auf 60°C) wurden in einer Mälzung kombiniert angewandt. Dies führte - wie erwartet - zu einer schnelleren und homogeneren Ankeimung und einer verstärkten cytolytischen und gebremsten proteolytischen Lösung der Malze im Vergleich mit den Malzen, die entweder in einer Kleinmälzung unter Verwendung moderner Parameter oder nach MEBAK hergestellt wurden. Trotz eines geringen Extraktverlustes und leicht erhöhter Mälzungsschwände konnte mittels dieser "Optimälzung" eine höhere Malzqualität bei einer um 25-27 % kürzeren Mälzungsdauer erzielt werden. Die höheren Verluste sollten aus wirtschaftlicher Sicht durch die Zeitersparnis und die daraus resultierenden Energieeinsparungen zu vernachlässigen sein. Im Hinblick auf durchgeführte Läuterests kann die "Optimälzung" jedoch nur für eine von zwei untersuchten Gersten empfohlen werden.

Basierend auf diesen Schlussfolgerungen erscheint es vielversprechend, in weiteren Forschungsarbeiten das große bislang weitgehend noch ungenutzte Potential alternativer Ansätze beim Mälzen zu erforschen und in die Praxis umzusetzen. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf dem Priming liegen.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

3 Einleitung

3.1 Anlass des Forschungsvorhabens

Beim Brauen von Bier treten regelmäßig Schwierigkeiten beim Läutern der Maische und der Filtration der Biere auf. In den meisten Fällen beruhen diese Probleme auf einem unzureichenden Abbau der Zellwand-Glucane des Endosperms der Gerste-Keimlinge. Als Folge dieses unvollständigen β -Glucan-Abbaus bilden sich schleimig-gallertige Glucan-Gele, die zu einer sehr schnellen Verblockung der heute überwiegend eingesetzten Kieselgurfilter führen und auch während des Läuterprozesses Schwierigkeiten machen können (1). Da die Glucanasen, die für den Zellwand-Glucan-Abbau verantwortlich sind, erst im Zuge des Mälzens als Folge der einsetzenden Keimungsprozesse gebildet werden, führt ein längerer Keimungsprozess zu einem deutlich stärkeren Glucan- bzw. Zellwand-Abbau und folglich zu besseren Läuter- und Filtrier-Eigenschaften (2). Allerdings kann der Keim-Prozess nicht beliebig verlängert werden, da ansonsten die Keimwurzeln zu lang werden und eine problemlose Handhabung des Malzes nicht mehr gewährleistet ist. Für die Produktion geeigneter Malze ist es also sehr wichtig Gerste-Keimlinge mit optimalem Entwicklungszustand zu verwenden. Die entsprechende Entwicklung ist jedoch nicht immer in allen Gerstekörnern einer Charge gleich, d.h. im Verlauf des Mälzens können sich in Hinblick auf die spezifischen Brau-Eigenschaften große individuelle Unterschiede der einzelnen Malzkörner ergeben, die somit große Inhomogenitäten innerhalb einer Charge hervorrufen können (3); allerdings fehlen in der Literatur exakte Daten. Zwar ist – wie bei anderen Stoffwechselprozessen auch – der Zellwand-Abbau einer natürlichen Varianz unterworfen, doch die Unterschiede, die aus einer variierenden Prozessführung resultieren, können um ein vielfaches höher sein. Hinsichtlich des Zellwand-Abbaus sind prinzipiell Variationsbreiten von 0 bis 100% denkbar. Im Gegensatz zu klassischen Summenparametern, wie z.B. dem Gehalt bestimmter Inhaltsstoffe, bei denen die Produktqualität inhomogener Chargen durch einfaches Durchmischen von Bereichen mit hoher und niedriger Konzentration “geglättet“ werden kann, resultieren aus einem ungenügenden Zellwand-Glucan-Abbau in einer Teilmenge stets entsprechende Schwierigkeiten beim Läutern und Filtrieren der gesamten Charge, so dass eine Veränderung der Mischung letztlich kaum Auswirkungen auf die Mälz-Qualität hat (4).

Obgleich die genauen Ursachen für die auftretenden Heterogenitäten bislang nicht bekannt sind, so sind sie jedoch zweifelsohne die Folge einer unterschiedlichen Ausprägung der Keimungs- und Entwicklungsprozesse der Gerste-Samen. Allerdings gibt es über den Ursprung dieser Entwicklungsunterschiede bislang noch so gut wie keine Informationen. Bedingt durch die heute in Mälzereien üblichen großen Produktchargen während des Mälzens, die üblicherweise im Bereich zwischen 50 und 300 t liegen (5), sind die Randbedingungen für die Keimprozesse innerhalb einer Charge zum Teil sehr unterschiedlich. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass Betthöhen an Gerste und Grünmalz in der Weiche bis zu mehreren Metern betragen können, und auch während des Keimens im Keimkasten und Darrens Höhen von bis zu 1,25 m verwendet werden. Es resultieren zwangsläufig große Unterschiede in der Verteilung einzelner physikalischer und chemischer Parameter, wie z.B. Temperatur und/oder Sauerstoffgehalt. Es ist anzunehmen,

dass diese Inhomogenitäten ursächlich für die Heterogenitäten sind, die zu den Problemen beim Läutern und Filtrieren der Maische führen.

Im vorliegenden Forschungsprojekt sollte zunächst untersucht werden, in welchem Ausmaß und in welcher Bandbreite die prozessbedingten Inhomogenitäten während des Mälzens auftreten, welche Ursachen sich dafür verantwortlich zeichnen, und wie sich die resultierenden Heterogenitäten in den brautechnisch relevanten Produkteigenschaften manifestieren. Diese Informationen stellen die Basis für die Entwicklung neuer Strategien zur Vermeidung der beschriebenen Schwierigkeiten beim Läutern und Filtrieren der Maische. Eine wesentliche Voraussetzung für ein solches Vorgehen ist die Möglichkeit, das Voranschreiten der Keimung, bzw. der relevanten Stoffwechselprozesse quantitativ und verlässlich beschreiben zu können und diese mit physikalischen und chemischen Parametern des Mälzungsprozesses zu korrelieren. Dies erfordert die Verfügbarkeit verlässlicher und relevanter Marker. In diesem Zusammenhang kommt vor allem der γ -Aminobuttersäure (GABA) als einem etablierten Anzeiger für stressbedingte Veränderungen – auch und gerade während der Keimungsprozesse von Gerste - eine besondere Bedeutung zu. Die Erfassung der Zusammenhänge von Stoffwechselfvorgängen in der keimenden Gerste einerseits und der Läuter- und Filtrier-Eigenschaften des Malzes andererseits, wird wesentlich zum Verständnis der Inhomogenitäten im Mälzungsprozess beitragen. Auf der Grundlage dieser komplexen Betrachtungsweise sollten sich sicher verschiedene Möglichkeiten zur gezielten Beeinflussung der Malzqualität ableiten lassen.

3.2 Stand der Forschung – Literaturüberblick

Wie alle biologischen Systeme so unterliegen auch die Eigenschaften der Malzkörner einer natürlichen Schwankungsbreite (Normalverteilung). Zusätzlich zu dieser Varianz können sich weitere Unterschiede ergeben, die eine direkte Folge verschiedener Prozessführungen sind, und die um ein vielfaches höher sein können. Sind also die Prozessbedingungen innerhalb einer Charge unterschiedlich, kommt es zwangsläufig zu Inhomogenitäten, die weit über die biologische Variation eines "homogenen Malzes" hinausgehen. Bedingt durch die heute in Mälzereien üblichen großen Produktchargen kommt es somit immer wieder vor, dass innerhalb einzelner Chargen entsprechende Inhomogenitäten auftreten, die zu den beschriebenen Verarbeitungsschwierigkeiten führen können (2). Die Ursachen für die Inhomogenitäten bei hohen Betthöhen können neben einem Mangel an Sauerstoff auch eine überhöhte Anreicherung von Kohlensäure durch die beginnenden Stoffwechselfvorgänge während des Weichens und Keimens sein oder Temperaturgradienten.

Nach Untersuchungen von *Weith & Klaushofer* (6), ist der Sauerstoffgehalt beim Keimen von entscheidender Bedeutung - vor allem bezüglich der *de novo*-Synthese von Enzymen, wie z.B. den α -Amylasen oder den Endo- β -Glucanasen (s.u.). Bei erhöhten CO₂-Gehalten (mehr als 10 %) flacht deren Bildung jedoch wieder stark ab. *Narziss & Friedrich* (7) konnten nachweisen, dass eine reine Wasserweiche, die eine O₂-Aufnahme begrenzt, nur zu einem geringen Anstieg der Aktivität der relevanten Enzyme führt; ausgedehnte Luftrasten hingegen bewirken eine deutliche Steigerung der Enzymaktivität. Da entsprechende

Aktivitätsveränderungen der Glucanasen direkt die Ausprägung des β -Glucan-Abbaus und damit die Filtrierbarkeit der Maische beeinflussen, kommt der Erfassung dieser Enzymaktivitäten in Abhängigkeit vom physiologischen Status der Gerste und von den Randbedingungen des Mälzens für die Erfassung der beobachteten Heterogenitäten eine besondere Aufmerksamkeit zu.

In Bezug auf die beobachteten Heterogenitäten beim Mälzen ist vor allem die Tatsache bemerkenswert, dass auch Endopeptidasen und andere Endo-Enzyme empfindlich gegen eine Anreicherung von CO_2 im Keimgut sind. Dazu zählen auch die Endo- β -Glucanasen, die für einen ausreichenden Zellwandabbau essentiell sind (s. u.), um später im Brauprozess Filtrationsschwierigkeiten zu vermeiden (8).

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Aktivität der Lipoxygenase (LOX I) maßgeblich durch den O_2 -Gehalt während des Weich- und Keimvorganges beeinflusst wird. *Ketterer* (9) konnte nachweisen, dass sich die Lipoxygenaseaktivität umgekehrt proportional zum O_2 -Gehalt verhält. Eine erhöhte Lipoxygenaseaktivität führt zu einer verstärkten Bildung von Precursoren, die im Bier oxidativ zu Alterungscarbonylen umgesetzt werden und somit zu einer vorzeitigen Geschmacksveränderung.

Die Stoffwechselfvorgänge, die im Zuge der einsetzenden Wasseraufnahme während des Weichens im Korn ausgelöst werden, haben einen großen Einfluss auf die O_2 - und CO_2 -Konzentration. Bereits 4 bis 5 Stunden nach Beginn des Weichens hat der Atmungskoeffizient einen Wert von 1,8 erreicht, d.h. die CO_2 -Bildung ist höher als die O_2 -Aufnahme (10). Unter diesen Bedingungen läuft neben der Atmung auch ein Gärungsstoffwechsel ab, der eine Bildung von Ethanol zu Folge hat. Dabei wurde festgestellt, dass bereits ein Alkoholgehalt von 0,1% ein ungleiches Wachstum hervorrufen kann. Darüber hinaus übt das entstehende CO_2 eine hemmende Wirkung auf das Keimlings-Wachstum aus, selbst dann, wenn zusätzlich genügend O_2 zur Verfügung steht; das CO_2 verhindert die volle Ausnutzung des O_2 .

In Hinblick auf die zu bearbeitende Thematik ist es von großer Bedeutung, dass gerade während der Nassweiche keine gleichmäßige Sauerstoffverteilung möglich ist. Beim Einblasen von Luft steigt die Sauerstoffkonzentration von unten nach oben hin an, während bei ständigem Wasserzufluss die Sauerstoffkonzentration im unteren Teil der Weiche am höchsten ist (11). Der Sauerstoffgehalt des Wassers ist auf diese Weise bereits in der Mitte der Weiche verbraucht (6).

Eine Untersuchung der Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Ethanolgehalte im weichenden Korn zeigte, dass es bei Flachbodenweichen besser gelang, durch Belüftung das Absinken des O_2 -Gehaltes im Weichwasser hinauszuzögern als in einer zylindrokönischen Weiche. Die Belüftung führte zu CO_2 -Gehalten, die in der ersteren nur 15 – 20% dessen betragen, was sich in der zylindrokönischen Weiche ansammelte. So erreichte auch der Ethanolgehalt im Korn mit $10 \mu\text{g/Korn}$ nur ein Drittel des Wertes wie beim zylindrokönischen Weichtyp. In diesem stieg der CO_2 -Gehalt von der oberen zur unteren Konusschicht von 0,36 auf 1,9 g/L (12).

Aalbers et al. (13) untersuchten die O_2 -Gehalte in verschiedenen Weichsystemen und wiesen dabei erhebliche Unterschiede im O_2 -Gehalt an verschiedenen Messpunkten nach. Die O_2 -

Konzentrationen, die in dieser Untersuchung festgestellt wurden, lagen je nach System zwischen 0,1 und 8,0 mg/l. Bisher besteht jedoch noch sehr lückenhaftes Verständnis darüber, inwieweit derartige Unterschiede im O₂-Gehalt auch zu unterschiedlichen Keimeigenschaften der Gerste führen, es ist jedoch davon auszugehen, dass diese daraus resultieren. In den zuvor genannten Untersuchungen konnte ferner festgestellt werden, dass eine rasche und gleichmäßige Ankeimung nur durch eine kontinuierliche Luftumwälzung und damit Verteilung des Sauerstoffs gewährleistet ist. Den Autoren zu Folge, stellt eine zylindrokonische Weiche mit zentraler Pressluftdüse, die das Gut über ein Steigrohr umwälzt, die intensivste und gleichmäßigste Belüftung des Gutes sicher.

Überraschend ist die Tatsache, dass der Einsatz von reinem Sauerstoff keine günstigeren Ergebnisse bezüglich eines gleichmäßigen Ankeimverhaltens brachte; im Gegenteil Sauerstoff war in gleicher Weise abträglich wie eine CO₂-Atmosphäre (14).

Ein Vergleich verschiedener Weichsysteme hinsichtlich der O₂-Verhältnisse bzw. der CO₂-Konzentrationen wurde bisher nicht umfassend beschrieben, obwohl - bedingt durch erhebliche technologische Unterschiede - auch qualitative Unterschiede im Endprodukt Malz die Folge sein dürften. Darüber hinaus fehlen gesicherte Daten, die belegen, inwieweit die Belüftung während des Weichvorganges die Initiierung des Keimvorganges stimuliert und gegebenenfalls auch sauerstoffbedingte Stressreaktionen hervorruft. Hier sollte die Bestimmung von verlässlichen biochemischen Markern (s. u.) wertvolle Informationen liefern. Eine Optimierung der Belüftung sollte eine homogenere Verteilung der Luft im Keimgut zur Folge haben und damit einen homogenen Ankeimvorgang gewährleisten und auch zu Kosteneinsparungen führen.

Prozessbedingt ergeben sich auch aus dem Darrprozess zwangsläufig weitere Ungleichmäßigkeiten hinsichtlich der Malzqualität (3). Im Regelfall setzen die Mälzereien heute Einhorden-Hochleistungsdarren zur Trocknung des Grünmalzes ein. Die Betthöhen des Trockengutes liegen dabei anfänglich in einer Größenordnung von 60 bis 120 cm (5). Da die warme Luft dem Grünmalz ausschließlich von unten über die Horde zugeführt wird, ist in diesem Bereich der Trocknungsvorgang schneller und führt zu einer früheren Fixierung der qualitativen Merkmale und der Enzyme. Durch den stärkeren Wärmeeintrag zu Beginn des Trocknungsvorganges werden temperaturempfindliche Enzyme in diesem Bereich stärker inaktiviert. Damit ergibt sich ein Gradient innerhalb des Trockengutes mit zunehmender Höhe. Die sich daraus ergebende Heterogenität des Produktes kann ebenfalls zu den bereits angesprochenen Verarbeitungsschwierigkeiten führen.

Systeme mit Darrwendern, die während des Trocknungsvorganges für eine Umschichtung des Trockengutes führten, sind heute nicht mehr im Einsatz. Ebenso werden Vertikaldarren, auf denen mit erheblich geringeren Betthöhen im Trockengut gearbeitet wurde, heute nicht mehr eingesetzt. Letzteres trifft auch für so genannte Keim-, Darrtrommeln zu, die aufgrund der geringen Chargengrößen heute wirtschaftlich nicht mehr zu betreiben sind. Abhilfe kann eigentlich nur über eine Verringerung der Betthöhe des Trockengutes erfolgen, was jedoch mit vergrößerten Darrflächen und damit hohen Investitionskosten verbunden ist (15).

Im Gegensatz zu den Keimungsprozessen gibt es bislang kaum biochemisch-pflanzenphysiologische Untersuchungen der Stoffwechselprozesse, die während des Trocknens ablaufen. Die Etablierung und Nutzung entsprechender Marker, z.B. der GABA-Konzentration oder der Dehydrin-Expression (s. u.) zur Bestimmung von Stoffwechselheterogenitäten (16) in unterschiedlichen Schichten sollten grundsätzlich zu neuen Erkenntnissen hinsichtlich des thermischen Stresses beim Trocknungsvorgang führen und damit die Basis schaffen, um sowohl neue Strategien der Trocknung zu entwickeln als auch eine Limitierung derselben innerhalb einer bestimmten Größenordnung zu erreichen.

Stoffwechselprozesse während des Mälzens:

Aus brautechnischer Sicht werden die Prozesse, die im Zuge des Mälzens in den Gerstekörnern ablaufen, häufig vereinfacht in mehrere Phasen unterteilt: die Wasseraufnahme während der Weiche löst den Keimvorgang aus, der in den Keimkästen weiter voranschreitet. In dieser Phase kommt es zur Enzyymbildung, die zur "Lösung" des Kornes führt, d.h. dem Abbau von Zellwänden im Endosperm (17). In der anschließenden Darre wird die Keimung durch Feuchtigkeitsentzug unterbrochen, und Aromastoffe werden gebildet. Diese pragmatische Darstellung, die sich zur Beschreibung des Gesamtprozesses bewährt hat, lässt allerdings völlig unberücksichtigt, dass die in den Samen stattfindenden Stoffwechselprozesse sehr komplex sind und auf ganz unterschiedliche Stoffwechselsituationen zurückzuführen sind. In diesem Kontext kommt neben der Samenkeimung und der anschließenden Sämlingsentwicklung vor allem dem Stress-Metabolismus, der durch die voranschreitende Trocknung induziert wird, eine besondere Bedeutung zu. Diese komplexen Stoffwechselsituationen, in denen sehr viele Stoffwechselprozesse eingebunden sind, die teils parallel und zum Teil nacheinander, bzw. aufeinander aufbauend ablaufen, werden häufig als Stoffwechsel-Syndrome bezeichnet (18):

Keimung In orthodoxen Samen - also auch in den Gerstesamen - wird die Samenruhe durch die Quellung, also die Aufnahme des Wassers, gebrochen, und damit die Keimung eingeleitet. In der Folge kommt es zur Genexpression und anschließender Biosynthese der keimungsspezifischen Enzyme und zur Wiederaufnahme der Zellzyklusaktivität und der Zellteilung. Die Reservestoffe werden abgebaut und das Wachstum des Embryos setzt ein. Mit dem Durchtritt der Keimwurzel (Radicula) durch die Samenschale ist die eigentliche Keimung bereits abgeschlossen (19). In der anschließenden Phase der Sämlingsentwicklung verlängert sich die Keimwurzel und die Sprossachse mit den Keimblättern (Cotyledonen) entfaltet sich¹.

Trockenstress Eine drastische Absenkung des Wassergehaltes pflanzlicher Gewebe vermindert maßgeblich deren Vitalität und führt letztendlich zum Absterben der Zellen. Im Zuge der Evolution haben sich unterschiedliche Mechanismen etabliert, die

¹ Obgleich botanisch nicht ganz korrekt, werden häufig auch noch die ersten Phasen der Sämlingsentwicklung als „Keimung“ bezeichnet. Auch in der Mälzerei hat sich dieser unsaubere Gebrauch des Begriffs "Keimung" etabliert. Um Missverständnissen vorzugreifen, werden deshalb auch in diesem Antrag die ersten Schritte der Sämlingsentwicklung noch der Keimung zugeordnet. Damit sind definitionsgemäß sämtliche Stoffwechselprozesse, die beim Mälzen, der Keimung oder der Sämlingsentwicklung zuzuordnen wären, Keimungsprozesse.

es den Pflanzen ermöglichen, sich vor den negativen Auswirkungen eines einsetzenden Trockenstresses zu schützen (20-22). Dabei kommt es zur Akkumulation von niedermolekularen Substanzen, z.B. von speziellen Aminosäuren (23-28) und zur Bildung spezifischer Proteine (29). Die Wirkungsweisen dieser Stress-Mechanismen sind vielfach noch nicht verstanden, doch besteht kein Zweifel, dass die entsprechenden Reaktionen eine große Bedeutung für die Vitalität der gestressten Gewebe haben.

Die relevanten Stoffwechselprozesse im Detail

Keimung: Als Folge der Wasseraufnahme lassen sich als erste physiologischen Aktivitäten in den Samen die Reparatur trockenungsbedingter Schäden, wie die Instandsetzung der DNA und die Rekonstitution der Zellmembranen sowie erste Proteinbiosynthesen nachweisen. Dabei wird die während der Samenreifung gebildete und gespeicherte mRNA (30; 31) translatiert. In der folgenden zweiten Phase nehmen die zunehmenden metabolischen Aktivitäten in der Zelle deutlich zu; dies sind in erster Linie die Transkription und Translation keimungsspezifischer Enzyme, die Neubildung von Zellorganellen und Zellteilungen. Zu Beginn der dritten Phase bricht dann die Radicula durch die Testa, womit die Keimung abgeschlossen ist und das Keimlingswachstum beginnt. Neben der rasch zunehmenden metabolischen Aktivität ist die umfassende Mobilisierung der Reservestoffe typisch für diese Entwicklungsphase (19; 32). Damit sind für eine verlässliche Quantifizierung des Voranschreitens von Keimungsprozessen zwei Stoffwechselsituationen von besonderem Interesse, nämlich die Transkription keimungsspezifischer Enzyme und die Aktivität der Reservestoff-abbauenden Enzyme. Generell gilt die Expression der Enzyme des Glyoxylat-Zyklus - in erster Linie die Expression der Isocitratlyase (ICL) als zuverlässiger Marker keimungsinduzierter Transkriptionsprozesse (33). Für die Untersuchung der Gen-Expression in keimenden Gerstesamen kommt der α -Amylase eine besondere Bedeutung zu, deren Regulation antagonistisch durch die Pflanzenhormone Abscisinsäure und Gibberelline erfolgt. Die komplexe Regulation dieser Genexpression wurde eingehend mittels Reporter-Genen unter der Kontrolle von Hydrolase-Genpromotoren (5'-regulatorische DNA Region) untersucht (z.B. 34; 35). Damit stellt die Kombination der Expressionsstudien von ICL und α -Amylase ein verlässliches Markersystem dar, um etwaige Unterschiede in Induktion und Voranschreiten der frühen Phase der Keimung der Gerstesamen als mögliche Ursache der beobachteten Heterogenitäten beim Mälzen zu erfassen. Die Untersuchungen zum weiteren Verlauf der Keimung sollen anhand der Aktivität von α -Amylase und Glucanasen erfolgen, da diese Enzyme eine wesentliche Rolle bei der Reservestoffmobilisierung spielen.

Die α -Amylase hydrolysiert langkettige α -1,4-D-Glucane; dabei wird Amylose inmitten der Glucan-Kette gespalten (z.B. 17). Die entstehenden Amylose-Bruchstücke können ihrerseits wieder von der α -Amylase hydrolysiert werden, dabei nimmt die Affinität des Enzyms zu kürzerkettigen Glucanen deutlich ab (36). Im Zusammenwirken mit β -Amylasen, die vom nicht-reduzierenden Ende der unterschiedlich langen α -1,4-D-Glucane sukzessive Maltose abspalten, wird so die gespeicherte Stärke vollständig zu Maltose abgebaut. In trockenen Getreidekörnern liegt nur wenig α -Amylase vor. Erst im Zuge der Keimung wird die Genexpression der α -Amylase durch Gibberilline in der Aleuronschicht induziert (37). Die

synthetisierte α -Amylase wird in das Endosperm sekretiert und leitet dort den Stärkeabbau ein. Die α -Amylase ist ein sehr hitzestabiles Enzym, das auch für die Bierherstellung von großer Bedeutung ist (17).

Ein großer Anteil der Zellwände des Endosperms von Gerstesamen besteht aus hochmolekularen β -Glucanen. Im Zuge der Keimung werden auch diese Reservestoffe mobilisiert (17). Die entsprechende Hydrolyse wird von β -Glucanasen katalysiert, deren Aktivität im Laufe der Keimung massiv zunimmt (38). Der für den sich entwickelnden Keimling sehr wichtige Reservestoff-Abbau hat aber auch eine große Bedeutung für die Bierbrauerei, denn dadurch werden die unlöslichen, langkettigen β -Glucane in lösliche Bruchstücke gespalten. Entsprechend wurde die β -Glucanase früher auch als Glucan-Solubilase bezeichnet (39). Wird die Keimung und damit die Erhöhung der β -Glucanase-Aktivität im Zuge des Mälzens zu früh abgebrochen, so verbleibt eine zu große Menge der hochmolekularen Glucane in der Maische und Würze, und lagert sich bei niederen Temperaturen zu schleimig-gallertigem Glucan-Gelen zusammen, die letztlich zu einer sehr schnellen Verblockung der Filter während der Bierfiltration führen. Leider gibt es diesbezüglich keine verlässlichen Konzentrationsangaben. Die Verstopfung der Filter führt zu stark reduzierten Durchsätzen und damit zu erheblichen Mehrkosten (1).

Trockenstress: Neben den oben beschriebenen typischen Keimungs-induzierten Reaktionen laufen noch weitere Stoffwechselreaktionen ab. Erst seit kurzer Zeit ist bekannt, dass auch typische Stress-induzierte Reaktionen im Zuge der Samenkeimung stattfinden. Eine der bekanntesten durch Stress induzierten Reaktionen ist die Akkumulation von Prolin (23; 24). Noch weiter verbreitet ist die Stress-induzierte Akkumulation der nicht-proteinogenen Aminosäure γ -Aminobuttersäure (GABA) (25 - 28). Es wird angenommen, dass diese Substanzen entweder als "compatible-solutes" fungieren und den Salzhaushalt ausgleichen oder eine allgemein stabilisierende Wirkung auf Membranen und Zellorganelle ausüben.

Die bei Wasserverlust in den Pflanzenzellen akkumulierte GABA² wird durch eine einfache Decarboxylierung von Glutaminsäure gebildet (40; 41). Diese Reaktion wird durch eine Glutamat-Decarboxylase (GDH) katalysiert, die über das Ca²⁺- Calmodulin-System schnell und effektiv aktiviert wird (42; 43). Da die Aktivierung der GDH und die damit verbundene Bildung von GABA als Reaktion auf viele unterschiedliche Stressoren, wie z.B. Trocken- und Salzstress, Anoxie usw. erfolgt (25 - 28; 41; 44 - 46), ist die Akkumulation von GABA ein zuverlässiger genereller Marker für pflanzlichen Stress, wobei einsetzender Wassermangels einen besonders großen Effekt hat (26 - 28; 46). Damit repräsentiert die GABA-Akkumulation einen idealen Marker für "Stress-Metabolismus" bei der Untersuchung von Nachernte- und Trocknungsprozessen bzw. deren Optimierung (47; 48).

Da GABA jedoch nicht nur bei einsetzendem Trockenstress akkumuliert wird, sondern die GABA-Synthese aus Glutaminsäure auch beim Auftreten von Anoxie und anderer Stress-Situationen induziert wird, kann aus der Analyse der GABA-Akkumulation auch auf die

² Zwar hat GABA im Bier auch eine große Bedeutung als bitterer Geschmacksstoff, doch in diesem Projekt wird GABA in erster Linie als verlässlicher Stoffwechselmarker analysiert. Die Auswirkungen unterschiedlicher GABA- Konzentrationen im Malz auf den Biergeschmack müssten in einem eigenständigen Projekt erfasst werden.

jeweiligen komplexen, aktuellen Stress-Situationen geschlossen werden. Da auch beim Mälzen mehrere Stressoren, bzw. Stress-Situationen (Anoxie, Trockenstress, Hitzestress) parallel bzw. nacheinander auftreten, eignet sich die Bestimmung der GABA-Konzentration in idealer Weise, um die Unterschiede im Stress-Status der Gerste-Samen unterschiedlicher Bereiche zu quantifizieren, um damit die physiologischen Ursachen der Stress-bedingten Inhomogenitäten bei der Malzproduktion erfassen zu können. Darüber hinaus wird GABA in vielen Pflanzen auch im Zuge der normalen Samenkeimung gebildet und akkumuliert (50 - 53). Auch hier ist der Umfang der GABA-Akkumulation stark von den Umweltbedingungen abhängig (45; 54). Besonders gravierend ist der Unterschied in der GABA-Akkumulation in aerob und anaerob keimender Gerste. Allerdings wurde hier, im Gegensatz zu einer durch Anoxie induzierten GABA-Akkumulation in Luzernen- oder Rettich-Blättern (56; 57), von einer drastischen GABA-Akkumulation in den sich aerob entwickelnden Gerste-Keimlingen (58) berichtet, während in den anaerob wachsenden Keimlingen lediglich geringe GABA-Mengen gebildet werden sollen (58). Bislang ist aber noch ungeklärt, ob in Sämlingen überhaupt zwischen einer „keimungsinduzierten“ und einer „stressinduzierten“ GABA-Akkumulation differenziert werden kann, oder ob die Synthese von GABA im Zuge einer „normalen“ Keimung lediglich die heikle Stoffwechselsituation eines keimenden Samens wiedergibt, in der *per se* aufgrund des noch nicht endgültig ausbalancierten Metabolismus ein genereller Stress-Zustand für den Organismus vorliegt. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass – neben der GABA-Akkumulation – ebenfalls die Stress-assoziierten Dehydrine im Zuge von Keimungsprozessen gebildet werden (58; 59).

Neben einer GABA-Akkumulation reagieren viele Pflanzenzellen auch mit der Synthese spezifischer Proteine, z.B. den sogenannten Dehydrinen. Hierbei handelt es sich um Stress-assoziierte Proteine, deren Funktion wahrscheinlich in der Stabilisierung der zellulären Struktur liegt (60). Die Bildung von Dehydrinen ist im Pflanzenreich weit verbreitet (61), auch in Gerste, die einem Trockenstress ausgesetzt ist, werden Dehydrine gebildet (62; 63). Wie für andere Pflanzen auch, belegt das Auftreten mehrerer Stressantworten in Gerste, dass es sich auch bei einem durch Trockenstress induzierten Metabolismus um ein komplexes Stoffwechselsyndrom handelt, in das viele unterschiedliche Stoffwechselreaktionen eingebunden sind, die letztendlich alle einen Einfluss auf die stoffliche Zusammensetzung des Malzes und haben und somit die Qualität des Endproduktes beeinflussen.

Damit repräsentieren die GABA-Akkumulation und das Auftreten von Dehydrinen verlässliche Werkzeuge, um die Beeinflussung von physiologischen Reaktionen (Keimungs- und Stressstoffwechsel) durch unterschiedliche Mälzungsbedingungen zu erfassen. Und es sollte möglich werden, jene Stoffwechselsituationen aufzuzeigen, die sich für die unterschiedliche Ausprägung der β -Glucanase-Aktivität verantwortlich zeichnen.

3.3 Zielsetzungen des Forschungsvorhabens

In diesem Projekt sollten zunächst die technologischen Ursachen für die Inhomogenitäten untersucht werden, die während des Mälzens entstehen und für die massiven Schwierigkeiten beim Läuter- und Filtrierprozess verantwortlich sind. Es wird angenommen, dass diese Inhomogenitäten aus einer unterschiedlichen Zellwandlösung resultieren, d.h. der unterschiedliche enzymatische Abbau von Zellwandbestandteilen wäre ursächlich für die

auftretenden Filtrationsschwierigkeiten. Dieser Zusammenhang sollte im vorliegenden Forschungsprojekt verifiziert werden. Da die Änderungen der Enzym-Aktivitäten direkt vom physiologischen Status der Gerste abhängen, ist es notwendig, diesen mittels verlässlicher Marker zu beschreiben und zu quantifizieren. So kann erfasst werden, inwieweit der physiologische Status durch Veränderungen der Mälzungsbedingungen moduliert werden kann und wie hierdurch der Zellwand- und Reservestoffabbau beeinflusst wird. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die umfassende Kenntnis der Stoffwechselprozesse in den keimenden Gerstesamen. Dabei standen die Quantifizierung von Keimungs- und Stressreaktionen im Vordergrund. Ziel war es - basierend auf den neuen physiologischen Kenntnissen - unter Nutzung vorhandener empirischer Erkenntnisse und unter Einbeziehung verfahrenstechnisch sinnvoller Prozessbedingungen, die Informationen zu erarbeiten, mit deren Hilfe die Mälzung optimiert werden kann, um so das bislang vernachlässigte Problem der Inhomogenitäten des Malzes systematisch beseitigen zu können. Aus diesen Zusammenhängen ergeben sich folgende drei Hauptziele:

1. Erfassung des Ausmaßes und der Bandbreite Prozess-bedingter Inhomogenitäten während des Mälzens, sowie die Ermittlung der zu Grunde liegenden Ursachen
2. Erfassung der Zusammenhänge von Stoffwechselfvorgängen in der keimenden Gerste und den Läuter- und Filtriereigenschaften der Malze
3. Entwicklung von Strategien zur Beeinflussung der Malzqualität, bzw. zur Vermeidung der Schwierigkeiten beim Läutern und Filtrieren der Maische

4 Experimentelle Vorgehensweise

4.1 Einfluss äußerer Faktoren auf die Keimung

An der FS1, TU Braunschweig, wurde eine Reihe von Laborexperimenten durchgeführt, um die Stoffwechselfvorgänge in den Gerstesamen unter variierenden Keimungsbedingungen (O_2 -Konzentration, CO_2 -Gehalt, Belüftung in der Weiche) zu erfassen.

Für sämtliche Studien wurde ein einheitliches Weich- und Keimsystem verwendet. Bei der Weiche handelte es sich um eine Vollweiche: jeweils 150 g Gerstesamen wurden für 24 h in 1 L Wasser in einem Erlenmeyerkolben gequollen (Abb.1 a). Nach dem Weichen wurden die gequollenen Gerstesamen möglichst schnell in die Keimkästen überführt, in denen sie für weitere 72 h inkubiert worden sind (Abb. 1 b). Die Weiche und der Keimkasten waren so konzipiert, dass das Weich- bzw. Keimgut während der gesamten Inkubationsdauer (96 h) möglichst gleichmäßig mit Luft bzw. den entsprechenden Gasgemischen durchströmt werden konnte. In der Weiche wurden die Gase mittels einer Fritte direkt in das Weichgut eingeleitet, das mittels eines Magnetrührers stetig durchmischt wurde (Abb. 1 a). Die Keimkästen wurden mit einem Sieb auf einem Podest und mit Ventilen ausgestattet, so dass das in dünner Schicht (2 cm) ausgebreitete Keimgut direkt mit den entsprechenden – zuvor in Gaswaschflaschen wassergesättigten – Gasen durchströmt werden konnte (Abb. 1 b). Der Gasfluss wurde konstant bei 30 L/h gehalten, die Temperatur betrug während des gesamten Keimungsprozesses konstant 18°C.

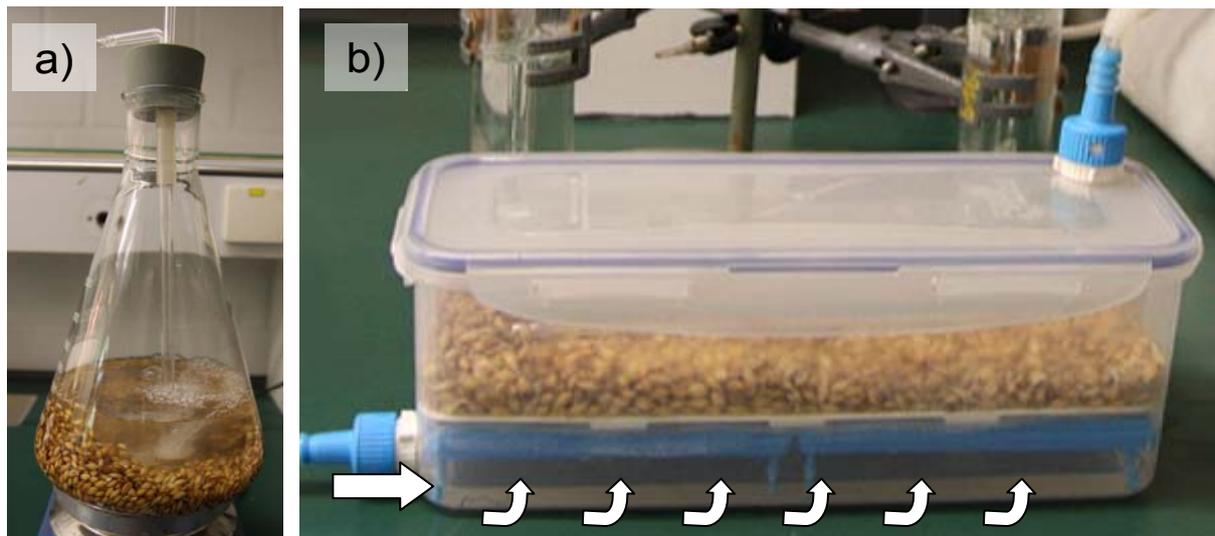


Abb. 1: Experimentelle Weiche (a) und Keimkasten (b)

- a) 150 g Gerste wurden in 1 L Wasser geweicht. Das Weichgut wurde mittels eines Magnetrührers kontinuierlich durchmischt. Die Gase wurden über eine Fritte direkt in das Weichgut eingeleitet.
- b) Die Gerstesamen im Keimkasten wurden über ein Einlassventil von unten begast (unten links im Bild). Das Auslassventil ist rechts oben zu sehen.

In Verlauf der Inkubation wurden in regelmäßigen Zeitabständen (0, 24, 32, 48, 56, 72, 80, 96 h) jeweils 2 Teelöffel Probenmaterial entnommen. Von 50 Samen dieses Probenmaterials wurden die Embryonen zur Längenbestimmung der Blattkeime präpariert, das verbleibende Material wurde in flüssigem Stickstoff schockgefroren und bis zu den biochemischen Analysen bei -20°C gelagert.

Um Keimungsprozesse nachzuweisen, wurden die Aktivitäten der Keimungs-relevanten Enzyme α - und β -Amylase sowie die der β -Glucanase ermittelt. Hierfür wurden entsprechende Enzymassays von Megazyme (Ireland) verwendet. Gärungsprozesse wurden über die Ethanolkonzentration in der Abluft nachgewiesen. Zu diesem Zweck wurde die Luft bzw. die Gasgemische am Auslassventil in einem Plastikbeutel gesammelt und manuell in ein Atemluft-Alkoholmessgerät gepresst (Alcotest 7410^{Plus}, Dräger, Deutschland). Als Marker für den generellen Stress-Stoffwechsel wurden die GABA-Gehalte mittels HPLC quantifiziert; die Analytik erfolgte dabei nach Bytof et al. (47). Außerdem wurden die präparierten Blattkeime der letzten Probennahme einem Vitalitätstest unterzogen. Dabei werden die Blattkeime über Nacht in einer 1 %-Triphenyltetrazolium (TTC)-Lösung inkubiert. Nur vitale Gewebe werden in Gegenwart von TTC-Lösung dunkelrot gefärbt, wohingegen in der Vitalität geschwächtes oder abgestorbenes Gewebe nur wenig bzw. keinerlei Rotfärbung zeigt.

Folgende Ansätze wurden durchgeführt:

Standard:	1. Luft in Weiche und Keimkasten
O ₂ -Mangel:	2. Stickstoff (100% N ₂) in Weiche und Keimkasten 3. Luft mit vermindertem O ₂ -Gehalt (1% O ₂) 4. Stickstoff (100% N ₂) in Weiche und Keimkasten + GA ₃
Erhöhtes CO ₂ :	5. Luft angereichert mit 5% CO ₂ in Weiche und Keimkasten 6. 80% CO ₂ + 20% O ₂ in Weiche und Keimkasten

4.2 Erfassung der biologischen Variabilität - Einzelkornanalysen

Hierzu wurde ein Standard-Ansatz mit kontinuierlicher Belüftung durchgeführt, wie er im Abschnitt 4.1 beschrieben ist. Anstatt aus dem entnommenen Probenmaterial eine Mischprobe zu erstellen, wurden für jeden zu analysierenden Parameter jeweils 15 Gerstekörner entnommen. Die einzelnen Samen wurden in flüssigem Stickstoff schockgefroren, homogenisiert, gefriertrocknet und biochemisch analysiert. Dazu mussten die Bestimmungsmethoden für die Enzymaktivitäten (α -Amylase, β -Amylase und β -Glucanase) bzw. die flüssigchromatographische Quantifizierung des Stressmetaboliten GABA an die spezifischen Voraussetzungen von Einzelkornanalysen angepasst werden. Die eingesetzten Volumina für die Extraktionspuffer etc. wurden proportional so weit reduziert, dass es möglich wurde mit nur 30-50 mg Ausgangsmaterial (dem Trockengewicht eines Gerstekorns) zuverlässige und reproduzierbare Analysen durchzuführen. In den nachfolgenden Abbildungen sind die erhaltenen Werte in Form einer Häufigkeitsverteilung für die einzelnen Probenzeitpunkte aufgetragen. Durch diese Vorgehensweise wird es möglich, die natürliche Variabilität (biologische Bandbreite) der Gerstekörner bezüglich der einzelnen Stoffwechselfparameter über den Zeitverlauf des Mälzens darzustellen, ohne dass die Werte durch prozessbedingte Heterogenitäten (z.B. unterschiedliche Sauerstoff-Versorgung) beeinflusst werden.

4.3 Forschungsaufenthalt bei der Mälzerei DURST

Anfang August 2010 fand ein gemeinsamer Forschungsaufenthalt von FS1 und FS2 bei der Mälzerei DURST-MALZ in Bruchsal-Heidelsheim (Deutschland) statt. Dabei wurden die Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentrationen in verschiedenen Weich- und Keimsystemen unter Praxisbedingungen erfasst. Des Weiteren wurden mehrere Reihen von Weich- und Darrexperimenten durchgeführt.

4.3.1 Datenaufnahme

Bei der Erfassung Prozess-bedingter Inhomogenitäten wurden vor allem die Parameter berücksichtigt, die voraussichtlich einen starken Einfluss auf die resultierenden Malzqualitäten aufweisen. Daher wurden die Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration sowie die Temperatur, der pH-Wert und der Luftdurchsatz in den einzelnen Prozessschritten

einer vollständigen Mälzung erfasst. Zu diesem Zweck wurde eigens an der TU Berlin ein tragbarer Korb mit den entsprechenden Messgeräten zur Datenerfassung bestückt, um für die Messungen in den unterschiedlichen Anlagen zwischen den Gebäuden hin- und herwechseln zu können. Für die biochemisch-molekularbiologischen Analysen der Stoffwechsel-Parameter an der TU Braunschweig musste sichergestellt werden, dass das Probenmaterial direkt vor Ort in flüssigem Stickstoff schockgefroren und bis zu den Analysen in den Laboren der TU Braunschweig tiefkalt gelagert werden kann. Hierfür wurde eine komplette Cryo-Ausrüstung nach Bruchsal transportiert. Die Malzproben wurden nach dem Schockgefrieren bis zum Transport nach Braunschweig in Trockeneis gelagert.

4.3.2 Weichexperimente

Drei unterschiedliche Weichsysteme wurden miteinander verglichen. Bei der ersten Weiche wurde nicht belüftet, bei der zweiten wurde während der Luftrasten das entstehende CO₂ abgesaugt und bei der dritten wurde über Nacht mit Druckluft von unten belüftet. In Tabelle 1 werden die drei unterschiedlichen Weichsysteme und das verwendete Weichprogramm gegenübergestellt.

Tab. 1: Untersuchte Weichsysteme und verwendete Weichprogramme

	⊗ Ohne Belüftung	↓ Absaugung (LR)	↑ Belüftet (ü. N.)
1. Nassweiche:	3 h	3 h	3,5 h
1. Luftrast:	25 h	22,5 h	16 h
2. Nassweiche:	4 h	4,5 h	0,6 h
2. Luftrast:			23 h
3. Nassweiche:			0,25 h

Die zylindrokonischen Weichgefäße wiesen eine Tiefe von ca. 3,5 Meter auf. Die Füllmengen lagen bei 15 t (ohne Belüftung), 17 t (CO₂-Absaugung) und 27 t (Belüftung ü. N.). Für sämtliche Versuche wurde als Ausgangsmaterial die gleiche Charge Braugerste (Sorte Braemar) aus einem Silo verwendet. In die Weichen wurde jeweils eine Metallschiene eingelassen, mit deren Hilfe jeweils drei Probensäckchen aus Gaze mit 800 g Gerste in unterschiedlichen Tiefen der Weiche (0,4, 1,6 und 2,6 m) eingebracht wurde (siehe Abb. 2). Außerdem wurde jeweils ein weiteres Probensäckchen am Rand genau in der Schulter der zylindrokonischen Weichen versenkt. Sämtliche Probensäckchen wurden mit Verschlauchungen versehen, so dass direkt an den Stellen, wo das Probenmaterial in den Weichtanks ausgebracht wurde, auch die Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentrationen gemessen werden konnten.

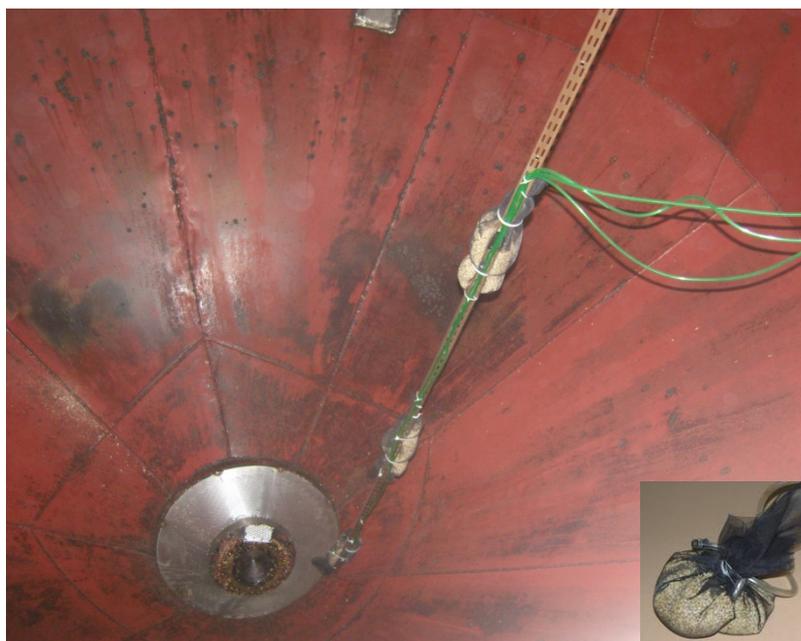


Abb. 2: Weichanlage (Typ CO₂-Absaugung) mit eingebrachten Probensäckchen

Das Foto entstand kurz vor dem Befüllen der Weiche. An der Metallschiene sind die eingebrachten Probensäckchen befestigt, die sich nach dem Befüllen in 0,4, 1,6 bzw. 2,6 m Tiefe des Weichguts befanden. Unten rechts in der Ecke ist das vierte Probensäckchen zu sehen, das am Rand des Weichtanks exponiert wurde. Die Probensäckchen wurden mit Verschlauchungen versehen, um die Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentrationen an den entsprechenden Stellen im Weichgut aufnehmen zu können.

Im Anschluss an die Weiche wurden die aus den unterschiedlichen Schichten der Weichtanks stammenden Malze separat in der firmeneigenen Labor-Kleinmälzungsanlage weiter vermälzt (nach MEBAK; 64), um die weitere Keimung und die Darre unter möglichst homogenen Bedingungen für alle Malze durchführen zu können. Für die biochemisch-molekularbiologischen Analysen der Stoffwechsel-Parameter in den Laboren der TU Braunschweig wurde in regelmäßigen Zeitabständen Probenmaterial direkt vor Ort in flüssigem Stickstoff schockgefroren und bis zum Transport tiefkalt in Trockeneis gelagert. Die im Zuge dieser Experimente erstellten Darr-Malze wurden den Malzanalysen an der FS2 (TU Berlin) zugeführt.

4.4 Experimente im Labor- und Pilotmaßstab

Im Folgenden sollen kurz die Mälzungsanlagen beschrieben werden, die für die Versuche im Labor- und Pilotmaßstab eingesetzt wurden. Der Übersicht halber sind die bei den Versuchen angewendeten Parameter im zugehörigen Ergebnisteil beschrieben.

4.4.1 Weichversuche im Labormaßstab (Exsikkator)

Mit dem in Abbildung 3 dargestellten Versuchsaufbau wurde der Einfluss der Weichtemperatur auf den Sauerstoffverbrauch durch die Gerste, auf die resultierende Malzqualität und den GABA-Gehalt ermittelt.

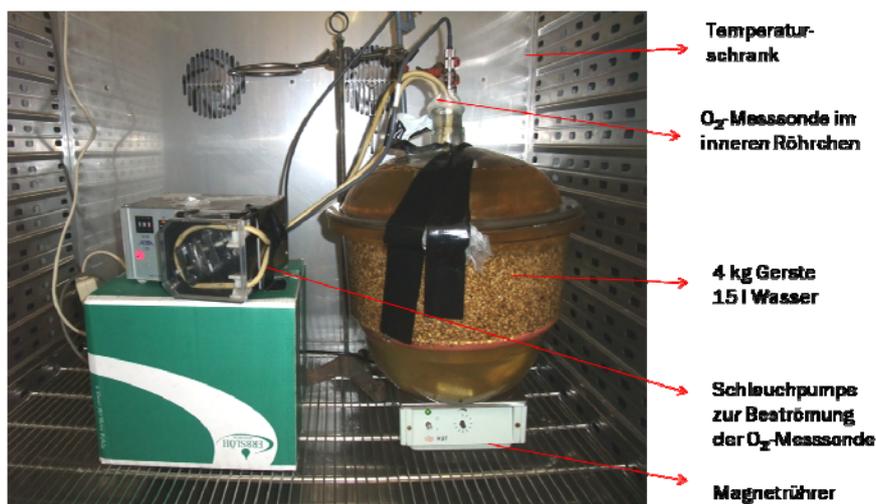


Abb. 3: Aufbau der Weichversuche im Exsikkator zur Aufnahme des Sauerstoffverbrauches

Der umgebaute und mit einem Siebboden versehene Exsikkator wurde für die Versuche jeweils mit 4 kg Gerste und 15 L sauerstoffgesättigtem Wasser befüllt und annähernd luftdicht verschlossen. Zur Sicherstellung einer konstanten Temperatur wurde das Wasser und die Gerste vor dem Versuch auf die verschiedenen Weichtemperaturen (13, 17, 21 °C) vortemperierte und die Versuche in einem Temperierschrank durchgeführt. Das unter dem Siebboden befindliche Freiraum Weichwasser wurde mit einem Rührfisch homogenisiert und in der Mitte des Weichguts wurde eine Sauerstoffsonde in einem Zylinder eingebettet installiert. Für die Luftrast wurde das Weichwasser abgeschüttet und für die 2. Nassweiche wieder 13,5 L vortemperierte und sauerstoffgesättigtes Wasser eingefüllt. Zur Aufnahme der Sauerstoffverbräuche während der Nassweichen bzw. Luftrasten bei verschiedenen Weichtemperaturen war es notwendig die Sauerstoffsonde mittels Schlauchpumpe mit Weichwasser bzw. mit Luft im Zylinder zu umströmen. Im Anschluss an das Weichen wurden die Proben in der Schmidt-Seeger Kleinmälzungsanlage weitergehend vermälzt.

4.4.2 Schmidt-Seeger Kleinmälzung

Die Kleinmälzungsanlage von Schmidt-Seeger besteht aus zwei computergesteuerten Einheiten, der kombinierten pneumatischen Weich-Keimeinheit mit integrierter Wasserversorgung und der Darreinheit mit Luft- und Heiztechnik (65). In der Weich- und Keimeinheit befindet sich eine Trommel mit 8 Körben, die jeweils mit 800 g Gerste befüllt werden. Im Anschluss an die Keimung werden die Körbe in die Darreinheit gestellt und mit erwärmter Luft, die von unten durch das Grünmalz gedrückt wird, getrocknet. Alle Weich-, Keim- und Darparameter wie z.B. Temperaturen, Belüftung, Wenden, etc. können im Vorhinein programmiert oder manuell eingestellt werden. Die Einstellung der Weichgrade zu Beginn der Keimung erfolgte manuell mittels Aufspritzen am 1. und 2. Keimtag.



Abb. 4: Aufbau der Kleinmälzerei der Firma Schmidt-Seeger

4.4.3 „Eco-Steep“ der Fa. Bühler

Die Pilot-Weichanlage „Eco-Steep“ stellt einen Ausschnitt einer modernen Flachbodenweiche aus dem Hause Bühler dar mit der großindustrielle Weichprozesse simuliert werden können. Der Ausschnitt besteht aus einer etwa 3 m hohen Rohrkonstruktion mit einem Durchmesser von 20 cm. Mittels der Anlage kann ein Weichprozess mit Schütthöhen im Industriemaßstab simuliert werden, wobei in zwei Schichthöhen (30 und 80 cm über dem Siebboden) über Ingoldstutzen Messsonden (z.B. Sauerstoffmessungen) eingebaut werden können. Die Anlage wurde im Projekt dazu benutzt den Einfluss einer Belüftung bzw. Nichtbelüftung während der Nassweichen und Luftrasten zu untersuchen. Die Weiche wurde für die Versuche mit 28 kg Gerste und 25 Liter Leitungswasser befüllt und die resultierende Schichthöhe betrug 120 - 150 cm, in Abhängigkeit vom Weichgrad und damit dem Volumen des Weichgutes. Eine Befeuchtung der Zuluft (Druckluft) wurde über zwei Wasserdüsen gewährleistet. Eine Temperaturregelung ist wie in industriellen Weichhäusern nicht vorgesehen. Der Aufbau, samt Belüftungsvorrichtung, Sauerstoff- und Kohlendioxidmessung, ist in Abbildung 5 zu sehen.

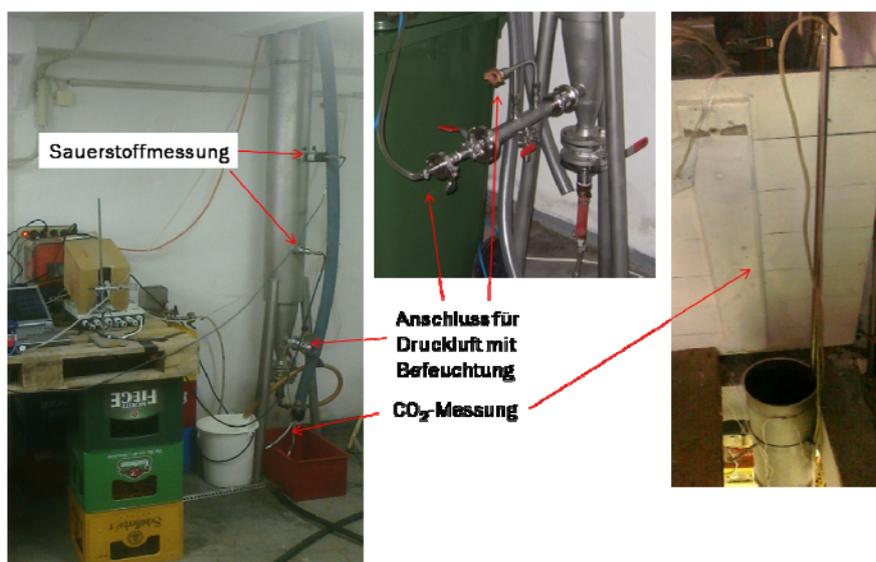


Abb. 5: Aufbau der Eco-Steep-Weiche

4.4.4 Heyl-Mälzerei der VLB-Berlin / Mittelmälzung

Die Weich- und Keimeinheit der „Heyl-Kleinmälzung“ (siehe Abb. 6) des Forschungsinstituts für Rohstoffe der VLB Berlin besteht aus vier angetriebenen Rädern mit jeweils 12 Körben, die mit jeweils 950 g Gerste oder anderen Getreiden, befüllt werden können. Die Räder sind in einer isolierten Klimakammer (automatische Temperatursteuerung, Befeuchtung der Umluft) installiert. Für die Nassweichen werden Wannen mit Wasser befüllt, in die die Körbe auf den Rädern periodisch eintauchen. Während der Luftrast und der Keimung sorgt der Antrieb der Räder für eine gute Belüftung und für das Wenden der Grünmalzproben.

Die „Mittelmälzung“ der VLB Berlin ist ebenfalls ein Heyl-System, allerdings mit 2 Rädern, die jeweils 4 Körbe tragen, mit denen jeweils 25 kg Gerste vermälzt werden können.

Die Grünmalze beider Weich- und Keimsysteme können in zwei baugleichen Darreinheiten gedarrt werden. Dazu werden bei der Kleinmälzung die Körbe in die Darre gestellt. Für das Darren der mit der Mittelmälzung produzierten Grünmalze werden geviertelte Einsätze in die Darre eingebracht und die Grünmalze der Körbe in jeweils ein Viertel gegeben.

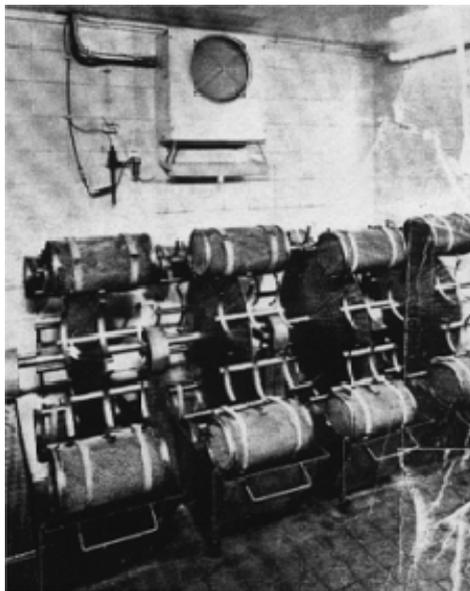


Abb. 6: „Heyl“ Kleinmälzung (66)

4.5 Malzanalysen nach MEBAK

Um die Qualität eines erzeugten Malzes zu untersuchen, und die Malze der verschiedenen Versuche vergleichen zu können, wurden in den Laboratorien des Fachbereichs Brauwesen an der TU-Berlin Malzanalysen nach den Analysenvorschriften der MEBAK durchgeführt (64)

4.6 Läutertest

Zusätzlich wurde ein im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelter Läutertest, der mittels Filtercheck[®]-Apparatur der Firma Stabifix durchgeführt wird, angewendet, um das Läuterverhalten der produzierten Malze zu untersuchen. Pro Probe werden in Dreifachbestimmung 50 g Malz mit einer DLFÜ-Mühle bei einer Spaltbreite von 0,8 mm

gemahlen und mit 180 mL destilliertem Wasser bei 45° C mit einem Maischbad (Fa. Bender & Hobein) eingemaischt. Als Maischprogramm dient das Kongressmaisverfahren (64) mit einem zusätzlichen 10-minütigem Schritt bei 85 °C. Dieser Schritt dient der Sicherstellung einer Inaktivierung aller Enzyme, weil die Läuterversuche je nach Probenanzahl relativ viel Zeit in Anspruch nehmen, und die anderen Maischen dementsprechend noch lange stehen müssen. Nach dem Maischen werden die Maischen auf exakt 200 g aufgewogen und anschließend nach einer 2-minütigen Absetzphase (Läuterruhe) bei 20 °C geläutert. Die Filtratmenge wird über einen Zeitraum von 450 Sekunden gravimetrisch bestimmt und mittels Datenschreiber aufgezeichnet. Nach der Filtration werden die geläuterten Filtratmengen über der Zeit aufgetragen und die Kurvenverläufe der verschiedenen Malze miteinander verglichen.

5 Ergebnisse (Pflanzenbiologisch-Biochemische Untersuchungen)

5.1 Einfluss äußerer Faktoren auf die Keimung

An der FS1, TU Braunschweig, wurden Laborexperimente durchgeführt, um die Stoffwechselforgänge in den Gerstesamen unter variierenden Keimungsbedingungen, wie z.B. O₂-Konzentration, CO₂-Gehalt, Belüftung in der Weiche, zu erfassen.

5.1.1 Einfluss von Sauerstoffmangel

Um die Auswirkungen von Sauerstoffmangel auf die Keimung von Gerste zu untersuchen, wurden insgesamt vier unterschiedliche Ansätze (1-4, siehe Kapitel 4.1) durchgeführt und anschließend die Stoffwechselfparameter analysiert. Ein Ansatz unter strikt anaeroben Bedingungen (100 % N₂) sollte die grundsätzliche Auswirkung von Anoxie auf die Keimung von Braugerste aufzeigen. Mit zwei weiteren Ansätzen (1 % O₂ und 100 % N₂ + GA₃) sollten die möglichen Ursachen der Keimungshemmung durch Sauerstoffmangel untersucht werden. Da bei Sauerstoffkonzentrationen von 1 % die mitochondriale Atmung vollständig gehemmt ist - Oxidasen aber noch sehr aktiv sind - sollte ein entsprechender Keimungsansatz mit 1 % O₂ klären, ob die beobachtete Keimungshemmung auf eine generelle Inhibierung der Atmung oder wichtiger oxidativer Enzyme zurückzuführen ist. Um aufzuklären, ob und inwieweit die Keimungshemmung bei Anoxie auf die sauerstoffabhängige Beeinflussung der Gibberellin-Biosynthese zurückzuführen ist, wurde in einem weiteren strikt anaeroben Ansatz extern Gibberellinsäure zugefügt (100 % N₂ + GA₃).

Unter strikt anaeroben Bedingungen (100 % N₂) wird die Keimung vollständig unterbunden. Keimungs-assoziierte Enzyme, wie die α -Amylase und die β -Glucanase (Abb. 7 a bzw. b), werden nicht gebildet, und die Keimlinge wachsen nicht (Abb. 7 c). Im Gegensatz dazu keimen die in Luft inkubierten Gerstesamen des Standards sehr gut, wie an den stark steigenden Enzymaktivitäten und dem Keimlingswachstum zu erkennen ist. Außerdem gären die Gerstesamen unter anaeroben Bedingungen verstärkt (Abb. 7 d); sie scheinen ihren Energiehaushalt durch fermentative Prozesse zu decken. Im Gegensatz dazu lässt sich für die aerob inkubierten Gerstesamen lediglich zu Beginn der Keimung eine kurze Phase (24 – 48 h) Ethanol und somit fermentative Prozesse nachweisen. Hinsichtlich des Stress-Metabolismus ist festzuhalten, dass durch den O₂-Mangel Stressreaktionen induziert werden (Abb. 7 e). Die

höchsten GABA-Konzentrationen liegen in den anaerob inkubierten Samen mit ca. 35 mg/100 g FG vor. Diese Konzentrationen sind mehr als doppelt so hoch wie die der Samen, die unter Standard-Bedingungen inkubiert wurden (ca. 15 mg/100 g FG).

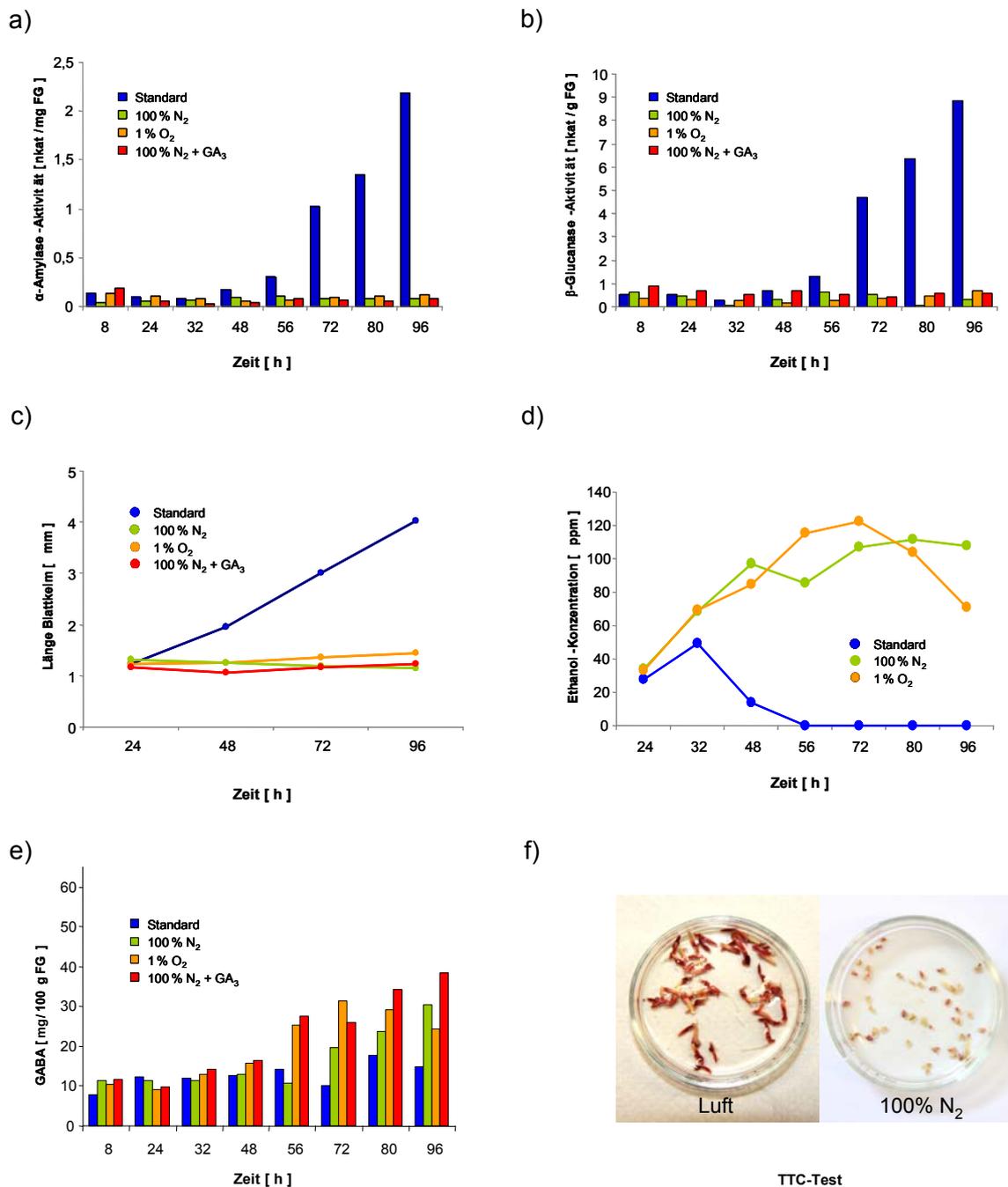


Abb. 7: Einfluss von Sauerstoffmangel auf den Stoffwechsel keimender Gerste

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| a) α -Amylase-Aktivität | b) β -Glucanase-Aktivität |
| c) Wachstumsprozesse | d) Gärungsprozesse |
| e) GABA-Akkumulation | f) Vitalität |

Die Vitalität der Gerstekeimlinge wird durch das Fehlen von O_2 gemindert, die entsprechenden Blattkeimlinge weisen nur eine sehr geringe Rotfärbung nach dem TTC-Test auf (Abb. 7 f).

In Bezug auf die Frage nach den Ursachen der Keimungshemmung durch Anoxie stellte sich heraus, dass sowohl die Hemmung von Oxidasen (z.B. solche die in die Gibberellin-Biosynthese eingebundenen sind) wie auch die generelle Verfügbarkeit von Gibberellinsäure nicht für die Unterbindung der Keimung durch Anoxie verantwortlich sein können, da auch in den beiden entsprechenden Ansätzen (1 % O₂ und 100 % N₂ + GA₃) keine Keimungsprozesse nachgewiesen werden konnten.

5.1.2 Einfluss von erhöhten CO₂-Konzentrationen

Um den Einfluss erhöhter CO₂-Konzentrationen auf die Keimung von Gerste zu untersuchen, wurden Gerstesamen mit 5 % CO₂ in Luft und 80 % CO₂ + 20 % O₂ inkubiert. Beim Ansatz mit 80 % CO₂ wurde durch das Hinzufügen von Sauerstoff sichergestellt, dass trotz der massiv erhöhten CO₂-Konzentration immer auch eine ausreichend hohe, der ambienten Konzentration (21 %) sehr nahe kommende O₂-Konzentration, vorliegt. Durch diese Vorgehensweise wurde die in anderen Studien zu dieser Thematik nicht beachtete Kreuzbeeinflussung des Stoffwechsels durch O₂-Mangel vollständig ausgeschlossen.

Durch diese Studie wurde erstmals zweifelsfrei belegt, dass CO₂ die Keimung von Gerste vollständig hemmt (80 % CO₂ + 20 % O₂). Trotz einer ausreichenden Versorgung mit O₂ ließen sich keine Erhöhungen der Aktivitäten der Keimungs-assoziierten Enzyme nachweisen (Abb. 8 a und b); auch wuchsen die Keimlinge nicht (Abb. 8 c). Stark erhöhte CO₂-Konzentrationen (5 % CO₂) hemmen die Keimung lediglich leicht; im Vergleich zu den Gerstesamen des in Luft inkubierten Standards sind die Enzymaktivitäten und das Keimlingswachstum um ungefähr 20 - 30 % reduziert. Interessanterweise gären die Gerstesamen des Ansatzes mit 80 % CO₂ + 20 % O₂ zu Beginn der Inkubation verstärkt (Abb. 8 d), obwohl ausreichend O₂ für die Respiration zur Verfügung steht. Hier liegt die Vermutung nahe, dass Kohlendioxid die Aufnahme von Sauerstoff oder Atmung hemmen könnte. Im weiteren Verlauf dieser Inkubation nimmt jedoch die fermentative Aktivität wieder ab, und nach 80 h lässt sich kein Alkohol mehr in der Abluft nachweisen. Es scheint, dass durch die massiv erhöhten CO₂-Gehalte die Stoffwechselaktivität vermindert wird.

Hinsichtlich des Auftretens von Stressreaktionen ist festzuhalten, dass im Ansatz mit 80 % CO₂ deutlich erhöhte GABA-Gehalte auftreten (Abb. 8 e). In diesem Ansatz stiegen die GABA-Gehalte im Verlauf der Inkubation auf Werte von über 55 mg/100g FG. Diese Konzentrationen sind somit etwa dreimal so hoch wie die des Standards (ca. 15 mg/100g FG) und übertreffen auch die höchsten Konzentrationen der strikt anaerob inkubierten Gerstesamen noch fast um das doppelte (35 mg/100g FG; Abb. 7 e). Das bedeutet, dass hohe CO₂-Konzentrationen sehr starke Stressreaktionen in den Gerstesamen auslösen. Erhöhungen der GABA-Gehalte konnten allerdings nur dann nachgewiesen werden, wenn hochreines CO₂-Gas für die Inkubationen verwendet wurde. Entsprechende, zuvor durchgeführte Inkubationen mit technischem CO₂ hatten keine Erhöhungen in den GABA-Gehalten zur Folge. Dieser Befund kann dahingehend gedeutet werden, dass das technische CO₂ Verunreinigungen von toxischem Kohlenmonoxid enthält, die grundsätzlich den Stoffwechsel der Gerste beeinträchtigen.

Der TTC-Test ergab, dass CO₂ die Vitalität der Gerstenkeimlinge stark mindert (Abb. 8 f), wie aus der äußerst schwachen Rotfärbung der Gewebe der Blattkeime deutlich wird.

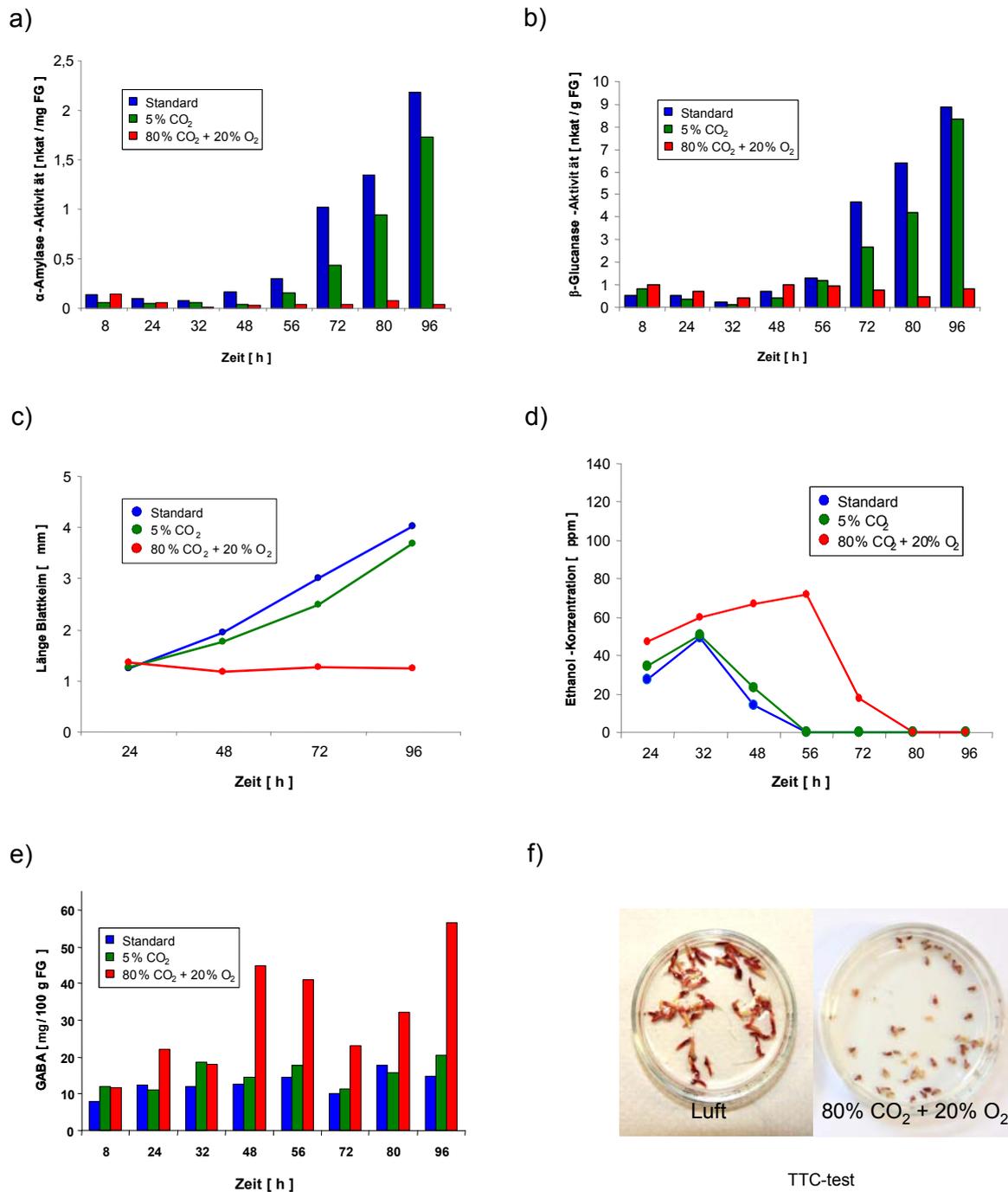


Abb. 8: Einfluss hoher CO₂-Konzentrationen auf den Stoffwechsel keimender Gerste

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| a) α -Amylase-Aktivität | b) β -Glucanase-Aktivität |
| c) Wachstumsprozesse | d) Gärungsprozesse |
| e) GABA-Akkumulation | f) Vitalität |

Die Keimlinge leben auch nach 96 h unter 80% CO₂ noch: legt man die Gerstekörner auf feuchtes Papier in Luft aus, beginnen sie zu keimen. Somit kann ausgeschlossen werden, dass

es sich bei der Unterdrückung der Keimung durch CO₂ um toxische Wirkungen handelt, so wie dies zum Teil in der Mälzerei-Fachliteratur vermutet wurde (67).

5.1.3 Inhomogene Keimungsbedingungen führen zu unterschiedlichen Stoffwechselaktivitäten

Die Untersuchungen ergaben, dass sowohl das Fehlen von Sauerstoff als auch drastisch erhöhte Kohlendioxid-Konzentrationen (80 % CO₂+ 20 % O₂) die Keimung von Gerste unterbinden: Die für die Stärkemobilisierung und den Zellwandabbau verantwortlichen Enzyme - die α -Amylase bzw. die β -Glucanase - werden nicht gebildet, und die Keimlinge wachsen nicht. Stark erhöhte CO₂-Konzentrationen (5 %) führen zu einer leichten Hemmung der Keimung. Die genauen physiologischen Zusammenhänge der Keimungshemmung durch Sauerstoffmangel konnten bislang noch nicht geklärt werden. Da offensichtlich keine Beeinträchtigung der Gibberellinsäure-Biosynthese vorliegt, könnte die Ursache in einer Störung der Perzeption des Wachstumsregulators begründet sein (68). In Bezug auf die Wirkungen von CO₂ auf den Stoffwechsel sind die Hintergründe gänzlich ungeklärt.

Hinsichtlich des Auftretens von Gärungsprozessen ist festzuhalten, dass die Keimlinge unter anaeroben Bedingungen verstärkt gären, also ihren Energiebedarf durch fermentative Prozesse decken. Auch bei sehr hohen Kohlendioxid-Gehalten (80 % CO₂ + 20 % O₂) gären die Keimlinge 2-3 Tage lang verstärkt, obwohl ausreichend O₂ für oxidative Atmungsprozesse vorhanden ist. Im weiteren Verlauf nehmen die fermentativen Prozesse wieder ab und am vierten Tag finden keine Gärungsprozesse mehr statt. Auch für diese neuen Erkenntnisse finden sich in der Literatur keine Grundlagen.

Sowohl das Fehlen von Sauerstoff als auch drastisch erhöhte Kohlendioxid-Konzentrationen (80 % CO₂+ 20 % O₂) führen zu deutlichen Stressreaktionen in den Gerstesamen. Die maximalen GABA-Konzentrationen lagen in diesen beiden Ansätzen bei 35 bzw. 55 mg/100 g FG deutlich höher als im belüfteten Standard-Ansatz, bei dem lediglich 15 mg/100 g FG GABA auftreten. 5 % CO₂ haben keine vermehrte GABA-Akkumulation zur Folge, die resultierenden Gehalte waren genauso hoch wie die des Standards. Somit sollten sich aus den GABA-Konzentrationen eines vorliegenden Grünmalzes durchaus Rückschlüsse auf die Bedingungen in der Weich-Anlage ziehen lassen.

Die Vitalitätstests mit TTC zeigten, dass sowohl Sauerstoffmangel als auch hohe Kohlendioxid-Konzentrationen die Vitalität der Keimlinge stark vermindern. Allerdings handelt es sich hierbei um reversible Effekte. Samen, die im Anschluss an die Inkubationen auf feuchtem Papier an der Luft auslegt werden, beginnen normal zu keimen. Damit liegt also eine echte Keimungshemmung durch CO₂ vor und keine - wie von Mälzern häufig vermutet - toxische Wirkung.

Als Fazit aus diesen Studien ist festzuhalten, dass inhomogene Keimungsbedingungen in den Mälz-Anlagen zwangsläufig zu unterschiedlichen Stoffwechselaktivitäten in den Malzen führen. Dies kann die Ursache für variierenden Qualitäten der Malze sein und die bekannten Schwierigkeiten beim Läutern der Maische und bei der Filtration der Biere hervorrufen.

5.2 Einzelkornanalysen - Laborstudien (natürliche Variabilität)

Im Zentrum dieses Forschungsvorhabens stehen die Erfassung der Ursachen von Heterogenitäten beim Mälzen und die Erarbeitung von verfahrenstechnischen Strategien zu deren Beseitigung. Daher ist es für dieses Vorhaben von großer Bedeutung zu klären, inwieweit derartige Heterogenitäten im Stoffwechsel auf die natürliche Variabilität des biologischen Materials (=Gerstensame) zurückzuführen sind und welchen Anteil darüber hinaus solche Inhomogenitäten haben, die durch prozessbedingte Variabilitäten der Keimungsbedingungen induziert werden. Als erstes galt es durch entsprechende Einzelkornanalysen die natürliche Schwankungsbreite der Gerstesamen zu erfassen und zu beurteilen. Im Anschluss soll die Frage geklärt werden, inwieweit die einzelnen Stoffwechselfparameter beim Mälzen variieren, bzw. inwieweit die Variationsbreite dieser Parameter durch die Prozessführung beeinflusst wird. Bis *dato* gibt es für beide Themenkomplexe keine wissenschaftlichen Arbeiten.

Hierzu wurde ein Standard-Ansatz mit kontinuierlicher Belüftung durchgeführt, wie er im Abschnitt 4.1 beschrieben ist. Anstatt aus dem entnommenen Probenmaterial eine Mischprobe zu erstellen, wurden für jeden zu analysierenden Parameter jeweils 15 Gerstekörner entnommen. Die einzelnen Samen wurden in flüssigem Stickstoff schockgefroren, homogenisiert, gefriertrocknet und biochemisch analysiert (α -Amylase-, β -Amylase- und β -Glucanase-Aktivitäten sowie die GABA-Gehalte). In den nachfolgenden Abbildungen sind die erhaltenen Werte in Form einer Häufigkeitsverteilung für die einzelnen Probenzeitpunkte aufgetragen. Durch diese Vorgehensweise wird es möglich, die natürliche Variabilität (biologische Bandbreite) der Gerstekörner bezüglich der einzelnen Stoffwechselfparameter über den Zeitverlauf des Mälzens darzustellen, ohne dass die Werte durch prozessbedingte Heterogenitäten (z.B. unterschiedliche Sauerstoff-Versorgung) beeinflusst werden.

5.2.1 Natürliche Variabilität der α -Amylase-Aktivität

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel für die Mischproben gezeigt (Abb. 7 und 8 a), steigt die mittlere Enzym-Aktivität der einzelnen Samen bzw. Sämlinge während der Keimung unter Belüftung stetig an; die Säulen verlagern sich im Zuge der Keimung immer weiter nach rechts (Abb. 9). Dabei ist beeindruckend, in welchem Ausmaß die Schwankungsbreite der α -Amylase-Aktivitäten der einzelnen Gerstekörner im Verlauf der Keimung zunimmt. Bereits nach 3 Tagen sind die entsprechenden Säulen-Cluster extrem weit auseinander gezogen.

Zu Beginn des Versuches sind die Gerstesamen hinsichtlich der α -Amylase-Aktivität nahezu homogen: Alle 15 analysierten Gerstekörner - sowohl die ungekeimten als auch die Samen, die lediglich 24 h inkubiert wurden - weisen Aktivitäten zwischen 0 und 0,1 nkat/mg TG auf. Mit der Induktion der Keimung durch die Wasseraufnahme setzen Entwicklungsprozesse, sowie die Synthesen amylolytischer und cytolytischer Enzyme ein. Dementsprechend beginnen die α -Amylase-Aktivitäten der einzelnen Samen nach 48 h zu steigen, die entsprechenden Aktivitäten liegen nun zwischen 0,1 und 0,25 nkat/mg TG. Allerdings ist diese Steigerung lediglich in 8 von 15 Samen nachzuweisen, in den anderen 7 analysierten Samen scheint die Keimung noch nicht soweit voran geschritten zu sein, dass α -Amylase synthetisiert wird.

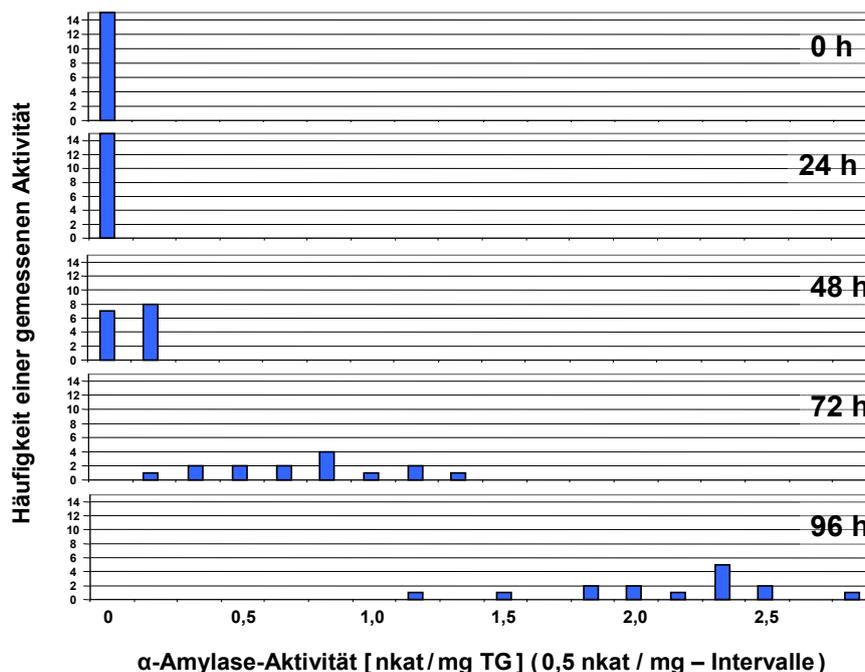


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der α -Amylase-Aktivitäten einzelner Gerstekörner während der Keimung

Nach 72 h hat in allen Samen die keimungsassoziierte Synthese von α -Amylase eingesetzt: alle Körner weisen nun deutlich höhere Aktivitäten auf als das ungekeimte Ausgangsmaterial. Mit Fortschreiten der Keimungsprozesse bzw. den damit verbundenen Enzymsynthesen kommt es allerdings auch zu immer größer werdenden Unterschieden zwischen den Enzymaktivitäten der einzelnen Samen bzw. Sämlingen. Nach 72 h liegt das Minimum bei 0,25 nkat/mg TG und das Maximum bei 1,4 nkat/mg TG, damit unterscheiden sich die beiden Extremwerte um 1,15 nkat/mg TG. Nach 96 h beträgt diese Differenz bereits 1,6 nkat/mg TG (1,3-2,9 nkat/mg TG). Somit ist die Bandbreite der gemessenen α -Amylase-Aktivitäten nach 96 h noch einmal etwa 1,5fach höher als nach 72 h. Offensichtlich entwickeln sich die einzelnen Samen bzw. Sämlinge im Verlauf der Keimung unterschiedlich schnell, obwohl sie unter homogenen Laborbedingungen inkubiert worden sind. Diese überraschenden Ergebnisse zeigen anschaulich, wie inhomogen ein vermeintlich homogenes Malz bezüglich der biochemischen Parameter sein kann - und dies bereits ohne eine Beeinflussung durch prozessbedingte Inhomogenitäten, die sicherlich zusätzlich diese Heterogenitäten verstärken.

Hinsichtlich der mittleren Enzymaktivitäten bleibt festzuhalten, dass diese von anfangs nahe 0 nkat/mg TG im Ausgangsmaterial auf bis zu über 2 nkat/mg TG im Verlauf der Studie ansteigen.

5.2.2 Natürliche Variabilität der β -Amylase-Aktivität

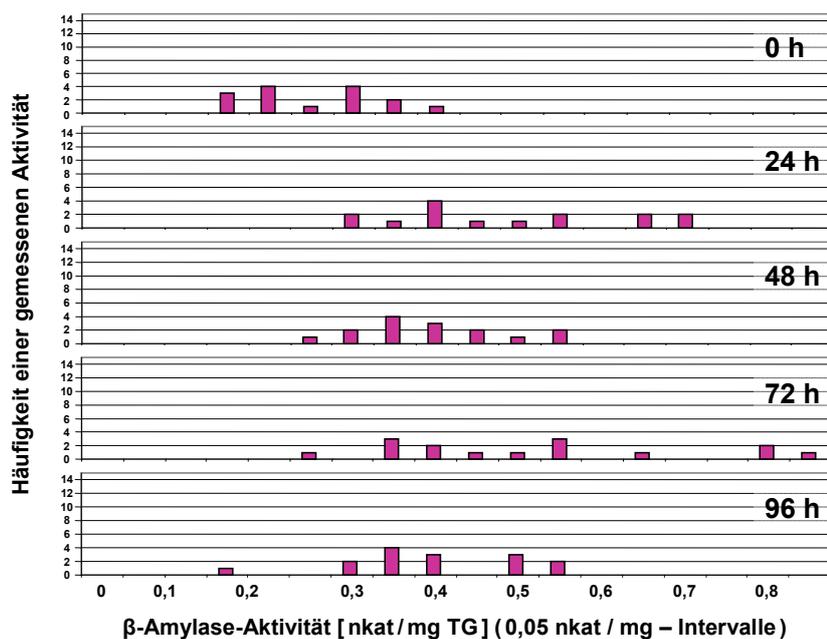


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der β -Amylase-Aktivitäten einzelner Gerstekörner während der Keimung

Für die β -Amylase-Aktivitäten (Abb. 10) ergibt sich im Vergleich zur gerade beschriebenen α -Amylase (Abb. 9) eine völlig andere Häufigkeitsverteilung über den Verlauf der Keimung. Bereits im nicht gewechten Ausgangsmaterial (0 h) liegen beträchtliche β -Amylase-Aktivitäten vor (0,15-0,4 nkat/mg TG). Die mittlere Aktivität wurde mit 0,26 nkat/mg TG bestimmt, die Variationsbreite ist beträchtlich und umfasst bereits 6 Aktivitätsintervalle. Die Streuung beträgt 0,25 nkat/mg TG und entspricht damit fast dem Mittelwert der Aktivität; d.h. auf den Mittelwert bezogen sind Abweichungen um 100 % nach oben oder unten durchaus die Regel. Innerhalb der ersten 24 h der Keimung kommt es zu einem sprunghaften Anstieg der β -Amylase-Aktivitäten, die mittlere β -Amylase-Aktivität wurde für diesen Zeitpunkt mit 0,49 nkat/mg TG ermittelt. Die mittlere Aktivität ist somit fast doppelt so hoch wie im Ausgangsmaterial zu Beginn der Inkubation. Dieser schnelle Anstieg findet zu einem so frühen Zeitpunkt der Keimung statt, an den der Biosynthese-Apparat noch nicht voll funktionsfähig ist. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass es sich bei der Steigerung der β -Amylase-Aktivität nicht um eine Enzym-Neusynthese handelt, sondern um eine Aktivierung von vorhandenem aber inaktivem Enzym, z.B. durch Freisetzung aus inaktiven Komplexen (17). Im weiteren Verlauf der Keimung (24-96 h) verbleiben die Aktivitäten in etwa auf demselben Niveau (im Mittel: 0,44 nkat/mg TG. Dementsprechend scheint im weiteren Verlauf der Keimung, keine nennenswerte Neusynthese von β -Amylase mehr stattzufinden. Die Bandbreite der Aktivitäten liegt mit 0,4 nkat/mg TG während des gesamten Zeitraums auf einem sehr hohen Niveau. Damit unterstreichen diese Ergebnisse die Ableitungen bezüglich der sehr großen Heterogenitäten der biochemischen Parameter im Malz.

Die unterschiedlichen Aktivitäts-Muster von α - und β -Amylase sind lange bekannt. Als Ursache wird in der Standard-Literatur (17) ausgeführt: Bereits im reifen Gerstekorn liegt dieses Enzym sowohl gelöst und aktiv ("freie Form") als auch in einer inaktiven Form (an Proteine gebundenen). Im Gegensatz zur α -Amylase, die erst im Zuge der Keimung neu synthetisiert wird, kann die Aktivität der β -Amylase durch eine einfache Überführung in die lösliche Form erreicht werden. Deshalb kann die Steigerung der β -Amylase-Aktivität bereits zu einem Zeitpunkt erfolgen, an dem der Biosyntheseapparat noch nicht voll aktiv ist.

5.2.3 Natürliche Variabilität der β -Glucanase-Aktivität

Die β -Glucanase-Aktivität (Abb. 11) weist eine sehr ähnliche Häufigkeitsverteilung auf wie die der α -Amylase (Abb. 9). Auch für dieses Enzym lässt sich eine Keimungs-assoziierte Aktivitätssteigerung nachweisen, die nach rund 48 h mit der Wiederaufnahme der Biosynthese einsetzt und die wahrscheinlich ebenfalls auf eine Neusynthese zurückzuführen ist. Auch die Streuung der Werte steigt im Verlauf der Keimung massiv an und liegt nach 96 h bei 7,7 nkat/g TG (Minimum: 9,0; Maximum: 16,7 nkat/g TG). Auf den Mittelwert bezogen (12,4 nkat/g TG) entsprechen diese Aktivitätsunterschiede über 60 %. Es ist sehr beeindruckend, wie stark die individuellen β -Glucanase-Aktivitäten variieren, obwohl die Gerstekörner unter nahezu homogenen Laborbedingungen gekeimt sind.

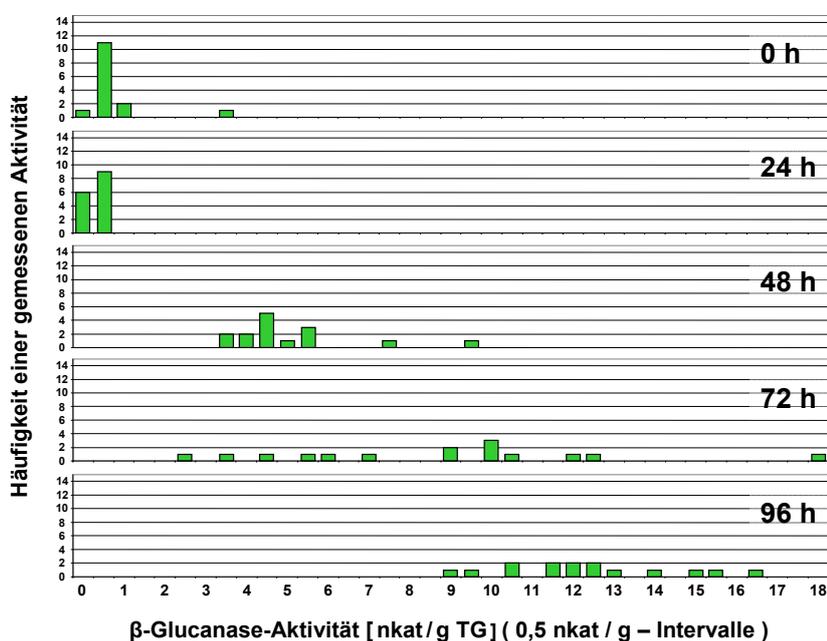


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der β -Glucanase-Aktivitäten einzelner Gerstekörner während der Keimung

Auch diese Ergebnisse lassen vermuten, dass unter Praxisbedingungen mit zum Teil mehreren Meter starken Schichtdicken aufgrund der prozessbedingten Inhomogenitäten noch wesentlich höhere Heterogenitäten bezüglich der β -Glucanase-Aktivitäten zu erwarten sind.

5.2.4 GABA-Gehalte einzelner Gerstensämlinge

Für die GABA-Konzentrationen (Abb. 12) ergibt sich ein gänzlich anderes Verteilungsmuster im Vergleich zu denen der zuvor beschriebenen Enzymaktivitäten (Abb. 9-11). Die Berechnung der mittleren GABA-Konzentrationen ergab für den Verlauf der Keimung eine Verdopplung, von 4 mg/100 g TG in den ungekeimten Gerstesamen (0 h) auf bis über 8 mg/100 g TG nach 24 bzw. 72 h. Dieses Ergebnis bestätigt das der Untersuchungen zur Beeinflussung der Keimung durch äußere Faktoren (Abb. 7 e). In dieser Studie verdoppelten sich die GABA-Konzentrationen während der Keimung in Luft von 8 auf über 18 mg/100 g FG.

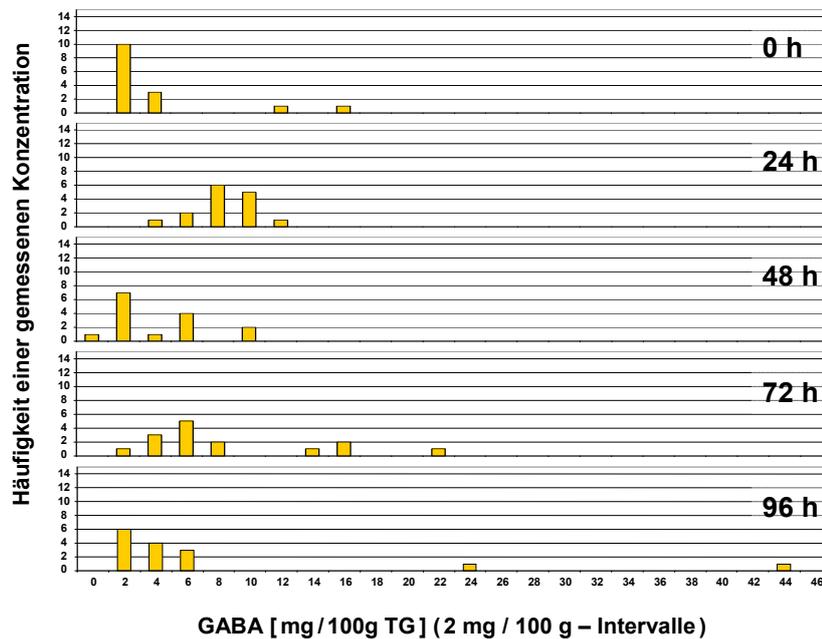


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der GABA-Konzentrationen einzelner Gerstekörner während der Keimung

Im Hinblick auf die Streuung der Werte fällt auf, dass die Erhöhung der GABA-Konzentrationen während Keimung nicht in allen Samen gleichmäßig verläuft. Auch nach längerer Keimungszeit weist ein Großteil der 15 untersuchten Samen (72-96 h) immer noch ähnlich hohe oder nur geringfügig erhöhte GABA-Gehalte auf, wie das Ausgangsmaterial. Im Gegensatz dazu akkumulieren einige wenige Samen bzw. Sämlinge massive Mengen an GABA, so dass Konzentrationen von über 40 mg/100 g TG auftreten können. Dies bedeutet, dass in den einzelnen keimenden Samen beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Induktion von Stressreaktionen zu bestehen. Dies ist bislang völlig ungeklärt, es muss allerdings berücksichtigt werden, dass eine GABA-Akkumulation nicht nur durch abiotischen Stress induziert werden kann, sondern auch der Befall mit mikrobiellen Schaderregern oder Verletzungen eine GABA-Synthese auslösen können.

5.2.5 Die natürliche Variabilität biochemischer Parameter ist hoch

Die in diesem Projekt erstmals durchgeführten Einzelkorn-Analysen erbrachten ein völlig unerwartetes Ergebnis: selbst unter homogenen Laborbedingungen ist die Variationsbreite der Enzymaktivitäten beträchtlich, Variationen um den Faktor 2-3 sind die Regel, im Fall der β -Glucanase-Aktivitäten finden sich sogar Unterschiede um den Faktor 6.

Berücksichtigt man, dass unter großtechnischen Bedingungen zusätzlich auch noch die Prozessparameter sehr inhomogen sind, so sollten in der Praxis noch wesentlich größere Heterogenitäten resultieren.

5.3 Einzelkornanalysen unterschiedlich prozessierter Malze

Im Zentrum dieses Forschungsvorhabens stehen die Erfassung der Ursachen von Heterogenitäten beim Mälzen und die Erarbeitung von verfahrenstechnischen Strategien zu deren Beseitigung. Daher ist es für dieses Vorhaben von großer Bedeutung zu klären, inwieweit Heterogenitäten im Stoffwechsel auf die natürliche Variabilität des biologischen Materials (= Gerstensame) zurückzuführen sind und welchen Anteil darüber hinaus solche Inhomogenitäten haben, die durch prozessbedingte Variabilitäten der Keimungsbedingungen induziert werden.

Entsprechend dieser Zielsetzung wurden zunächst Einzelkornanalysen von Grünmalzen aus homogenen Labor-Inkubationen durchgeführt, um eine Vergleichsgröße für die natürliche Variabilität zu erhalten (siehe Kapitel 5.2). Anschließend wurden dann die Proben aus den verschiedenen Prozessen analysiert (Ohne Belüftung, Absaugung LR, Belüftung ü. N.; siehe Kapitel 4.3.2.1). Ein Vergleich der unter den unterschiedlichen Keimungsbedingungen erzielten Variationsbreiten (biologische Bandbreiten) ermöglicht es erstmals, den Einfluss der Prozessführung auf die Homogenität einer Malzcharge zu beurteilen. Wie bei der bereits im vorherigen Kapitel beschriebenen Laborstudie wurden als Parameter sowohl die α -Amylase-, β -Amylase- und β -Glucanase-Aktivitäten als auch die GABA-Gehalte bestimmt.

5.3.1 Variabilitäten der α -Amylase-Aktivität

Die relative Standardabweichung vom Mittelwert eines biologischen Parameters (Coefficient of variation = CV) stellt eine gut geeignete Größe dar, um die Homogenität einer Population zu beurteilen. Wie zu erwarten, liegt die relative Standardabweichung der α -Amylase-Aktivität bei dem Laboransatz mit 19,4 % im Bereich der erwarteten biologischen Variabilität (Abb. 13). Hier sind offensichtlich die Keimungsbedingungen so homogen, dass keine prozessbedingte Erhöhung der Variabilität resultiert, denn unter Laborbedingungen wurde immer eine gute Durchmischung des Weichgutes gewährleistet, darüber hinaus betrug die Schichtdicke in den Keimkästen lediglich 2 cm, so war sichergestellt, dass alle Gerstensamen während Keimung optimal mit Luft versorgt wurden. Im Vergleich dazu liegen die Standardabweichungen der α -Amylase-Aktivitäten der Malze, die aus dem großindustriellen Prozess stammen, wesentlich höher: 33,9 % für "ohne Belüftung", 65,9 % für "Absaugung" und 45,6 % für "Druckbelüftung".

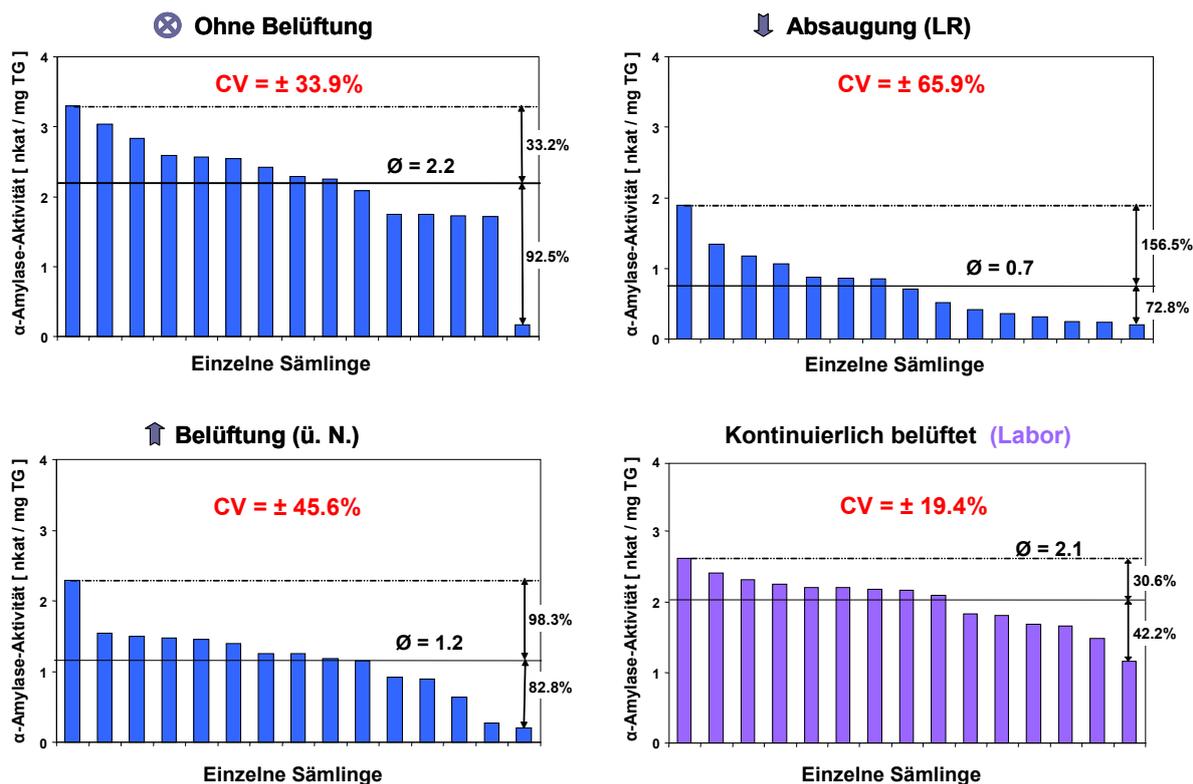


Abb. 13: Einzelkornanalysen von Proben aus dem Prozess (α -Amylase-Aktivität)

Um die Heterogenitäten der unterschiedlichen Ansätze beurteilen und werten zu können, sind zum Vergleich auch die Daten aus der Labor-Inkubation (Abb. 9; 96 h) aufgeführt. Die Probennahme erfolgte jeweils nach 96 h. Um die Bandbreiten der Enzymaktivitäten deutlich hervorzuheben, wurde in den einzelnen Graphen der Mittelwert der Aktivität (Ø), die relative Standardabweichung (Coefficient of variation = CV) und die maximalen relativen Unterschiede zum Mittelwert eingefügt.

Diese massive Steigerung um den Faktor 1,5 bis 3 belegt erstmals an lebenden Organismen, dass in den großindustriellen Mälzungsanlagen mit teils mehreren Metern starken Schichtdicken die Keimungsbedingungen wesentlich inhomogener als im Labor sind und entsprechend größere prozessabhängige Inhomogenitäten des Materials resultieren. Diese Daten belegen darüber hinaus, dass sich das Belüften in der Weiche negativ auf die Homogenität einer Malzcharge auswirkt: in den beiden belüfteten Ansätzen waren die relativen Standardabweichungen der α -Amylase-Aktivität bis zu doppelt so hoch wie die der unbelüfteten. Allerdings sei an dieser Stelle angemerkt, dass das Belüften in der Weiche nicht grundsätzlich zu einer Verminderung der biochemischen Homogenität des Malzes führen muss, wie die niedrigere Standardabweichung (CV) des belüfteten Labor-Ansatzes beweist (19,4%). Somit scheinen die großindustriellen Mälzbedingungen (hohe Schichtdicken in den Mälztanks) beim Einströmen von Luft in das Mälzgut ursächlich für die festgestellten Inhomogenitäten zu sein.

Inwieweit sich dieser Sachverhalt tatsächlich auf die Malzqualität und insbesondere auf deren Heterogenität auswirkt, kann allerdings erst dann verlässlich abgeleitet werden, wenn zusätzlich zu den Enzymaktivitäten auch die entsprechenden, *in situ*-Umsatzraten der entsprechenden Substrate erfasst werden, d.h. die Veränderungen von Stärke- bzw. im Fall der β -Glucanase die β -Glucanmengen.

5.3.2 Variabilitäten der β -Amylase-Aktivität

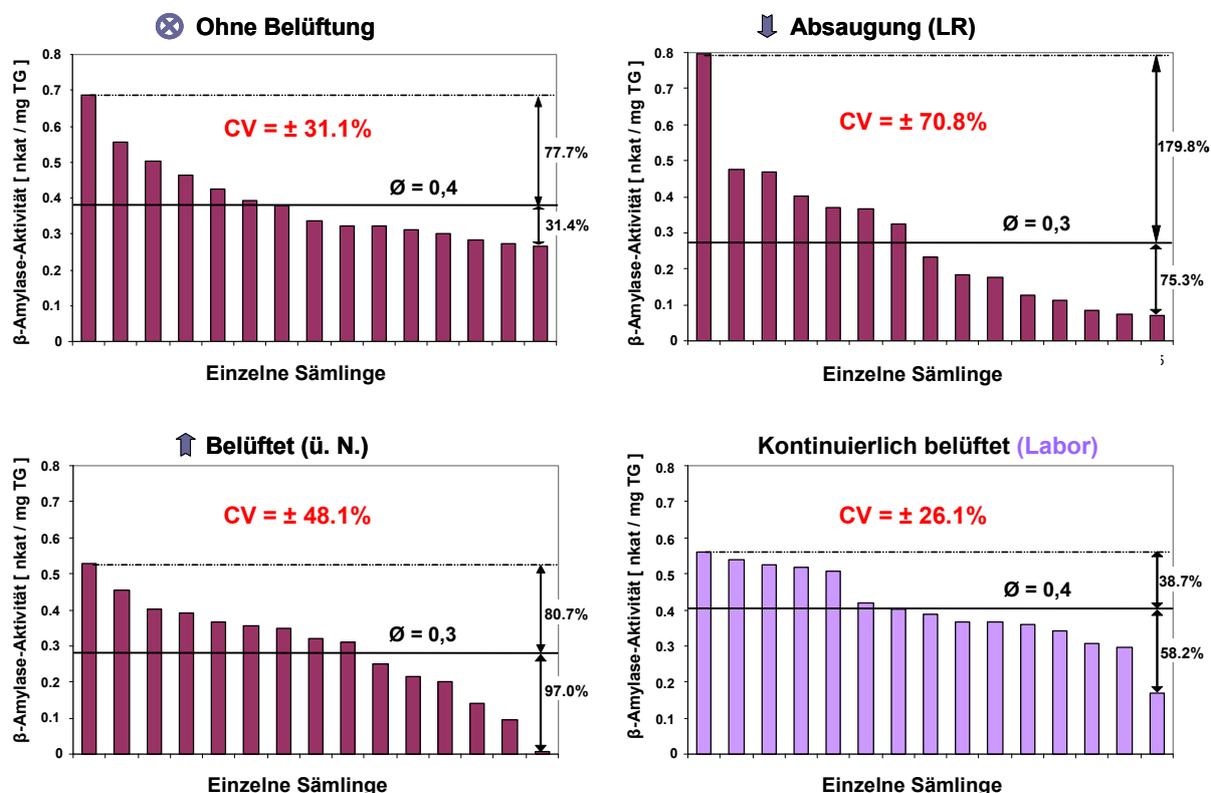


Abb. 14: Einzelkornanalysen von Proben aus dem Prozess (β -Amylase-Aktivität)

Um die Heterogenitäten der unterschiedlichen Ansätze beurteilen und werten zu können, sind zum Vergleich auch die Daten aus der Labor-Inkubation (Abb. 10; 96 h) aufgeführt. Die Probennahme erfolgte jeweils nach 96 h. Um die Bandbreiten der Enzymaktivitäten deutlich hervorzuheben, wurde in den einzelnen Graphen der Mittelwert der Aktivität (\bar{x}), die relative Standardabweichung (Coefficient of variation = CV) und die maximalen relativen Unterschiede zum Mittelwert eingefügt.

Die Daten zur Variabilität der β -Amylase-Aktivitäten bestätigen die im vorherigen Kapitel für die α -Amylase-Aktivitäten (5.3.1) präsentierten Ergebnisse und gezogenen Schlussfolgerungen: Wieder weist das unter homogenen Laborbedingungen erzeugte Malz mit Abstand die höchste Homogenität auf (CV = 26,1%; Abb. 14). Im Vergleich dazu sind die Malze aus dem großindustriellen Prozess durchwegs heterogener (CV = 31,1 - 70,8%); diese weisen somit eine 2-3fach höhere Streuung in Bezug auf die β -Amylase-Aktivität auf. Das bedeutet, dass ein Großteil der biochemischen Heterogenitäten industriell erzeugter Malze in der Tat auf die Prozessbedingungen zurückzuführen ist, und nur ein eher geringer Anteil auf der immanenten biologischen Variabilität des Ausgangsmaterials beruht. Auch hinsichtlich der Auswirkungen des Belüftens in der Weiche im industriellen Prozess werden die Ergebnisse der vorherigen Studie vollständig bestätigt. Hier zeigte sich, dass in Bezug auf die Variabilität der β -Amylase-Aktivität das Malz, das ohne Belüftung geweicht wurde, die höchste Homogenität aufweist (CV = 31,1%), während die beiden anderen Ansätze (Belüftet und Absaugung) wesentlich weniger homogen waren (CV = 48,1 bzw. 70,8%).

5.3.3 Variabilitäten der β -Glucanase-Aktivität

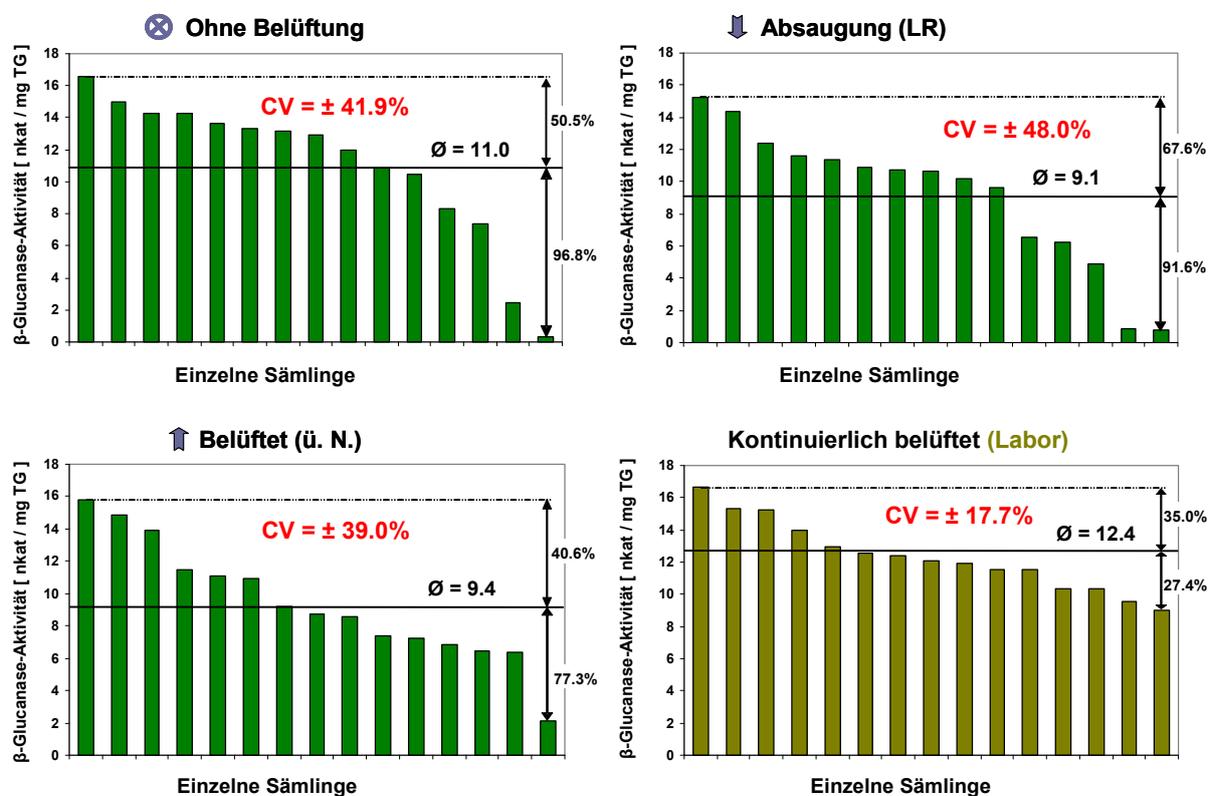


Abb. 15: Einzelkornanalysen von Proben aus dem Prozess (β -Glucanase-Aktivität)

Um die Heterogenitäten der unterschiedlichen Ansätze beurteilen und werten zu können, sind zum Vergleich auch die Daten aus der Labor-Inkubation (Abb. 11; 96 h) aufgeführt. Die Probennahme erfolgte jeweils nach 96 h. Um die Bandbreiten der Enzymaktivitäten deutlich hervorzuheben, wurde in den einzelnen Graphen der Mittelwert der Aktivität (\bar{x}), die relative Standardabweichung (Coefficient of variation = CV) und die maximalen relativen Unterschiede zum Mittelwert eingefügt.

Auch für die Variabilität der β -Glucanase-Aktivität konnten zu den vorher gezeigten Studien vergleichbare (α - und β -Amylase; Abb. 13 bzw 14), prozessabhängige Auswirkungen nachgewiesen werden: Das unter homogenen Laborbedingungen (2 cm Schichtdicke, kontinuierlich belüftet) erzeugte Malz wies mit Abstand die höchste Homogenität auf (CV = 17,7%; Abb. 15). Anders als für die beiden anderen Enzyme ist die Homogenität der β -Glucanase in den industriell mit Druckbelüftung erzeugten Malzen die zweit höchste (CV = 39,0%). Allerdings unterscheidet sich diese nur unwesentlich von der des Malzes „Ohne Belüftung“ (CV = 41,9%). Letzteres war hinsichtlich der α - und β -Amylase stets das mit Abstand homogenste, industriell erzeugte Malz. Hinsichtlich der β -Glucanase-Aktivität war das mit Absaugung in der Luftrast erzeugte Malz wieder das inhomogenste Malz (CV = 48,0%).

5.3.4 GABA-Gehalte der Gerstensämlinge

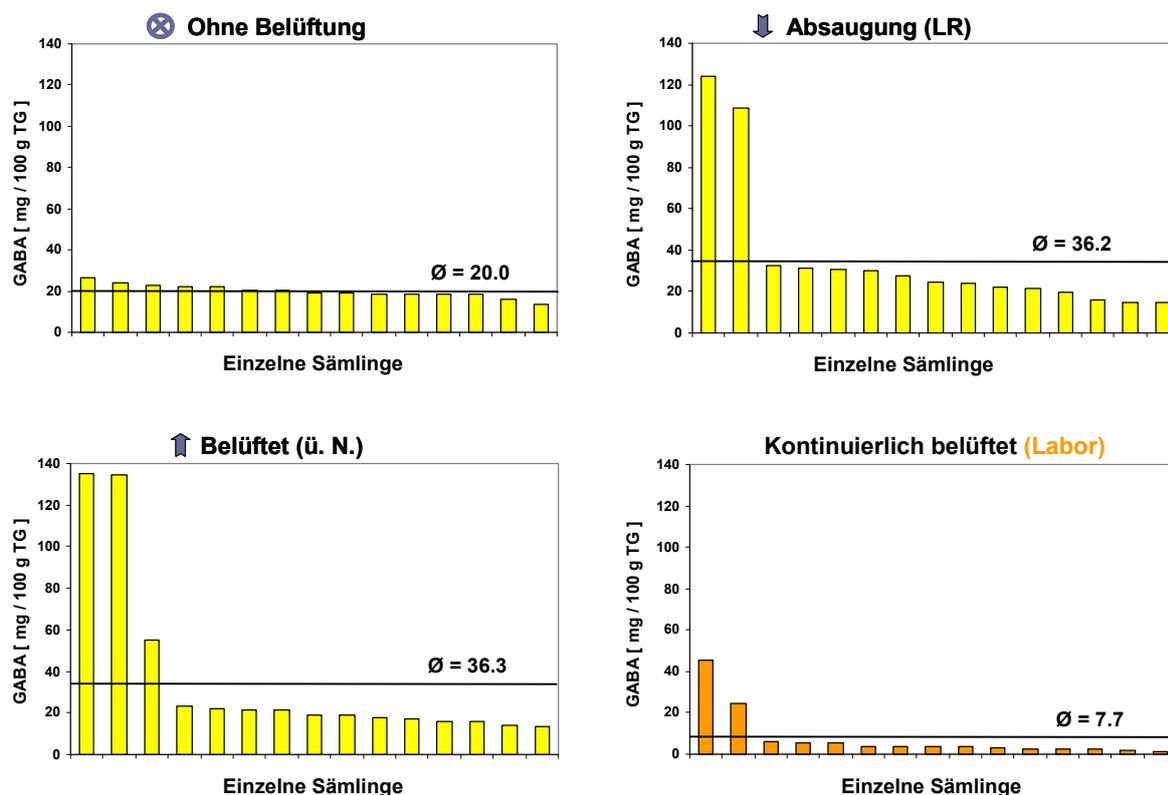


Abb. 16: Einzelkornanalysen von Proben aus dem Prozess (GABA-Gehalte)

Um die Heterogenitäten der unterschiedlichen Ansätze beurteilen und werten zu können, sind zum Vergleich auch die Daten aus der Labor-Inkubation (Abb. 12; 96 h) aufgeführt. Die Probennahme erfolgte jeweils nach 96 h. Zusätzlich wurden die mittleren GABA-Gehalte ($\bar{\sigma}$) aufgeführt.

Für die GABA-Konzentrationen (Abb. 16) ergeben sich gänzlich andere Verteilungsmuster im Vergleich zu denen der zuvor beschriebenen Enzymaktivitäten (Abb. 13-15). Im Hinblick auf die Streuung der Werte fällt auf, dass die Erhöhung der GABA-Konzentrationen während Keimung nicht in allen Samen gleichmäßig verläuft. Ein Großteil der Sämlinge weist verhältnismäßig geringe GABA-Konzentrationen auf (<20 mg / 100 g TG), im Gegensatz dazu akkumulieren einige wenige Samen bzw. Sämlinge massive Mengen an GABA, so dass Konzentrationen von über 120 mg/100 g TG auftreten können. Dies bedeutet, dass in den einzelnen keimenden Samen beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Induktion von Stressreaktionen bestehen. Die Ursachen hierfür sind bislang völlig ungeklärt, es muss allerdings berücksichtigt werden, dass eine GABA-Akkumulation nicht nur durch abiotischen Stress induziert werden kann, sondern auch der Befall mit mikrobiellen Schaderregern oder auch Verletzungen eine GABA-Synthese auslösen können.

5.3.5 Belüften in der Weiche wirkt sich negativ auf die Homogenität des Malzes aus

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Mälzprozesse (Ohne Belüftung, Absaugung, Druckbelüftung, Labor) auf die biochemische Homogenität des Malzes abschließend bewerten zu können, wurden die mittleren Standardabweichungen der Enzymaktivitäten (CV;

α - und β -Amylase sowie β -Glucanase) in Abhängigkeit vom angewendeten Mälzverfahren ermittelt (Tab. 2).

Tab. 2: Mittlere relative Standardabweichung (\bar{O} CV) der α -, β -Amylase- und β -Glucanase-Aktivitäten in Abhängigkeit vom verwendeten Mälzverfahren

⊗ Ohne Belüftung	↓ Absaugung (LR)	↑ Belüftet (ü. N.)	Labor (kontinuierlich belüftet)
35,6%	61,6%	44,2%	21,1%

Ein Vergleich der mittleren Standardabweichungen zeigt ganz eindeutig, dass ein Großteil der biochemischen Heterogenität eines Malzes in der Tat auf die Prozessbedingungen zurückzuführen ist. Die industriell erzeugten Malze weisen durchgängig höhere „Mittlere Standardabweichungen“ (\bar{O} CV = 35,6-61,6%) auf als das Malz, das unter homogenen Laborbedingungen erzeugt worden ist (\bar{O} CV = 21,1%). Somit sind die unter industriellen Mälzbedingungen produzierten Malze (3-4 m Schichtdicke in der Weiche) ungefähr um den Faktor 2-3 weniger homogen als das Malz aus dem Labor, dessen Schichtdicke in der Weiche lediglich bei 2 cm lag. Im Umkehrschluss bleibt festzuhalten, dass etwa ein Drittel bis die Hälfte der biochemischen Heterogenität eines Malzes auf den immanenten, biologischen Variabilitäten des Ausgangsmaterials beruht.

Werden lediglich die mittleren Standardabweichungen der industriell produzierten Malze für einen Vergleich herangezogen, dann zeigt sich, dass der Ansatz „Ohne Belüftung“ die höchste Homogenität aufweist (\bar{O} CV = 35,6%), während die beiden anderen - im Gegensatz dazu belüfteten - Ansätze (Druckbelüftung und Absaugung) wesentlich weniger homogen bezüglich ihrer Enzymaktivitäten sind (\bar{O} CV = 44,2 bzw. 61,6%). Somit erhöht das Belüften in der Weiche die biochemische Heterogenität des Malzes. Es ist davon auszugehen, dass sich in den großtechnischen Weichanlagen durch ungleichmäßiges Belüften Gradienten in der Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentration ausbilden können, die dann wiederum die Keimung der Gerste in den unterschiedlichen Bereichen des Weichtanks unterschiedlich beeinflussen. Dies führt dazu, dass sich in der gesamten Malzcharge große biochemische Heterogenitäten etablieren können.

Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass das Belüften in der Weiche nicht grundsätzlich zu einer Verminderung der biochemischen Homogenität des Malzes führen muss, wie die durchwegs niedrigere mittlere Standardabweichung des belüfteten Labor-Ansatzes zeigt (\bar{O} CV = 21,1%). Somit ist davon auszugehen, dass die hohen Schichtdicken in den großtechnischen Mälztanks in Kombination mit dem ungleichmäßigen Einströmen von Luft in das Mälzgut die Ursache für die festgestellten Inhomogenitäten sind. Inwieweit sich dieser Sachverhalt tatsächlich auf die Malzqualität und insbesondere auf deren Heterogenität auswirkt, kann allerdings erst dann verlässlich abgeleitet werden, wenn zusätzlich zu den Enzymaktivitäten auch die entsprechenden, *in situ*-Umsatzraten der entsprechenden Substrate erfasst werden, d.h. die Veränderungen von Stärke- bzw. im Fall der β -Glucanase die der β -Glucanmengen.

5.4 Auswirkungen der Position im Weichsystem auf die Keimung

Zur Verifizierung der These, dass die hohen Schichtdicken in den großtechnischen Mälztanks in Kombination mit dem ungleichmäßigen Einströmen von Luft in das Mälzgut die Ursache für die festgestellten Inhomogenitäten sind, wurden während eines Forschungsaufenthaltes bei der Mälzerei DURST entsprechende Experimente durchgeführt. Dabei wurden Gerstenproben in Säckchen an 4 verschiedenen Schichttiefen der Weichtanks positioniert und gemeinsam mit dem industriellen Mälzgut geweicht. Diese Proben wurden anschließend mittels Kleinmälzung konstant gekeimt und gedarrt (siehe Kapitel 4.3.2). Analog zu den Einzelkornanalysen unterschiedlich prozessierter Malze (Kapitel 5.3) wurden auch in dieser Studie drei verschiedene Weichsysteme untersucht: Ohne Belüftung, Absaugung, Druckbelüftung (siehe Tab. 1). Im Folgenden sind die Verläufe der Enzymaktivitäten der α - und β -Amylase und der β -Glucanase sowie der Verlauf der GABA-Gehalte dargestellt. Um die entsprechenden Ergebnisse richtig beurteilen zu können, sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass diese lediglich auf Unterschiede in der Weiche zurückzuführen sind, während die anschließende Keimung und Darre für alle Proben gleich, mit optimaler Belüftung durchgeführt wurde.

5.4.1 Ansatz ohne Belüftung

Bei der Betrachtung der Enzymaktivitäten stellte sich heraus, dass sämtliche Gersten gut ankeimten und in allen Ansätzen stark ansteigende Enzymaktivitäten zu erkennen sind (Abb. 17 A-C). Insgesamt weisen die Malze – unabhängig aus welcher Schichttiefe sie stammten - eine ausgesprochen große Homogenität hinsichtlich ihrer Enzym-Aktivitäten auf. So variiert die α -Amylase-Aktivität zum Beispiel in den vier fertigen Malzen lediglich um $\pm 3,4\%$ (rel. STABW) Eine Variationsbreite in dieser Größenordnung ist für einen natürlichen Parameter äußerst gering. Für natürliche Parameter, wie z.B. Enzymaktivitäten, gelten Schwankungsbreiten von bis zu 30 % als normal (z.B. α -Amylase-Aktivität; Abb. 13).

Die GABA-Gehalte sind während der gesamten Mälzung sehr niedrig und steigen nach der Weichphase lediglich auf Werte bis zu 30 mg/100 g TG (33h) an (Abb. 17 D). In den Keimlingen ist kein Stressmetabolismus nachzuweisen, folglich scheinen nahezu optimale Wachstumsbedingungen in der Kleinmälzungsanlage zu herrschen. Anzuführen sind eine gute Luftzufuhr, keine Ansammlung von CO₂ und keine mechanische Belastung durch den Gewichtsdruck, wie er bei hohen Schichtdicken auftreten sollte.

⊗ Ohne Belüftung

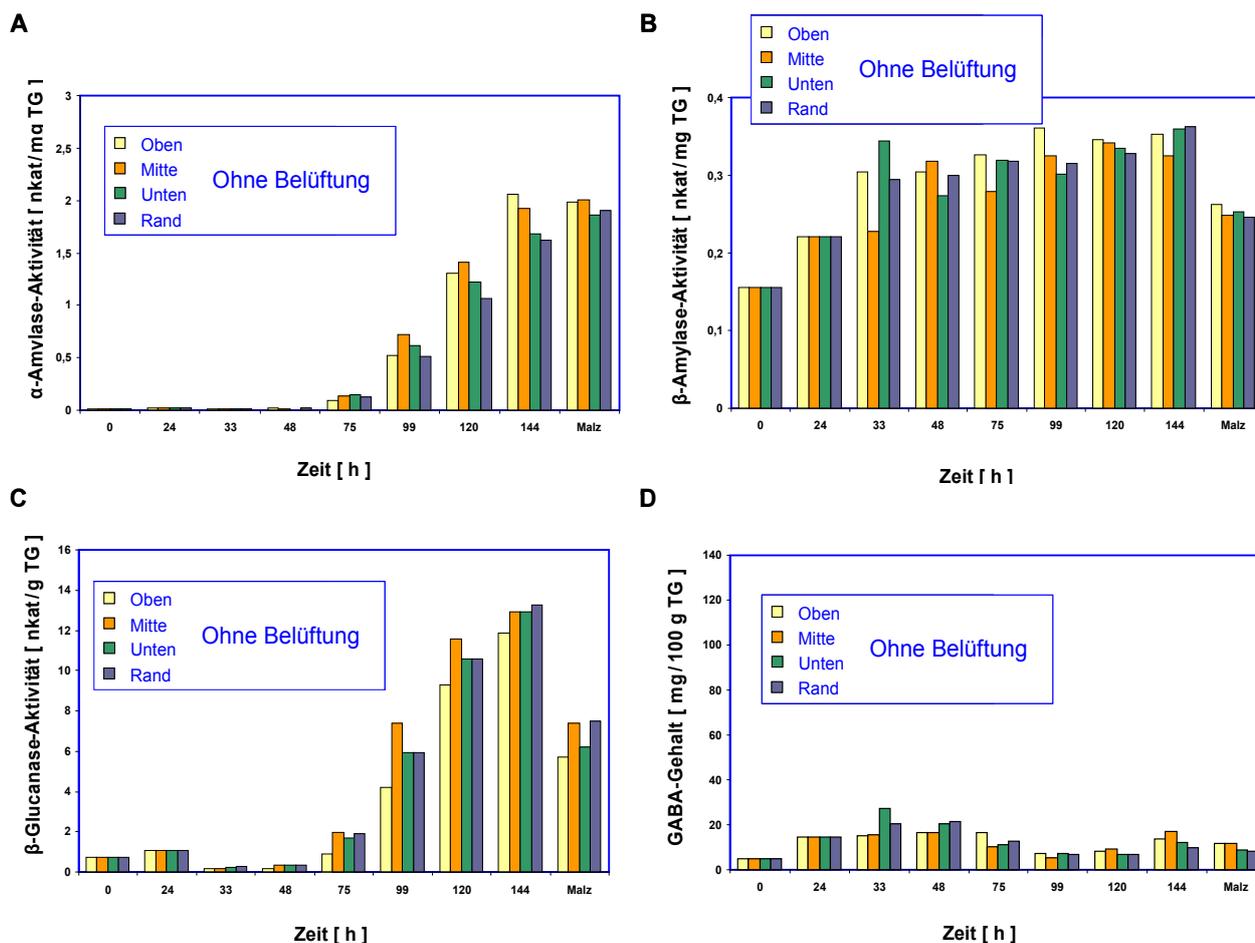


Abb. 17: Enzymaktivitäten und GABA-Gehalte der Malze aus den unterschiedlichen Schichttiefen des Weichtanks (Ansatz ohne Belüftung)

Die Malze wurden in Probensäckchen an vier verschiedenen Positionen in einem großtechnischen Weichtank mit geweicht und anschließend in einer Labor-Kleimälzungsanlage unter Standardbedingungen zu Ende gemälzt. A) α -Amylase-Aktivitäten; B) β -Amylase-Aktivitäten; C) β -Glucanase-Aktivitäten und D) GABA-Gehalte.

5.4.2 Ansatz mit CO₂-Absaugung in der Luftrast

Im Gegensatz zum vorherigen Ansatz, bei dem "Ohne Belüftung" geweicht wurde, wurde in diesem Weichsystem während der Luftrasten Kohlendioxid von oben nach unten abgesaugt (Weichprogramm, siehe Tab. 1).

Die während des Mälzungsprozesses in allen Malzen kräftig steigenden Enzymaktivitäten zeigen, dass auch diese Gerste sehr gut keimt (Abb. 18 A-D). Besonders auffällig ist, dass die Enzymaktivitäten in den einzelnen Schichten unterschiedlich stark ausgeprägt sind; die Malze aus der oberen und der mittleren Schicht des Weichtanks weisen generell höhere Enzymaktivitäten auf als die aus den unteren; tendenziell fallen die Enzymaktivitäten von oben nach

↓ Absaugung (LR)

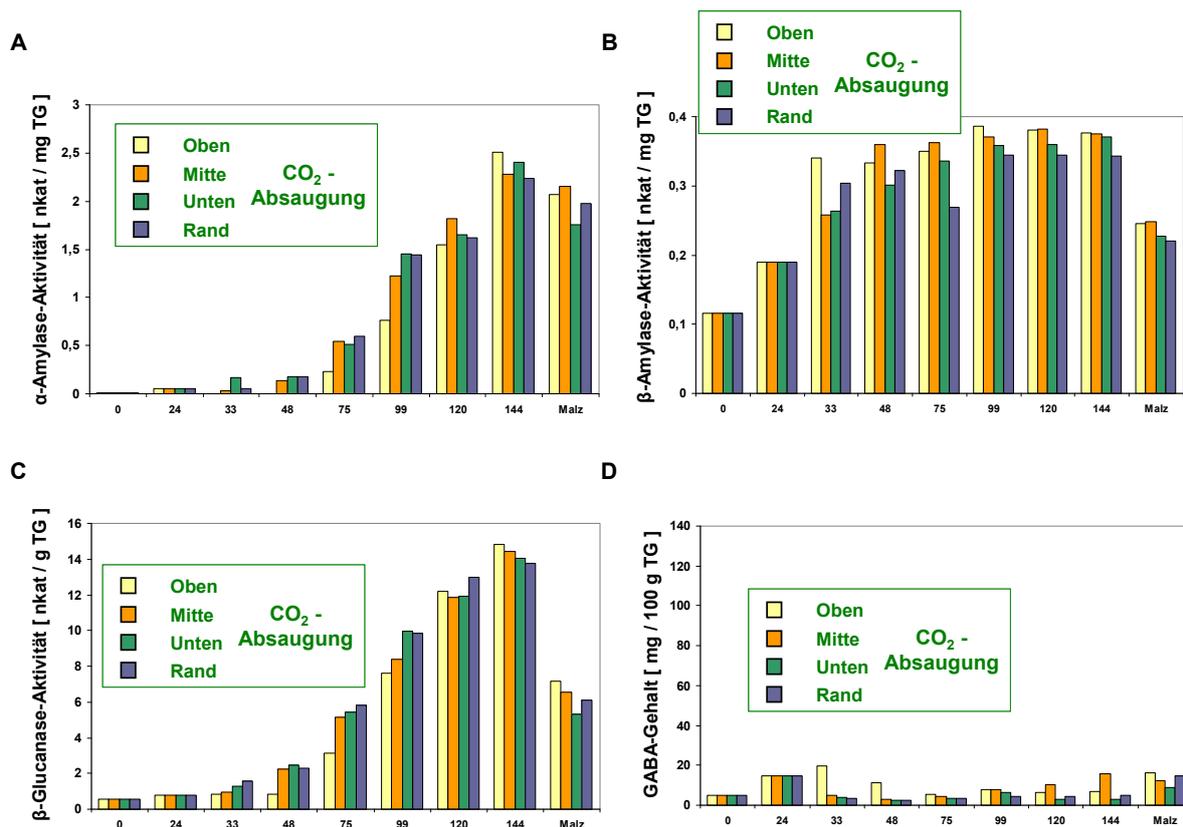


Abb. 18: Enzymaktivitäten und GABA-Gehalte der Malze aus den unterschiedlichen Schichttiefen des Weichtanks (Ansatz CO_2 -Absaugung)

Die Malze wurden in Probensäckchen an vier verschiedenen Positionen in einem großtechnischen Weichtank mit geweicht und anschließend in einer Labor-Kleinmälzungsanlage unter Standardbedingungen zu Ende gemälzt. A) α -Amylase-Aktivitäten; B) β -Amylase-Aktivitäten; C) β -Glucanase-Aktivitäten und D) GABA-Gehalte.

unten ab. So zum Beispiel ist die β -Glucanase-Aktivität in dem Malz, das aus der oberen Schicht stammt, mit 7,1 nkat / g TG etwa 25% höher als die des Malzes, das im unteren Bereich des Weichtanks mit geweicht worden ist (5,3 nkat / g TG). Dies hängt mit Sicherheit damit zusammen, dass in diesem Weichsystem die Luft von oben nach unten durch das Weichgut gesaugt wurde, entsprechend verläuft die Keimung der Gerste, die in der oberen Schicht geweicht wurde, schneller als in der Gerste, die in der unteren Schicht mit geweicht worden ist. Es ist erstaunlich, dass sich diese Unterschiede der anfänglichen Weichbedingungen (erste 33 h) selbst noch im fertigen Darrmalz nach rund 160 h signifikant auf die Enzymaktivitäten auswirken.

5.4.3 Ansatz mit Druckbelüftung

Beim dritten Ansatz wurde stoßweise während der Nassweichen und kontinuierlich in der Nacht während der Luftrasten mit Druckluft belüftet (Weichprogramm, siehe Tab. 1).

↑ Belüftet (ü. N.)

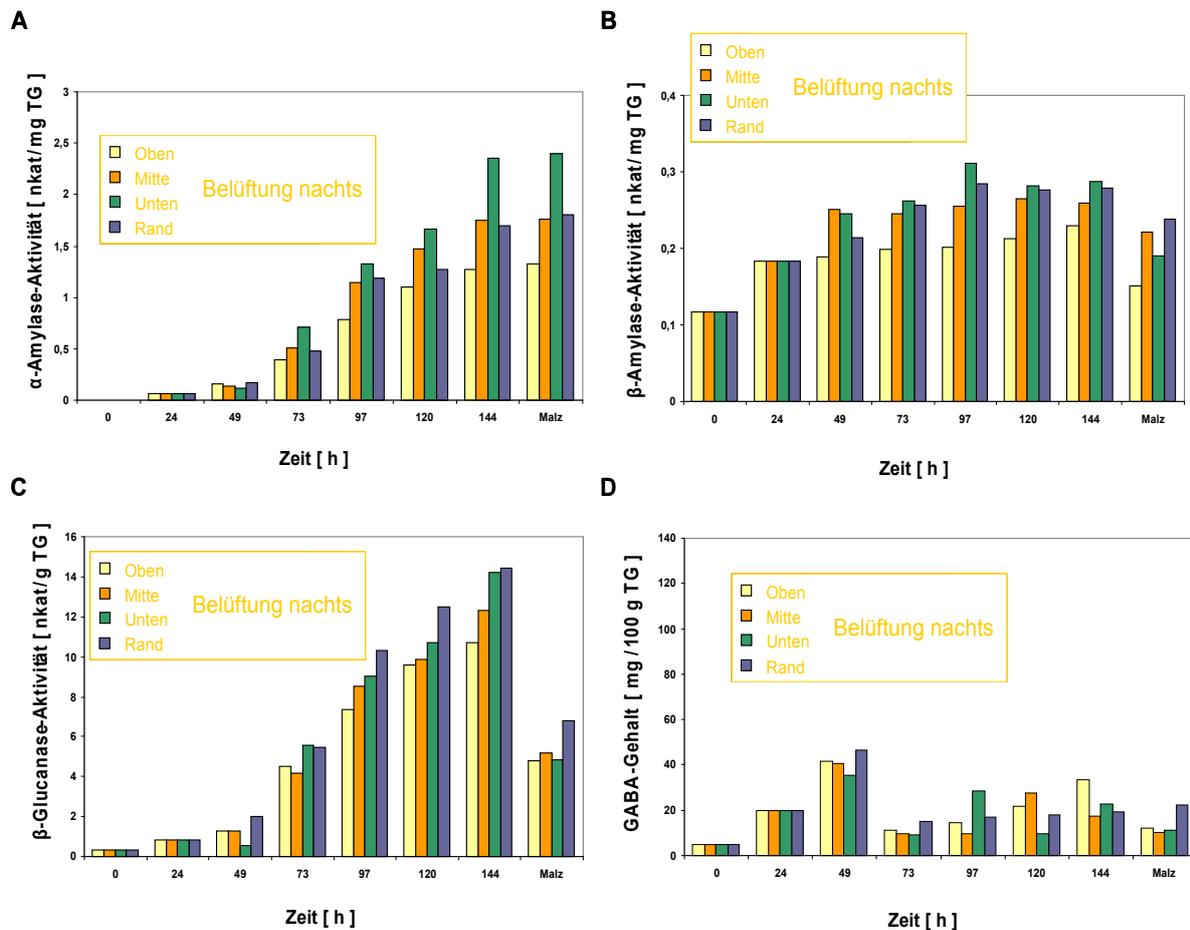


Abb. 19: Enzymaktivitäten und GABA-Gehalte der Malze aus den unterschiedlichen Schichttiefen des Weichtanks (Ansatz Belüftung nachts)

Die Malze wurden in Probensäckchen an vier verschiedenen Positionen in einem großtechnischen Weichtank mit geweicht und anschließend in einer Labor-Kleinnälzungsanlage unter Standardbedingungen fertig gemälzt. A) α -Amylase-Aktivitäten; B) β -Amylase-Aktivitäten; C) β -Glucanase-Aktivitäten und D) GABA-Gehalte.

Die während des Mälzungsprozesses in allen Malzen kräftig steigenden Enzymaktivitäten zeigen, dass auch diese Gerste sehr gut keimt (Abb. 19 A-C). Allerdings sind auch bei diesem Ansatz die Enzymaktivitäten in den einzelnen Schichten unterschiedlich stark ausgeprägt; die Malze aus der unteren Schicht des Weichtanks weisen generell höhere Enzymaktivitäten auf als die aus der oberen. Es ist auffällig, dass die α -Amylase-Aktivitäten in Abhängigkeit von der Schichttiefe besonders stark variieren. Die α -Amylase-Aktivität beträgt in dem fertigen Malz, das in der oberen Schicht mit geweicht wurde, lediglich 1,3 nkat / mg TG, wohingegen das Malz, das aus der unteren Schicht stammt, eine Aktivität von 2,4 nkat / mg TG aufweist. Somit unterscheiden sich das Malz aus der oberen und der unteren Schicht um 80 % (rel. STABW) hinsichtlich dieser relevanten Enzymaktivität. Zum Vergleich: im unbelüfteten Ansatz betrug die Variationsbreite der α -Amylase-Aktivität lediglich 3,4 % (Abb. 17). Das Belüften in der Weiche wirkt sich somit sehr negativ auf die Homogenität der Enzymaktivitäten einer Malzcharge aus. Die in den einzelnen Schichten recht

unterschiedlichen Enzym-Aktivitäten, können auf die stark variierenden Bedingungen in den Weichtanks der belüfteten Weiche (z.B. Sauerstoffversorgung und Kohlendioxid-Konzentration) zurückgeführt werden. Da die Enzymaktivitäten in den Malzen aus den tieferen Schichten durchgängig höher sind, kann angenommen werden, dass dieser Effekt auf das Belüften von unten beruht. Dies sollte dazu führen, dass die Keimung in den unteren Schichten deutlich früher einsetzt als in den oberen. Die dadurch hervorgerufenen Entwicklungsunterschiede wären dann für die beobachteten Differenzen verantwortlich.

Hinsichtlich der GABA-Gehalte ist in den Malzen des belüfteten Ansatzes nur eine leichte Erhöhung der Gehalte dieses Parameters während des Mälzungsprozesses festzustellen (Abb. 19 D.) Diese durch das Weichverfahren bedingten Inhomogenitäten in den Enzym-Aktivitäten können somit nicht mit einem vermehrt aktiven Stress-Stoffwechsel korreliert werden, wie zunächst vermutet wurde. Das bedeutet, dass Inhomogenitäten in einer Malzcharge auch bereits unter relativ günstigen Keimungsbedingungen entstehen können, bei denen noch kein aktiver Stress-Stoffwechsel nachzuweisen ist.

5.4.4 Einfluss des Belüftens in der Weiche auf die Enzymaktivitäten

Die direkte Gegenüberstellung der in den vorherigen 3 Kapiteln (5.4.1-5.4.3) dargestellten Ergebnisse (Keimungsansätze in der Kleinmälzung von Gerstensamen die zuvor mit und ohne Belüftung geweicht wurden) erlaubt gezielt den Einfluss des Belüftens in der Weiche auf den weiteren Verlauf der Keimung während des Mälzens zu beurteilen, denn die Bedingungen in den Keimkästen der Kleinmälzung waren für alle 3 Ansätze identisch. Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse zum Verlauf der α -Amylase- und β -Glucanase-Aktivität miteinander verglichen.

Die direkte Gegenüberstellung belegt, dass die während der Weiche belüfteten Gerstensamen schneller keimen, so dass in diesen Ansätzen die Aktivitäten der α -Amylase und der β -Glucanase bereits nach 78 h deutlich ansteigen (Abb. 20, B und C bzw. E und F), wohingegen die entsprechenden Enzymaktivitäten in den Malzen des unbelüfteten Ansatzes erst etwa 10 h verzögert folgen (Abb. 20, A und D). Dieser Befund bestätigt, dass die Belüftung in der Weiche die Keimungsprozesse nachhaltig beschleunigt.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass – obwohl das Belüften in der Weiche die Keimungsprozesse beschleunigt - dies jedoch keinen Einfluss auf die im fertigen Darmmalz resultierenden Enzymaktivitäten hat: nach dem Mälzprozess liegen die Enzym-Aktivitäten in allen 3 Ansätzen etwa gleich hoch (Abb. 20, eingefügte Hilfslinie Mittelwert).

Ein drittes wichtiges Ergebnis ist der Befund, dass das Belüften während des Weichens die Homogenität der Enzymaktivitäten innerhalb einer Malzcharge vermindert. Besonders stark ausgeprägt ist dieser Effekt vor allem bei den α -Amylase- und den β -Glucanase-Aktivitäten. Wie bereits ausgeführt wurde (Kapitel 5.4.3), gibt es im Ansatz „Belüftet“ Unterschiede in den Höhen der α -Amylase-Aktivitäten der fertigen Malzen von bis zu 80 % (Abb. 20 C), wohingegen im unbelüfteten Ansatz diese Unterschiede lediglich bei etwa 3,4 % liegen (Abb. 20 A). Das bedeutet, dass sich das Belüften in der Weiche tatsächlich die Heterogenität der Malze verstärkt, da im von unten belüfteten Ansatz die Gerstensamen in den unteren

Schichten schneller keimten als in den oberen (Abb. 20 B und E); wohingegen sie im von unten abgesaugten Ansatz in den oberen Schichten schneller keimten als in den unteren (Abb. 20 C und F).

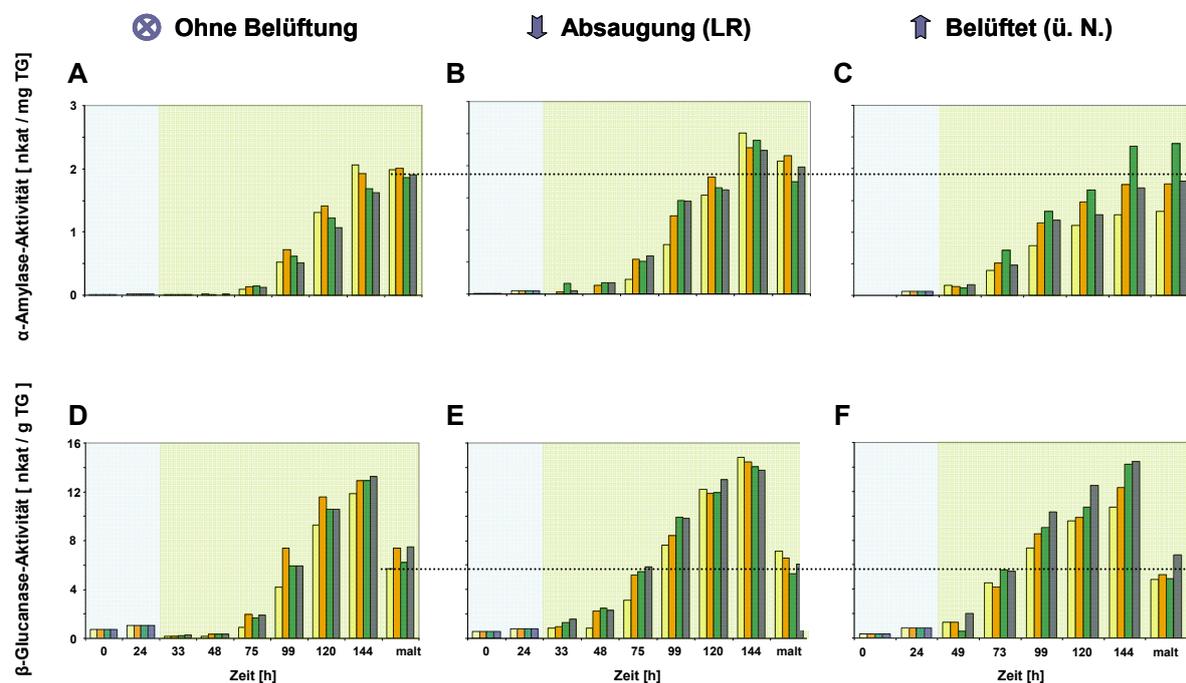


Abb. 20: Vergleich der Enzymaktivitäten der Malze aus den unterschiedlichen Schichttiefen des Weichtanks (Ohne Belüftung, Absaugung, Belüftet)

Die Malze wurden in Probensäckchen an vier verschiedenen Positionen in einem großtechnischen Weichtank mit geweicht und anschließend in einer Labor-Kleinmälzungsanlage unter Standardbedingungen fertig gemälzt. A, B und C) α -Amylase-Aktivitäten; C, D und E) β -Glucanase-Aktivitäten. Um den Vergleich der Enzymaktivitäten in den jeweiligen fertigen Darmmalzen zu ermöglichen, wurde der Mittelwert der jeweiligen Enzymaktivitäten aller untersuchten Zonen der belüfteten Ansätze (oben, unten, Mitte, Rand) gebildet und als gestrichelte Linie auf die entsprechende Darstellung des nicht belüfteten Ansatzes übertragen.

5. 5 Synchronisierung der Keimung durch „Priming“

Die in diesem Schlussbericht präsentierten Ergebnisse der an der FS 1 (TU Braunschweig) durchgeführten pflanzenphysiologisch-biochemischen Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass in Hinblick auf eine gesteigerte Homogenität des Malzes entweder die Schichtdicken beim Mälzen drastisch verringert oder aber auf die übliche Praxis des Belüftens in der Weiche verzichtet werden sollte. Allerdings dürfte eine Verringerung der Schichtdicken aus Platzgründen und aus betriebswirtschaftlichen Gründen in der heutigen Mälzerei-Praxis nur schwer zu realisieren sein. Und wenn auf das Belüften in der Weiche verzichtet werden sollte, müsste eine längere Keimdauer bzw. Mälzzeit bis zur erwünschten Endosperm-Modifikation in Kauf genommen werden. Nichtsdestotrotz sollte in diesem Zusammenhang auch berücksichtigt werden, dass bei einem Verzicht auf das Belüften in der Weiche der Mälzungsschwand aufgrund eines verringerten Keimlingswachstums vermindert sein könnte (69-71), was diese Vorgehensweise aus ökonomischer Sicht wieder etwas attraktiver erscheinen lassen könnte.

Aus diesen Betrachtungen wird ersichtlich, dass die ungewünschten Heterogenitäten nur dann beseitigt werden können, wenn es gelingt die Keimungsprozesse im Mälzgut wesentlich besser zu synchronisieren ohne dass dabei der Gesamtprozess deutlich verlängert wird. Aus zahlreichen Ansätzen der Saatgut-Produktion ist bekannt, dass eine verlässliche Synchronisierung des Auskeimens durch das sogenannte „Priming“ erreicht werden kann.

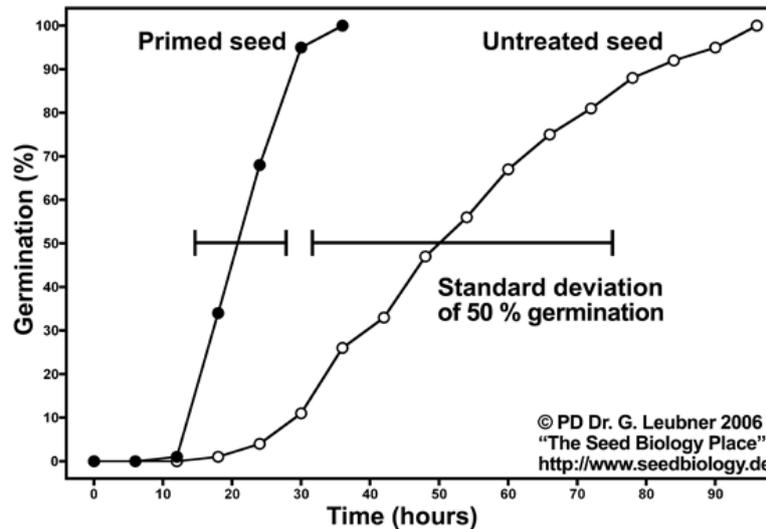


Abb. 21: Auswirkungen des Primings auf den Verlauf der Keimung von Samen

Während die natürliche Variabilität dazu führt, dass das einsetzen der Keimung über einen Zeitraum von mehr als drei Tagen ausgeweitet ist, keimen alle geprimten Samen in einer Phase von weniger als einem Tag. Diese Daten belegen eindrucksvoll das große Potential des Primings für die Synchronisierung der Keimungsprozesse und damit für die Minderung von Heterogenitäten (72).

Dieses Verfahren wurde ursprünglich entwickelt, um ein ungleichmäßiges Auskeimen von Tomatensamen bei der industriellen Anzucht in niederländischen Großgewächshäusern zu verhindern. Beim Priming werden die Samen eine kurze Phase mit Wasser behandelt. Die resultierende Quellung induziert bzw. aktiviert einen sogenannten *pregerminativen* Metabolismus. Das bedeutet, dass bereits zahlreiche und wesentliche Keimprozesse ablaufen, aber das Durchbrechen der Keimwurzel unterbunden bleibt. Wichtig hierbei ist vor allem, dass die Hydratation beendet wird und die Samen zurückgetrocknet werden, bevor die Austrocknungs-Toleranz der Samen verloren geht. Die Herausforderung besteht also in erster Linie darin, den Priming-Prozess im richtigen Moment zu stoppen. Dieser Zeitpunkt ist für verschiedene Arten sehr unterschiedlich und muss von Fall zu Fall ermittelt und optimiert werden. Jedoch steht außer Frage, dass sich grundsätzlich auch die Keimung von Gerste durch ein „priming“ beschleunigen und synchronisieren lassen sollte.

6 Ergebnisse (Brauereitechnologische Untersuchungen)

6.1 Weichversuche zur Untersuchung des Einflusses von Belüftung

6.1.1 Bestimmung der Sauerstoffaufnahme beim Weichen ohne Belüftung

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurden Weichversuche bei verschiedenen Temperaturen (13, 17 und 21 °C) durchgeführt, bei denen das Weichgut nicht belüftet worden ist. Da die Sauerstoff-Aufnahme der Gerste als temperaturabhängig gilt, sollte bei diesem Versuch auch die Sauerstoffverbrauchsrate bestimmt werden. Daher wurde in einem luftdicht verschlossenen Exsikkator geweicht, in dem eine Sauerstoffmesssonde so installiert, dass die Membran der Sonde von dem umgewälzten Weichwasser stets umströmt wurde. Weiteres zum Versuchsaufbau ist in Abschnitt 4.4.1 beschrieben. Während der beiden Nassweichen und Luftrasten wurde der Sauerstoffgehalt im Wasser und in der Luft kontinuierlich aufgenommen (1. NW; 6 Std.; LR: 18 Std; 2. NW: 4 Std.). Nach der 2. Nassweiche wurde das Weichgut in der Pilot-Mälzerei-Anlage (Fa. Schmidt-Seeger) der TU Berlin weiter vermälzt. (Keimtemperatur: 11 °C, Weichgrad: 45 %, 6 Keimtage, 16 h Schwelken bei 50 °C; 4 h Abdarren bei 80 °C). Zusätzlich sollte überprüft werden, in welchem Ausmaß die auf der Gerste anhaftenden Mikroorganismen an der gesamten Sauerstoffaufnahme beteiligt sind. Dazu wurden 4 kg Gerste mittels Rührwerk für 30 min in 15 L Wasser gewaschen. Anschließend wurde der oben beschriebene Versuch bei 17°C mit dem Mikroorganismen-belasteten Wasser als Weichwasser mit 4 kg „steriler“ Gerste (12 h bei 130°C sterilisiert) durchgeführt. In den folgenden drei Graphen der Abbildung 22 sind die Verläufe der Sauerstoffabnahme während des Weichens bei 13, 17 und 21 °C (1. NW; 1. LR; 2. NW) dargestellt. Anhand der Kurvenverläufe wird deutlich, dass der Sauerstoffverbrauch bzw. die Stoffwechsel-Aktivitäten der Gerste bei höheren Temperaturen schneller ablaufen. Dies bedeutet, dass bei Weichverfahren ohne Belüftung bei höheren Temperaturen sehr viel schneller Sauerstoff-Mangel vorherrscht und vermutlich auch entsprechende Stressreaktionen in den keimenden Gerstesamen ausgelöst werden. Außerdem könnte der anfangs im Weichwasser bzw. in der Luft zwischen den Getreidekörnern vorliegende Sauerstoff an schlecht belüfteten Stellen während der Luftrast sehr viel schneller verbraucht werden als in gut belüfteten Bereichen, was zu Inhomogenitäten in den unterschiedlichen Bereichen der Weichanlagen führen könnte. Die hier aufgeführten Zusammenhänge sollen im Laufe des Forschungsvorhabens weitergehend untersucht werden.

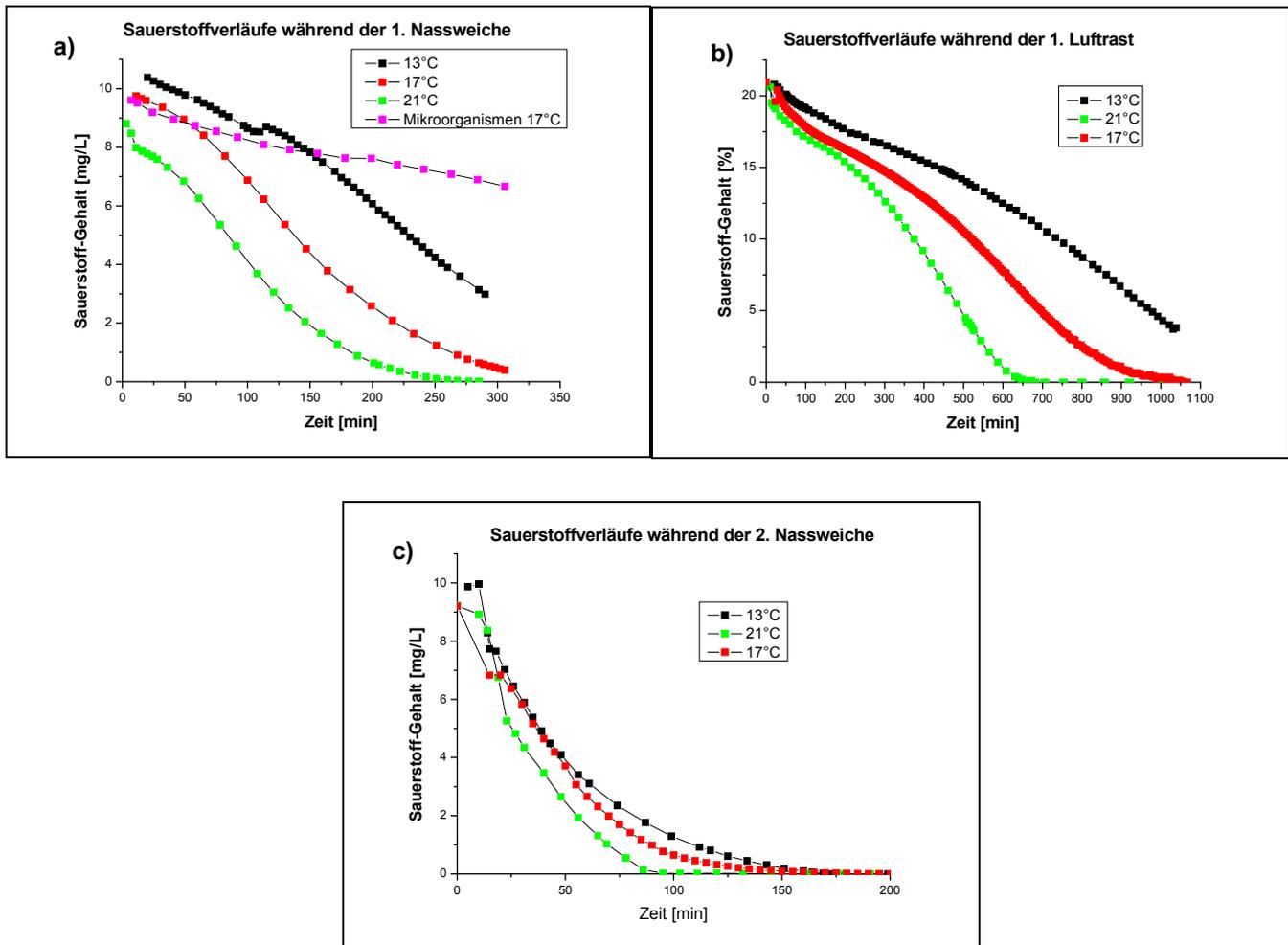


Abb. 22: Verläufe des Sauerstoffverbrauches beim Weichen mit unterschiedlichen Temperaturen - a) 1. Nassweiche; b) 1. Luftrast; c) 2. Nassweiche)

In Tabelle 3 werden die Sauerstoffverbrauchsdaten bezogen auf die Gerstentrockensubstanz der jeweiligen Verfahrensschritte gezeigt, die anhand der Sauerstoffmenge im Exsikkator (gesättigtes Wasser bzw. Luft), des Volumens und der Temperatur berechnet werden konnten. Außerdem sind die Wassergehalte der Weichgüter nach dem Weichen (3 Std. Abtropfzeit nach der 2. Nassweiche) aufgeführt.

Tab. 3: O₂-Verbrauch in mg O₂/(h*kg Trs. Gerste) bei verschiedenen Weichtemperaturen

O ₂ -Verbrauch in mg O ₂ /(h*kg Trs. Gerste)				Weichgrade nach dem Weichen
Temperatur	1. NW	1. LR	2. NW	3 Stunden nach der 2. NW
13°C	7,1	47,9	15,4	40,8
17°C	9,6	62,9	17,1	42,8
21°C	12,5	94,4	26,0	43,9

Bei steigenden Weichtemperaturen konnte erwartungsgemäß gezeigt werden, dass der Sauerstoffverbrauch bzw. die Stoffwechsel-Aktivitäten der Gerste schneller ablaufen und das Weichwasser schneller aufgenommen wird. Dies bedeutet, dass bei Weichverfahren ohne

Belüftung bei höheren Temperaturen sehr viel schneller Sauerstoff-Mangel vorherrscht und Stressreaktionen in den keimenden Gerstesamen ausgelöst werden. Außerdem könnte der anfangs im Weichwasser bzw. in der Luft zwischen den Getreidekörnern vorliegende Sauerstoff an schlecht belüfteten Stellen während der Luftrast sehr viel schneller verbraucht werden als in gut belüfteten Bereichen, was zu Inhomogenitäten in den unterschiedlichen Bereichen der Weichanlagen führen könnte. Anhand der Ergebnisse der Malzanalysen für die Weichversuche bei 13 und 21 °C wird deutlich, dass bereits das Weichen einen enormen Einfluss auf die spätere Malzqualität hat. Trotz höherer Belastung durch schnelleren Sauerstoffmangel, war die resultierende Qualität aller Malz-Parameter, mit Ausnahme der hier vernachlässigbaren Ganzglasigkeit, bei der höheren Temperatur von 21 °C deutlich besser als bei 13 °C. Der Einfluss höherer Temperaturen wurde in anderen Versuchsreihen weitergehend untersucht (Abschnitt 6.6.1). Die Ergebnisse der Malzanalysen und GABA-Bestimmungen sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tab. 4: Ausgewählte Malzanalysenparameter der Weichversuche im Exsikkator

Weichtemperatur		13 °C	17 °C	21 °C
Extrakt FS Trs:	%	82,7	-	83,4
Trübung 90°:	EBC	4,4	-	3,4
Viskosität 8,6 %:	mPa*s	1,637	-	1,559
Kolbachzahl:	%	38,4	-	40,4
VZ 45°C:	%	26,5	-	29,2
Mürbigkeit:	%	66,1	-	73,0
Ganzglasigkeit:	%	0,8	-	1,1
Modifikation	%	79	-	83
Homogenität	%	67	-	71
GABA-Gehalt nach der 2. LR	mg/100g Trs	10,7	21,1	62,0
GABA-Gehalt nach vor dem Darren	mg/100g Trs	34,0	49,2	66,8

Die GABA-Produktion steigt drastisch bei steigenden Weichtemperaturen bzw. sinkenden Sauerstoffkonzentrationen. Der weitere Anstieg des GABA-Gehaltes im Zuge der Keimung scheint jedoch bei hohen Anfangsgehalten nach dem Weichen langsamer zu verlaufen. Es bleibt zu klären, ob die vermehrte GABA-Bildung durch generell höhere Enzymaktivitäten bei höheren Temperaturen oder auf Grund von Stress durch den schnelleren Sauerstoffmangel während des Weichens induziert wird.

6.1.2 Einfluss der Belüftung bzw. Atmosphäre (Luft, N₂; CO₂) beim Weichen

In einem zweiten Vorversuch sollte untersucht werden, wie sich das Belüften mit Druckluft sowie das Begasen mit Stickstoff oder Kohlendioxid beim Weichen auf die resultierende Malzqualität auswirken. In der Literatur wird Kohlendioxid oft Zellgift beschrieben. Deshalb sollte mit diesem Versuchsaufbau vor allem auch untersucht werden, ob CO₂ in der Weiche - anders als der inerte Stickstoff - die Gerste schädigt. Hierzu wurde, wie im Vorversuch zum Sauerstoffverbrauch, in drei umgebauten Exsikkatoren 2,4 kg Gerste bei

20 °C eingeweicht (1. NW: 4 h; LR: 17 h; 2. NW: 3 h) und mittels einer Fritte von unten begast. Zusätzlich wurde ohne Belüftung in einem Eimer geweicht. Nach dem Weichen wurden die geweichte Gersten in der Kleinmälzung (Fa. Schmidt-Seeger) vermälzt (Weichgrad: 45 %; Temperatur: 15 °C; 5 Keimtage; 15 h Schwelken bei 50 °C; 4 h Abdarren bei 80 °C). In Tabelle 5 sind die Ergebnisse ausgewählter Malzanalysen zusammengefasst.

Tab. 5: Malzanalysen zum Einfluss der Belüftung bzw. Atmosphäre beim Weichen

<u>Belüftung beim Weichen</u>		<u>Druckluft</u>	<u>ohne</u>	<u>N₂</u>	<u>CO₂</u>
Extrakt FS Trs.	%	81,9	82,1	82,3	82,0
Extrakt Differenz	%	1,2	1,4	2,1	2,0
Viskosität 8,6%	mPa*s	1,50	1,53	1,59	1,62
Kochfarbe	EBC	4,7	5,0	4,2	4,0
pH-Wert		6,1	6,1	6,1	6,0
Mürbigkeit	%	82,0	83,4	77,7	75,6
Ganzglasigkeit	%	0,7	0,6	1,3	1,1
diastatische Kraft	°WK	269	218	202	215
Modifikation	%	88	87	86	84
Homogenität	%	65	65	64	62
freier α -Amino-Stickstoff (FAN)	mg/L	127	140	127	136
β -Glukan	mg/L	252	267	445	463
α -Amylase	U/g	200	180	160	170

Auch wenn nur der erste Prozessschritt des Mälzens, das Weichen, variiert worden ist, konnten im fertigen Malz einige Qualitätsunterschiede festgestellt werden. Generell konnte keine Toxizität von CO₂, als vermeintliches Zellgift (67), nachgewiesen werden, die Gerste wurde nicht grundsätzlich geschädigt, und sauerstofffreies Weichen unter N₂-Atmosphäre führte auch nicht zu einer deutlich höheren Malzqualität. Trotzdem hat die CO₂-Atmosphäre beim Weichen zur vergleichsweise niedrigsten Malzqualität geführt. Die kontinuierliche Sauerstoffzufuhr beim Weichen hatte die höchsten Malzqualitäten zur Folge, was anhand der Viskositäten, Mürbigkeiten, Diastatischen Kraft, β -Glukangehalten und α -Amylaseaktivitäten ersichtlich wird. Der Parameter Viskosität der Kongresswürze zeigt eine deutliche Verschlechterung bei Weichen mit weniger Sauerstoff auf. Beim Versuch ohne Belüftung, wobei im Eimer geweicht worden ist, müsste zumindest am Anfang des Weichens genug Sauerstoff zur Verfügung gestanden haben. Daher liegt die Malzqualität dieses Ansatzes zwischen der des belüfteten Malzes und den Malzen aus dem sauerstofffreien Weichversuchen. Aus den β -Glukangehalten lässt sich schließen, dass die Zellwandlösung durch das sauerstofffreie Weichen sehr viel weniger vorangeschritten war. Diese Ergebnisse spiegeln sich auch in den Ergebnissen der Mürbigkeit wider. Allerdings waren die Modifikation und die Homogenität nach der Calcofluor-Methode dieses Malzes nicht signifikant schlechter.

In Tabelle 6 sind die GABA-Konzentrationen der fertigen Malze aufgeführt. Der Wert des Malzes, das unter CO₂-Atmosphäre geweicht worden ist, fehlt, da das gesamte Probenmaterial dieses Ansatzes für die Malzanalysen aufgebraucht worden ist. Dennoch ist

ein Einfluss einer Belüftung beim Weichprozess auf den Stressmetabolismus auch noch im fertigen Malz zu erkennen.

Tab. 6: GABA-Konzentrationen - Einfluss der Belüftung bzw. Atmosphäre beim Weichen

Behandlung beim Weichen im Exsikkator	GABA-Konzentration [mg/100g TG]
Druckluftbelüftung	24,6
ohne Belüftung	30,5
Stickstoffbelüftung	30,0

6.1.3 Weichversuche zur Belüftung im Pilotmaßstab

Heutzutage wird in den meisten Mälzereien während des Weichens belüftet. Es gibt aber auch noch Mälzereien mit älteren Weichsystemen, in denen nicht belüftet bzw. auch ohne CO₂-Absaugung in der Luftrast gearbeitet wird. Außerdem ist besonders in großen Weichsystemen (bis zu 300 t) die Sauerstoffversorgung inhomogen, da bestimmte Bereiche mehr oder weniger stark belüftet werden (siehe Kapitel 3.2 Stand der Forschung). In der Pilot-Weichanlage „Eco-Steep“ (Fa. Bühler) wurden in verschiedenen Weichversuchen Bedingungen simuliert, wie sie in inhomogenen Weichsystemen auftreten können. Anschließend wurde anhand der Malzanalysen und Messungen der GABA-Gehalte der Einfluss des Weichverfahrens auf den Stressmetabolismus aufgezeigt. Der Aufbau der „Eco-Steep“-Weiche ist in Abschnitt 4.4.3 weitergehend beschrieben. Zur Messung des Sauerstoffs in verschiedenen Schichthöhen wurden zwei Sauerstoffsonden über Ingold-Stützen 30 cm und 80 cm über dem Siebboden eingebracht. Zur Bestimmung der CO₂-Gehalte wurde Weichwasser etwa aus der Mitte der Weiche mittels einer Schlauchpumpe über eine Lanze zu einem CO₂-Messgerät gepumpt. Der Kohlendioxid-Gehalt wurde jeweils kurz nach dem Beginn und vor dem Ende der Nassweichen erfasst. Nach der zweiten Luftrast wurden jeweils Proben aus dem unteren und oberen Bereich der Weiche für die weitere Vermälzung in der Kleinmälzung (Fa. Schmidt Seeger) entnommen (Keimtage: 5; Temperatur: 14 °C, Weichgrad: 45 %). Folgende fünf Weichversuche mit Variation der Belüftung wurden durchgeführt:

Versuch 1: mit Belüftung während des gesamten Weichprozesses

Versuch 2: ohne Belüftung während des gesamten Weichprozesses

Versuch 3: ohne Belüftung, aber mit Umpumpen des Weichwassers

Versuch 4: Belüftung nur während der Luftrast

Versuch 5: mit Belüftung und Wiederverwendung des Weichwassers der 2. Nassweiche des vorherigen Versuches als Weichwasser bei der 1. Nassweiche

Das Weichprogramm war wie folgt: 1. Nassweiche: 5 h; 1. Luftrast: 20 h; 2. Nassweiche: 4h und 2. Luftrast: 20 h.

Die Sauerstoffverläufe wurden während der gesamten Weichprozesse aufgezeichnet. Die Sauerstoffkonzentrationen der Versuche mit Belüftung werden hier nicht dargestellt, da über den gesamten Weichprozess eine 100-prozentige O₂-Sättigung des Weichwassers während der Nassweichen bzw. der Luft während der Luftrasten nachgewiesen werden konnte. Dementsprechend sind hier keine Inhomogenitäten im Malz aufgrund ungleichmäßiger Sauerstoff-Versorgung zu erwarten. Abbildung 23 zeigt die O₂-Sättigung des Weichwassers in beiden Nassweichen beispielhaft für die Versuche 2 und 3 (ohne Belüftung/mit und ohne Umpumpen).

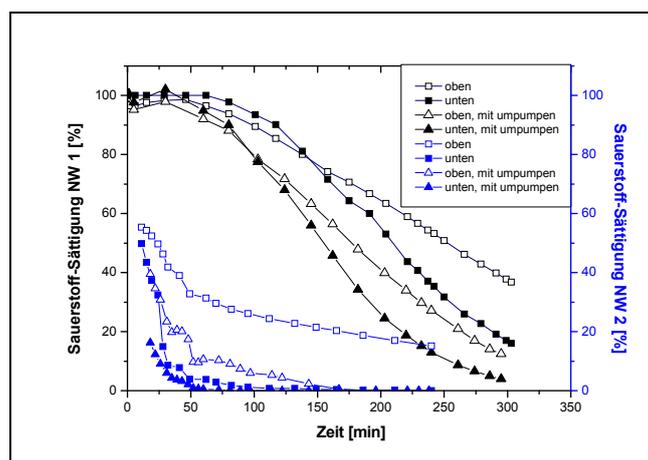


Abb. 23: O₂-Sättigung des Weichwassers in der 1. und 2. NW (Versuche 2 und 3)

Die Sauerstoffgehalte der untersuchten Weichwässer sinken kontinuierlich. In den unteren Schichten verbraucht die Gerste den gelösten Sauerstoff vollständig. Im Gegensatz dazu sinken die Sauerstoff-Gehalte im oberen Bereich der Weiche langsamer, und der Sauerstoff wird bis zum Ende der Nassweichen nicht vollständig verbraucht. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass in den nach oben offenen Kopfraum der Weiche Sauerstoff diffundieren kann. Aufgrund dieser Unterschiede in den Sauerstoffgehalten in unterschiedlichen Bereichen der Weiche lassen sich bereits Inhomogenitäten in der Malzqualität vermuten. Die Stoffwechselaktivitäten des Kornes steigen bekannter Weise mit fortschreitender Keimung, weshalb der Sauerstoffverbrauch in der zweiten Nassweiche wesentlich stärker ist als in der ersten. Dass zu Beginn der 2. Nassweiche schon keine Sauerstoffsättigung mehr vorherrscht, kann anhand der Versuchsdurchführung erklärt werden. Da die Messung der Sauerstoffgehalte erst nach der Befüllung der Weichen gestartet werden konnte, war aufgrund des sehr hohen Sauerstoffverbrauchs bereits ein Großteil des Sauerstoffs veratmet, bevor die Datenaufnahme einsetzte. Durch das Umpumpen (ca. 10 l/h mittels Schlauchpumpe von unten nach oben) während der Nassweichen sinkt der Sauerstoffgehalt des Weichwassers sogar noch schneller, da eine bessere Verteilung des noch vorhandenen gelösten Sauerstoffes stattfindet. Die Verläufe der Sauerstoffsättigung während der ersten und zweiten Luftrast, ohne Belüftung und mit Umpumpen, sind in den Abbildungen 24 und 25 dargestellt:

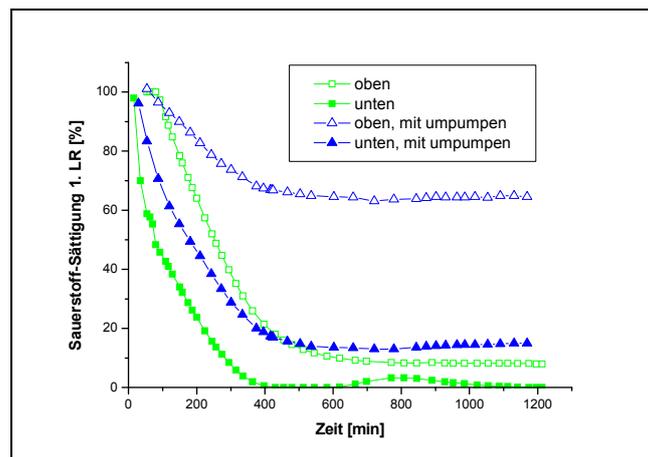


Abb. 24: O₂-Sättigung des Weichwassers in der 1. LR (Versuche 2 und 3)

Die Sauerstoffgehalte fallen relativ schnell und nach ca. 7 Stunden ist im unteren Bereich der Weiche kein Sauerstoff mehr vorhanden. Weiter oben in der Weiche stellt sich ein Minimum von ca. 10 % Sättigung ein, da hier wahrscheinlich kontinuierlich Sauerstoff von oben nach diffundiert. Bei dem Versuch mit Umpumpen fällt der Sauerstoffgehalt ebenfalls relativ schnell und nähert sich nach etwa 7 Stunden einem Minimum von ca. 20 %. Im oberen Teil der Weiche stellt sich nach etwa 5 Stunden ein Gleichgewicht bei 70 % ein, scheinbar wird die Diffusion der Luft von oben in die Weiche durch das Umpumpen noch deutlich verstärkt.

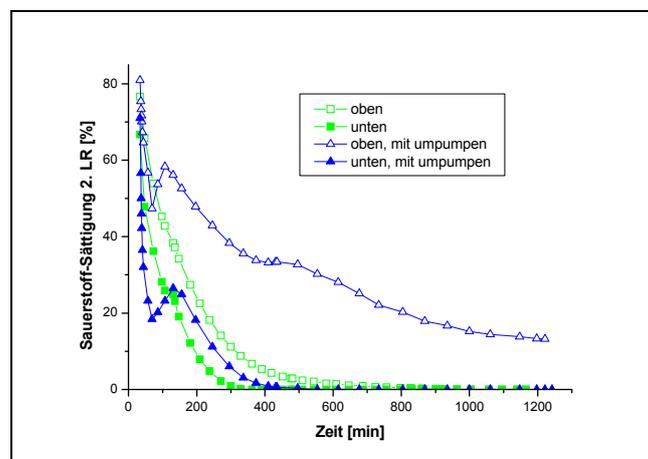


Abb. 25: O₂-Sättigung des Weichwassers in der 2. LR (Versuche 2 und 3)

In den zweiten Lufrasten nimmt die Sauerstoffkonzentration im Weichgut wesentlich schneller ab, als in den ersten Lufrasten. Dies hat wieder mit der oben beschriebenen steigenden Aktivität der Gerste im Verlauf des Weichprozesses zu tun. Auch der höhere Gehalt an Sauerstoff in der oberen Schicht ist wieder ersichtlich. Der Anstieg der Graphen nach einem ersten schnellen Abfall wurde durch zu spätes Starten des Umpumpens verursacht.

Die CO₂-Konzentrationen konnten während der Nassweichen durch Auspumpen von Weichwasser über eine Lanze aus der unteren Schicht der Weiche und Zuführung des Weichwassers zu einem Messgerät bestimmt werden. Die Konzentrationen waren sehr gering,

aber es konnten Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchen aufgezeigt werden (siehe Abb. 26).

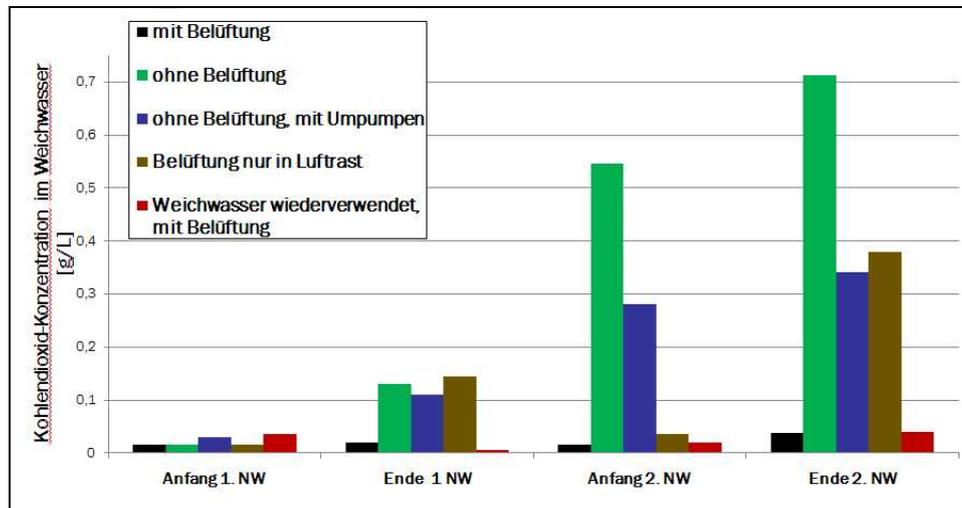


Abb. 26: CO₂-Konzentrationen während der Nassweichen aller Versuche

Bei den kontinuierlich belüfteten Versuchen nahmen die CO₂-Konzentrationen im Weichwasser nur unwesentlich zu, da das entstehende Kohlendioxid die ganze Zeit über ausgetrieben wurde. Ohne Belüftung während der Lufrast wird CO₂ angehäuft und löst sich somit im stärkeren Maße im Weichwasser zum Anfang der Nassweichen. Das Umpumpen sorgte, wie bereits bei den Sauerstoffmessungen erläutert, wieder für eine Konzentrationsverteilung und somit waren die CO₂-Konzentration zumindest im unteren Teil der Weiche verringert. Beim Versuch, bei dem nur in der Lufrast belüftet wurde, steigt der CO₂-Gehalt in der Nassweiche durch das nicht ausgetriebene CO₂ höher an. Das CO₂ wird jedoch in der Lufrast wieder ausgetrieben. Auf Grund der geringen CO₂-Konzentrationen wird es vermutlich nicht zu einer Beeinflussung der Mälzungsparameter kommen. Der Einfluss der Sauerstoffkonzentrationen wird sehr viel größer sein.

Zur Bestimmung des Einflusses der Belüftung beim Weichen auf die Ankeimung wurde der prozentuale Anteil gespitzter und gegabelter Körner nach der 2. Lufrast und am 1. Keimtag bestimmt. Außerdem wurde zu den Zeitpunkten auch die Weichgrade der Gerste ermittelt, um den Belüftungseinfluss auf die Wasseraufnahme der Gerste beurteilen zu können. Die Ergebnisse sind in Abbildung 27 und Tabelle 7 dargestellt und zusammengefasst.

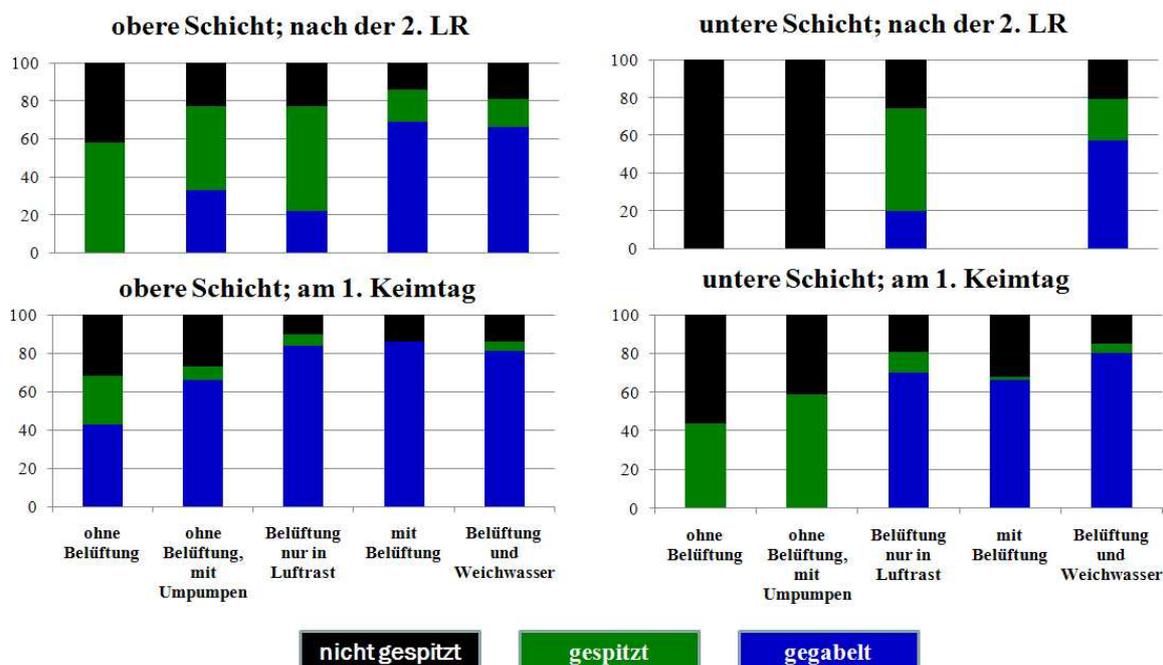


Abb. 27: Einfluss der Belüftung beim Weichen auf die Ankeimung

Tab. 7: Weichgrade nach der 2. Luftrast und am 1. Keimtag

Versuch	Weichgrad nach der 2. LR [%]		Weichgrad am 1. Keimtag [%]	
	unten	oben	unten	oben
belüftet, Weichwasser	40,3	40,5	44,2	44,7
belüftet	39,6	39,6	42,4	42,2
Belüftung nur in LR	36,8	38,8	41,2	42,6
unbelüftet, umgepumpt	36,4	37,4	43,2	42,9
unbelüftet	35,6	37,7	41,4	43,3

Diese Ergebnisse bestätigen die Laborexperimente (Kap. 5.1) und Versuche zu den Auswirkungen der Position im Weichsystem (Kap. 5.4.4) von FS2. Die Keimung setzt bei den belüfteten Weichversuchen deutlich eher ein. In den oberen Schichten der unbelüfteten Weichversuche ist durch Diffusion etwas mehr Sauerstoff vorhanden als unten, deshalb war der Sauerstoffverbrauch auch messbar langsamer im oberen Teil der Weiche. Dies hatte zur Folge, dass auch die Ankeimung deutlich schneller war. Durch das Umpumpen des Weichwassers fand wahrscheinlich eine bessere Verteilung des von oben in die Weiche diffundierenden Sauerstoffs statt, weswegen die Gerste etwas schneller keimte als ohne Umpumpen. Die Ankeimung war jedoch nicht so schnell wie bei den voll belüfteten Weichversuchen. Außerdem waren die Weichgrade nach dem Weichen bei allen unbelüfteten Versuchen im oberen Teil der Weiche um 1 - 2 % höher, wohingegen die belüfteten Weichversuche zu einer nahezu gleichmäßigen Wasseraufnahme führten. Vergleicht man die Anteile der bereits gegabelten Körner zwischen voll belüfteter und nur in der Luftrast belüfteter Weiche nach der 2. Luftrast, wird deutlich, dass eine schnellere Ankeimung durch die Belüftung der Nassweichen hervorgerufen wird. Der Stoffwechsel bzw. die

Keimungsprozesse der Gerste werden offensichtlich durch die Anwesenheit von Sauerstoff im Weichwasser erheblich gefördert bzw. beschleunigt. Generell kann festgehalten werden, dass insbesondere bei Weichsystemen ohne Belüftungseinrichtungen, zumindest für den Pilotmaßstab, deutliche Unterschiede im Keimverhalten zwischen der oberen und unteren Schicht auftreten können. Diese Inhomogenität wird während der Keimung etwas geringer, aber setzt sich auch am ersten Keimtag fort. Generell ist die Ankeimung aller Versuche sehr gering, da Gerste verwendet worden ist, deren Keimfähigkeit durch zu wenig Sauerstoffversorgung bei der Lagerung mit $< 90\%$ sehr niedrig war.

Es wurden nach dem Weichen, am 1. und 5. Keimtag, nach dem Schwelken und nach dem Darren Proben für die GABA-Analysen entnommen, wobei leider nur die Ergebnisse der Proben nach dem Weichen aufschlussreich und in folgender Abbildung dargestellt sind. Die Ergebnisse der Proben, die nach dem Schwelken und Abdarren genommen worden sind, sind leider nicht aussagekräftig, weil die Grünmalzproben vor dem Schwelken nicht schockgefroren wurden, was aufgrund des zu langsamen Gefrierprozesses zu stark überhöhten GABA-Gehalten geführt hat.

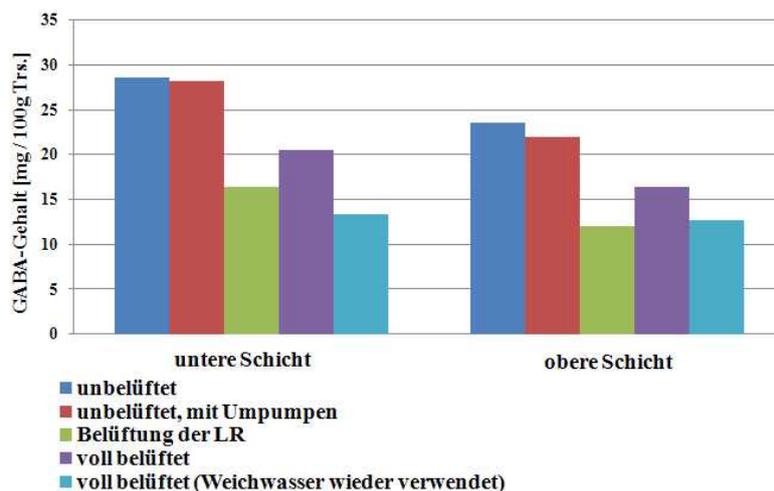


Abb. 28: GABA-Gehalte nach dem Weichen der Versuche zur Belüftung im „Eco-Steep“ der Fa. Bühler

Generell konnte auch mit diesem Versuchsaufbau aufgezeigt werden, dass von den Gerstesamen mit Belüftung während des Weichens weniger GABA gebildet wird. Mit Ausnahme des nicht belüfteten Weichversuches sind alle GABA-Gehalte in der oberen Schicht höher als in der Unteren. Diese Ergebnisse bestätigen die Befunde der Keimungsexperimente (5.1.1) und der Untersuchungen zum Einfluss der Belüftung (6.1). Abgesehen von dem Weichversuch mit ausschließlicher Belüftung während den Luftrasten korrelieren die Ergebnisse der GABA-Gehalte negativ mit den Ergebnissen der Ankeimung.

Im Gegensatz zur Beurteilung der Ankeimung wurde beim Weichversuch mit ausschließlicher Belüftung während der Luftrast kein negativer Einfluss gegenüber dem voll belüfteten Weichversuch nachgewiesen. Dies ist mit einem geringeren Stresseinfluss der Nicht-Belüftung während der Nassweichen gegenüber Nicht-Belüftung während der Luftrasten zu erklären, weil in den Nassweichen nur wenig Sauerstoff zur Verfügung steht und die Nassweichen deutlich kürzer sind als die Luftrasten.

In der folgenden Tabelle sind ausgewählte Parameter der Malzanalysen von Malzen, die mittels “Eco-Steep-Weiche“ unbelüftet und vollständig belüftet (Nassweichen und Lufrast) geweicht und mittels Schmidt-Seeger Anlage weiter vermälzt wurden zusammengefasst.

Tab. 8: Ausgewählte Parameter

Analysen		obere Schicht mit Belüftung	untere Schicht mit Belüftung	obere Schicht ohne Belüftung	untere Schicht ohne Belüftung
Extrakt FS (Trs.)	%	81,1	81,2	81,1	81,1
Mürbigkeit	%	90,6	90,2	87,5	84,7
Ganzglasigkeit	%	0,2	0,1	0,6	0,8
Modifikation (Carlsberg)	%	99	93	91	93
Homogenität (Carlsberg)	%	92	76	73	80
β -Glucan Malz (Trs.)	mg/L	90	82	142	186
α -Amylase Malz (Trs.)	%	270	266	248	234
β -Amylase Malz (Trs.)	mg/L	914	894	880	887
Blattkeimlänge	%	78,3	82,2	71,7	69,2
Homogenität der BKL	%	96,0	97,3	92,5	90,3
Mälzungsschwand	%	6,4	6,9	6,4	6,5

Anhand der Malzanalysen können keine deutlichen Unterschiede zwischen einer Belüftung und einer Nicht-Belüftung während der Weiche aufgezeigt werden. Lediglich die cytolytische Lösung (Mürbigkeit, Modifikation und insbesondere der β -Glukangehalt) war aufgrund einer schnelleren Ankeimung und damit verbunden einer geringfügig längeren Wachstumszeit höher. Die Ganzglasigkeit der nicht-belüfteten Proben lag etwas höher, was auf eine negative Beeinflussung der Nichtbelüftung hinweisen könnte, wenn einige wenige Körner nicht oder erst sehr viel später gekeimt sind. Auch die Homogenität nach Carlsberg sowie die Homogenität der Blattkeimentwicklung waren bei den unbelüfteten Proben geringer, wobei dies damit begründet werden kann, dass die Eco-Steep Pilotanlage nur einen sehr gut belüfteten Ausschnitt der Eco-Steep Flachbodenweiche darstellt, in dem es nicht-belüftete Stellen (z.B. zwischen den Zuluftöffnungen) gibt. Zwischen den Proben aus der unteren und oberen Schicht waren nur sehr geringe Unterschiede aufzeigbar, die jedoch keinen Trend hin zu der einen oder anderen Probenposition zuließen. Aus diesem Grund und weil industrielle Konusweichen deutlich höher sind, wurden weitere Versuche zur Belüftung während der Weiche im Industriemaßstab durchgeführt (siehe Abschnitt 6.1.4).

6.1.4 Auswirkungen des Belüftens in einer Industrie-Weiche auf die Keimung

6.1.4.1 Kontrolle der Ankeimung

Zur Untersuchung der Einflüsse des Weichsystems auf die Ankeimung und die Malzqualität wurden Weichversuche im Industriemaßstab bei der Fa. DURST durchgeführt. Die Weichparameter und detaillierte Durchführung ist in Abschnitt 4.3.2 näher erläutert. Zur Bewertung der Ankeimung der Gerste bei verschiedenen Weichverfahren wurden die Anteile gespitzter und gegabelter Körner nach dem Weichen und während der Kleinmälzung an den

ersten drei Keimtagen ausgezählt. Da dies auch für die Auswertung der aus dem Prozess entnommenen Proben wichtig ist, sind die Verläufe aus den jeweils vier Proben eines Weichversuches in Abbildung 29 gemittelt dargestellt.

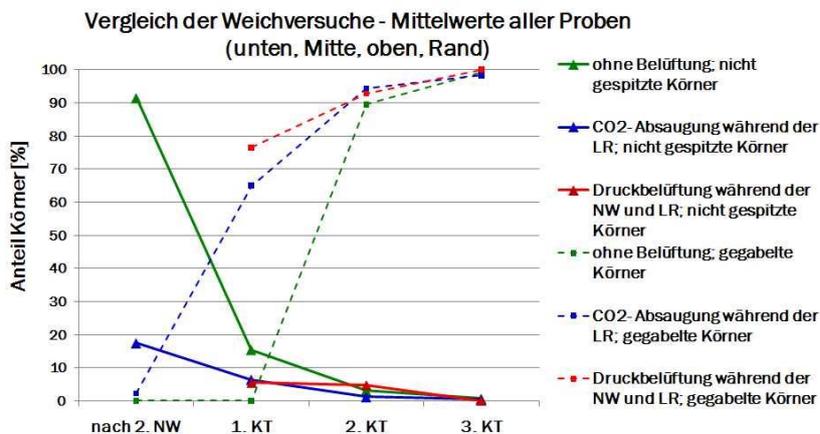


Abb. 29: Vergleich des Ankeimverhaltens der Gerste bei den verschiedenen Weichverfahren

Das Fehlen jeglicher Belüftung führte zu einer deutlich langsameren Ankeimung von etwa einem Tag. Nach dem Weichen waren bei CO₂-Absaugung während der Luftrast durchschnittlich 18 % der Körner und ohne Belüftung etwa 90 % der Körner nicht gespitzt. Der Versuch der Druckbelüftung hatte ein anderes, zweitägiges Weichverfahren mit 3 statt 2 Nassweichen, daher konnten nach der 2. Nassweiche keine Werte aus den Probesäckchen ermittelt werden. Dennoch wird durch den Vergleich der prozentualen Anteile der bereits gegabelten Körner am ersten Keimtag deutlich, dass die intensive Druckbelüftung während der Nassweichen und Luftrasten (nachts) für das Ankeimverhalten der Gerste effektiver war als die ausschließliche CO₂-Absaugung während der Luftrast. Bereits ab dem 2. Keimtag waren die Anteile der ungespitzten Körner aller Weichverfahren in etwa gleich gering bei kleiner 5 % und der Anteil der gegabelten Körner ab 3. Keimtag größer 97 %. Die deutliche Ankeimungsverzögerung bei fehlender Belüftung kann auf den physiologischen Status der Gerste zurückgeführt werden. Die Gerste benötigte wahrscheinlich einfach mehr Zeit um sich von der Anoxie zu „erholen“ und das Wachstum einzuleiten.

Bei der Betrachtung der Blattkeimentwicklung nach MEBAK (Tab. 9) der fertigen Prozess-Malze, die nicht aus den Probesäckchen (siehe Abschnitt 4.3.2), sondern anhand von Proben, die aus Industrieprozess entnommen worden sind, ergibt sich für das Malz des Weichversuches mit CO₂-Absaugung während der Luftrast eine verringerte Blattkeimentwicklung. Die Ursache dafür könnten die anhand des GABA-Verlaufes nachgewiesenen höheren Stressbedingungen im Keimkasten sein. Die Messungen der Belüftung der drei verschiedenen Keimkästen wurden mit einem Anemometer überprüft. Die Belüftung des Keimkastens des unter CO₂-Absaugung während der Luftrast gewickten Weichverfahrens war mit durchschnittlich 0,64 m/s deutlich geringer als die der anderen beiden Keimkästen (unbelüftet gewickelt 0,90 m/s; druckbelüftet gewickelt 0,84 m/s). Die Ergebnisse der Gleichmäßigkeit der Blattkeimlängen geben einen Hinweis auf eine gleichmäßigere Keimung bei Nichtbelüftung der Weiche, da hier die höchste Gleichmäßigkeit mit 86 % ausgewertet werden konnte. Die

intensive Druckbelüftung führte auch mit 78 % zu einer höheren Gleichmäßigkeit gegenüber der ausschließlichen CO₂-Absaugung während der Luftrast

**Tab. 9: Vergleich der Blattkeimentwicklung bei den verschiedenen Weichverfahren
Darrmalzproben aus den Malzsäcken der unteren Schicht**

Versuch	ohne Belüftung	CO ₂ -Absaugung während der Luftrast	Druckbelüftung während der Nassweichen und Luftrasten (nachts)
Blattkeimlänge (Soll 07-0,8)	0,74	0,61	0,74
Anteil Klasse 3 & 4 [%]	86	70	78
Gleichmäßigkeit der Keimung (> 84 gleichmäßig >75 ziemlich gleichmäßig < 75 ungleichmäßig)	gleichmäßig	ungleichmäßig	ziemlich gleichmäßig

6.1.4.2 Auswirkungen der Probepositionen in den Weichsystemen auf die Keimung und die Malzqualität- Kleinmälzung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Analysen der Malze präsentiert, die in den unterschiedlichen Schichttiefen der Weichtanks in Probensäckchen geweicht und anschließend unter definierten Bedingungen in der Labor-Kleinmälzungsanlage separat weiter vermälzt wurden (siehe Abschnitt 4.3.2)

Anhand des Ankeimverhaltens der verschiedenen Proben der vier Positionen innerhalb der drei Weichsysteme konnten Unregelmäßigkeiten aufgezeigt werden. Auch die Analysen der Malze lieferten wichtige Erkenntnisse und werden in folgendem Kapitel vorgestellt.

Ansatz ohne Belüftung

Anhand des Verlaufes der Ankeimung des Weichversuches ohne Belüftung in Abbildung 30 ist ersichtlich, dass die Probe, die am Rand der zylindrokonischen Weiche positioniert war, langsamer angekeimte. Dies ist ein Hinweis auf eine abweichende Malzqualität und spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Malzanalysen wider (siehe Tab. 10).

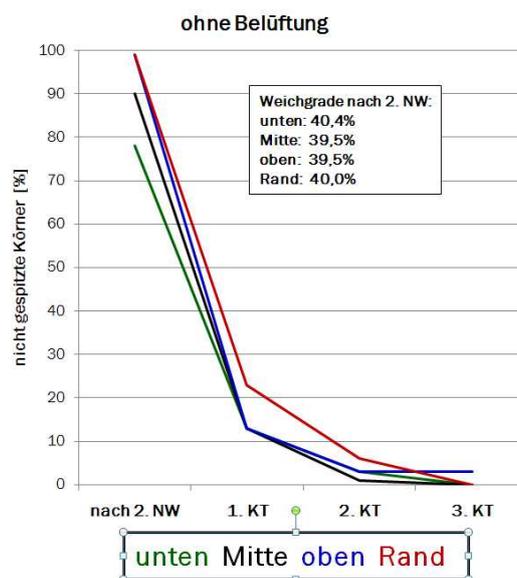


Abb. 30: Bewertung des Ankeimverhaltens der Grünmalzproben des Weichversuches ohne Belüftung

Die am Rand positionierte Probe wies im Vergleich zu den anderen drei Positionen, die höchsten Werte für die Viskosität und den β -Glucan-Gehalt, sowie den geringsten FAN-Gehalt auf. Auch die Modifikation und Homogenität waren deutlich geringer. Allerdings ist auch die Probe, die oben in der Weiche positioniert war, deutlich schlechter als die Proben, die unten und in der Mitte der Weiche eingebracht waren. Eine Erklärung hierfür könnte der kurzzeitige Anstieg des Sauerstoffgehaltes im unteren Teil bis hin zur Mitte der Weiche am Ende der Luftrast sein, der wahrscheinlich durch die geöffnete Abwasserleitung (Abtropfen) und Luftstöße vom Rohrsystems hervorgerufen wurde.

Tab. 10: Ausgewählte Parameter der Malzanalysen des Weichversuches ohne Belüftung

Analyse		unten	Mitte	oben	Rand
Extrakt FS (Trs.)	%	82,9	83,1	82,9	82,8
Trübung 90°	EBC	4,1	3,3	5,4	4,5
Viskosität (8,6 %)	mPa*s	1,443	1,436	1,481	1,492
Mürbigkeit	%	94,2	95,0	93,7	93,7
Ganzglasigkeit	%	0,0	0,3	0,7	0,7
Modifikation	%	96	95	97	91
Homogenität	%	71	67	79	62
FAN	mg/L	138	138	130	123
β -Glucan	mg/L	201	189	235	237

Ansatz mit CO₂-Absaugung während der Luftrast

Die Ankeimung beim Weichversuch mit CO₂-Absaugung war insgesamt schneller als beim unbelüfteten Weichversuch, aber die Proben sind inhomogener angekeimt. Die Probe, die oben in der Weiche eingebracht war, keimte deutlich langsamer. Dennoch konnte anhand der Malzanalysen keine schlechtere Malzqualität nachgewiesen werden. Möglicherweise hat der höhere Weichgrad nach dem Weichen, der durch die hohen Temperaturen im oberen Teil der Weiche verursacht wurde, im Vergleich zu den anderen Proben den negativen Einfluss der hohen Temperaturen in der oberen Schicht ausgeglichen (Abb. 31). Die Temperatur im oberen Bereich wurde vermutlich durch in den Wasserleitungen aufgewärmtes Wasser und durch die ausschließliche Befüllung von unten verursacht. Damit konnte das erst zugeführte Weichwasser zusätzlich durch die komplette Weichgutschicht weiter erwärmt werden.

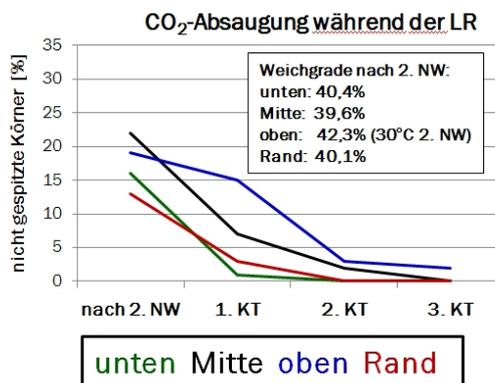


Abb. 31: Bewertung des Ankeimverhaltens der Grünmalzproben des Weichversuches mit CO₂-Absaugung während der Luftrast

Die am Rand der Weiche positionierte Probe hatte die schlechteste Malzqualität, was anhand der Parameter β -Glucan-Gehalt, Viskosität, FAN-Gehalt, Kolbachzahl und Mürbigkeit deutlich wird. Möglicherweise wurde die Probe weniger mit Sauerstoff versorgt, da durch die CO₂-Absaugung von unten am Rand weniger Luftzirkulation vorherrschen dürfte. Dies konnte jedoch mittels der sporadischen Sauerstoffmessungen nicht nachgewiesen werden.

Tab. 11: Ausgewählte Parameter der Malzanalysen des Weichversuches mit CO₂-Absaugung während der Luftrast

Analyse		unten	Mitte	oben	Rand
Extrakt FS (Trs.)	%	83,0	83,0	82,8	83,1
Trübung 90°	EBC	1,8	2,0	2,0	1,9
Viskosität (8,6 %)	mPa*s	1,451	1,454	1,457	1,492
Kolbachzahl	%	42,5	43,2	41,8	41,3
Mürbigkeit	%	96,0	95,0	95,5	94,3
Ganzglasigkeit	%	0,6	0,3	0,4	0,4
Modifikation	%	98	98	96	98
Homogenität	%	83	89	76	84
FAN	mg/L	129	129	139	124
β -Glucan	mg/L	124	144	148	223

Ansatz mit Druckbelüftung während der Nassweichen und Luftrasten (nachts)

Die Ankeimung des Weichversuches mit Druckbelüftung ist im Vergleich zu den anderen Weichversuchen der homogenste, da die Anteile der gespitzten Körner nach dem Weichen (nach 3. Nassweiche = 1. Keimtag) am niedrigsten und am gleichmäßigsten sind. Dies spiegelt sich jedoch nicht in den Ergebnissen der Malzanalysen wider. Hier sind die Unterschiede in den verschiedenen Probenpositionen relativ hoch. Die unten in der Weiche positionierte Probe wies eine deutliche bessere Malzqualität auf, was sich besonders an den Parametern Trübung, Viskosität, und β -Glucan-Gehalt zeigt.

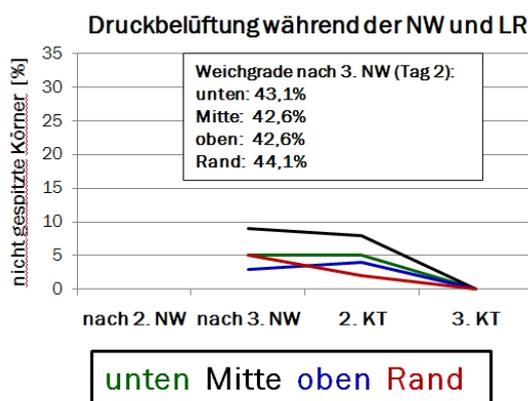


Abb. 32: Bewertung des Ankeimverhaltens der Grünmalzproben des Weichversuches mit Druckbelüftung während den Nassweichen und Luftrasten (nachts)

Die Homogenität und Modifikation ist leicht höher gegenüber den anderen drei Proben. Möglicherweise kann dies mit dem um etwa einen Prozentpunkt höheren Weichgrad nach dem Ausweichen erklärt werden. Die oben in der Weiche eingebrachte Probe lag in den Parametern Trübung und β -Glucan deutlich über und in den Parametern Mürbigkeit und FAN-Gehalt deutlich unter den anderen Proben. Insgesamt führte das zweitägige Weichen zumindest bei den Proben, die in der Kleinmälzung vermälzt worden sind, zu einer inhomogeneren Malzqualität beim Vergleich der verschiedenen Probenpositionen.

Tab. 12: Ausgewählte Parameter der Malzanalysen des Weichversuches mit Druckbelüftung während den Nassweichen und Luftrasten (nachts)

Analyse		unten	Mitte	oben	Rand
Extrakt FS (Trs.)	%	82,9	82,6	82,5	82,8
Trübung 90°	EBC	5,5	8,6	11,9	4,2
Viskosität (8,6 %)	mPa*s	1,499	1,502	1,494	1,437
Kolbachzahl	%	40,0	37,3	36,9	40,7
Mürbigkeit	%	95,6	94,1	92,1	96,3
Ganzglasigkeit	%	0,6	1,1	0,6	0,5
Modifikation	%	97	97	98	99
Homogenität	%	78	78	85	88
FAN	mg/L	113	110	102	114
β -Glucan	mg/L	237	239	350	170

6.1.4.3. Vergleich des Einflusses des Weichverfahrens und der Probenpositionen auf die Malzqualität - Kleinmälzung

Für einen gesamten Vergleich der jeweils vier Probenpositionen in den drei verschiedenen Weichsystemen sind die durchschnittlichen Werte der Malzanalysenparameter in Tabelle 13 zusammengefasst. Außerdem wurde die prozentuale Standardabweichung der vier Proben als ein Maß für die Homogenität der Malzqualität für die einzelnen Weichsysteme berechnet.

Tab. 13: Vergleich ausgewählter Parameter der durchschnittlichen Analysenergebnisse der Darrmalze aus der Kleinmälzung inkl. der Standardabweichungen der jeweils vier verschiedenen Probenpositionen in den 3 Weichsystemen

Analyse		Ohne Belüftung	Stabw. [%]	CO ₂ -Absaugung in LR	Stabw. [%]	Druckbelüftung	Stabw. [%]
Extrakt FS (Trs.)	%	82,9	0,1	83,0	0,2	82,7	0,2
Trübung 90°	EBC	4,3	20,7	1,9	5,1	7,5	45,4
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,46	1,9	1,46	1,3	1,48	2,1
Kolbachzahl	%	40,5	2,5	42,2	2,0	38,7	4,9
Mürbigkeit	%	94,2	0,7	95,2	0,8	94,5	2,0
Modifikation	%	95	2,8	98	1,0	98	1,0
Homogenität	%	70	10,3	83	6,5	82	6,1
FAN	mg/L	132	5,5	130	4,8	110	4,9
β-Glucan	mg/L	216	11,1	160	27,2	249	30,1
Blattkeimlänge (Soll 07-0,8)		0,82	3,0	0,88	3,1	0,73	2,7
Homogenität der BKL	%	95	2,4	85	4,0	96	3,1
Gleichmäßigkeit der Keimung (> 84 gleichmäßig >75 ziemlich gleichmäßig < 75 ungleichmäßig)		gleichmäßig		gleichmäßig		gleichmäßig	

Obwohl für alle Versuche dieselbe Gerste verwendet wurde und nur der Prozessschritt Weichen für die Versuche bei konstanten Keim- und Darrbedingungen in der Kleinmälzungsanlage unterschiedlich war, können anhand der Ergebnisse der Malzanalysen deutliche Unterschiede in der Malzqualität beobachtet werden. Dennoch liegen alle Malze von den Werten her in den von der MEBAK empfohlenen Spezifikationen.

Bei annähernd gleichen Extraktgehalten unterscheiden sich die Eiweißlösungsgrade (Kolbachzahl) deutlich. Trotz schnellerer Ankeimung des druckbelüfteten Weichversuches im Vergleich zum unbelüfteten Weichen hat das fertige Malz den geringsten Eiweißlösungsgrad. Möglicherweise liegt dies an dem einen Tag Verzögerung bis die Proben zu denen der beiden anderen Versuche unter den optimalen Kleinmälzungsbedingungen weiter vermälzt wurden. Die geringere mittlere Blattkeimlänge unterstreicht ein geringeres Wachstum. Auch die Parameter β-Glucan, Viskosität, FAN-Gehalt und die Trübungswerte der Kongresswürze sprechen für eine geringere Lösung, obwohl die Parameter Mürbigkeit und Modifikation in etwa im Bereich der Proben der anderen Weichversuche liegen.

Die durch das verzögerte Ankeimen kürzere Keimphase des unbelüfteten Weichversuches im Vergleich zum Weichversuch mit CO₂-Absaugung während der Luftrast, die in einem ähnlichem Weichsystem und mit einem etwa gleichen Weichprogramm durchgeführt wurden, führte zu einer geringeren cytolytischen und proteolytischen Lösung der Gerstesamen (siehe Blattkeimlänge, β-Glucan-Gehalt und Kolbachzahl, Tab. 13).

Bei der Betrachtung der Standardabweichung der jeweils vier Probenpositionen fällt auf, dass die beiden belüfteten Weichversuche zu deutlich größeren Unterschieden geführt haben. Dies ist ein erneuter Hinweis darauf, dass möglicherweise eine größere Homogenität bei

Nichtbelüftung der Weiche erreicht werden kann, da alle Bereiche der Weiche sauerstofffrei sind und damit homogenen Bedingungen herrschen. Hierbei müsste allerdings eine etwas längere Keimzeit in Betracht gezogen werden, um die etwas geringere Malzqualität ausgleichen zu können.

Auch bei der Betrachtung der Blattkeimentwicklung nach MEBAK (Tab. 13) der fertigen Darrmalze aus der Kleinmälzung ergibt sich für das Malz des Weichversuches mit CO₂-Absaugung während der Luftrast im Durchschnitt der vier Proben eine verringerte Gleichmäßigkeit der Keimung gegenüber den anderen Weichversuchen.

Da die Körner aus einer Probe an derselben Stelle in der Weiche positioniert waren, fielen hier alle Proben in die Kategorie „gleichmäßig“, mit Ausnahme der Rand-Probe bei CO₂-Absaugung während der Luftrast, die auch schon bei den Malzanalysen im Vergleich zu den anderen drei Probenpositionen die schlechteste Malzqualität hatte. Im Gegensatz zu den Prozessmalzen hatten die gesamten Proben des Weichversuches mit CO₂-Absaugung der Kleinmälzung jedoch die längsten Blattkeime. Dies kann mit der schnelleren Ankeimung im Vergleich zur Nicht-Belüftung der Weiche und den fehlenden Stressbedingungen durch eine geringe Belüftung des Keimkastens erklärt werden. Die Proben des druckbelüfteten Weichversuches zeigten in der Kleinmälzung das geringste Blattkeimwachstum, das jedoch in etwa bei dem der Prozess-Proben liegt. Diese Proben sind jedoch erst einen Tag nach den anderen Proben unter den optimalen Bedingungen der Kleinmälzungsanlage weiter vermälzt worden. Daher lässt sich vermuten, dass neben der enormen Wichtigkeit des Weichens für die spätere Malzqualität auch die ersten Keimphasen sehr wichtig für das Wachstum sind und deshalb die eintägig geweichten Proben im Vergleich zum Prozess mehr Blattkeimwachstum zeigten. Beim Vergleich der Ergebnisse der Homogenität der Zellwandlösung nach Carlsberg (Calcofluor) schneiden die Malze, die mit CO₂-Absaugung während der Luftrast geweicht worden sind, vergleichsweise gut ab, was ebenfalls durch das schnellere Ankeimen und dadurch mit einem erhöhten Wachstum und einer höheren cytolytischen und proteolytischen Lösung des Malzes erklärt werden kann.

Fazit

Generell wurde bei den Pilot- und Industrierversuchen der anfangs im Weichwasser vorhandene Sauerstoff in der ersten Nassweiche innerhalb 3 – 6 Stunden (im Industriemaßstab eher 3 und im Pilotmaßstab eher 6 Stunden) und in den 2. Nassweichen bereits nach 30 - 60 min vollständig verbraucht.

Im Pilotmaßstab führte eine Belüftung also eine Sauerstoffversorgung im Gegensatz zu den Versuchen im Industriemaßstab nicht nur zu einem deutlich schnelleren Ankeimen der Gerste, sondern auch zu einer höheren Wasseraufnahme. Eine Ursache, für die nahezu konstanten Weichgrade der Proben die im Großmaßstab geweicht wurden (mit Ausnahme des Weichversuches mit CO₂-Absaugung in der Luftrast), könnte in der Verwendung von Probesäckchen liegen. Durch das Quellen der Körner könnten diese in den Säckchen durch einem höheren Druck ausgesetzt gewesen sein. Dies wiederum kommt einer simulierten Pressung (wie z.B. in den unteren Schichten der Weichsysteme) gleich. Allerdings ändert dies nichts an den unterschiedlichen Sauerstoffverhältnissen an den Probenpositionen. In einem

weiteren Versuch müsste daher untersucht werden, ob auch im Industriemaßstab unterschiedliche Weichgrade in den unterschiedlichen Schichttiefen der Weichsysteme aufgrund der dort herrschenden unterschiedlichen Druckverhältnisse vorliegen.

Bezüglich der durchgeführten Malzanalysen lässt sich zusammenfassend sagen, dass sich auch bei Nichtbelüftung der Weiche eine annähernd gleiche Malzqualität wie mit Belüftung erzielen lässt. Beim Vergleich der Analysenergebnisse des Versuches zur CO₂-Absaugung in der Luftrast und des unbelüfteten Versuches fällt auf, dass die cytolytischen Parameter insbesondere der β -Glukangehalt bei den unbelüfteten Malzen eine etwas geringere Lösung aufwiesen. Dies kann mit der verzögerten Ankeimung erklärt werden. Anhand der Homogenität nach Carlsberg konnte jedoch für die nicht-belüfteten Malze eine durch Auszählen gespitzter und gegabelter Körner ermittelten homogeneren Ankeimung aufgezeigt werden. Eine Nicht-Belüftung scheint demnach zu homogeneren Malzchargen zu führen; allerdings müsste die Keimung etwas verlängert oder intensiviert werden, um die Cytolyse entsprechend einer Belüftung beim Weichen angleichen zu können.

6.2 Gegenüberstellung eines „aggressiven“ und eines „moderaten“ Weichprogramms

Ein weiterer Versuch war die Variation des Weichprogramms. Dazu wurden drei verschiedene Gersten bei einem ein „aggressiven“ Weichprogramm mit einer sehr langen ersten Nassweiche von 9 Stunden und einer kurzen Luftrast von 7 Stunden und bei einem „gemäßigtem“ Weichprogramm mit einer kurzen ersten Nassweiche von 5 Stunden und einer langen Luftrast von 16 Stunden geweicht. Die Parameter der nachfolgenden Keimung und des Darrens wurden konstant gehalten. Während und nach dem Weichen wurden die Keimboxen gewogen, um die Wasseraufnahme der Gersten bei den verschiedenen Weichprogrammen zu dokumentieren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt.

Mit dem „aggressiveren“ Weichprogramm nahmen die Gersten langsamer Wasser auf. Außerdem war die Wasseraufnahme der in Spanien angebauten Gersten Pewter und Prestige langsamer als die Braemar-Gerste aus Deutschland. Nach dem Weichen war jedoch bei allen drei Gersten der Weichgrad beim „gemäßigten“ Weichprogramm um 0,4 - 0,8 % höher. Auch die Wasseraufnahme des aufgespritzten Wassers am 0. Keimtag zur Einstellung des Weichgrades von 45 % war bei Anwendung des „aggressiveren“ Weichprogramms etwas geringer.

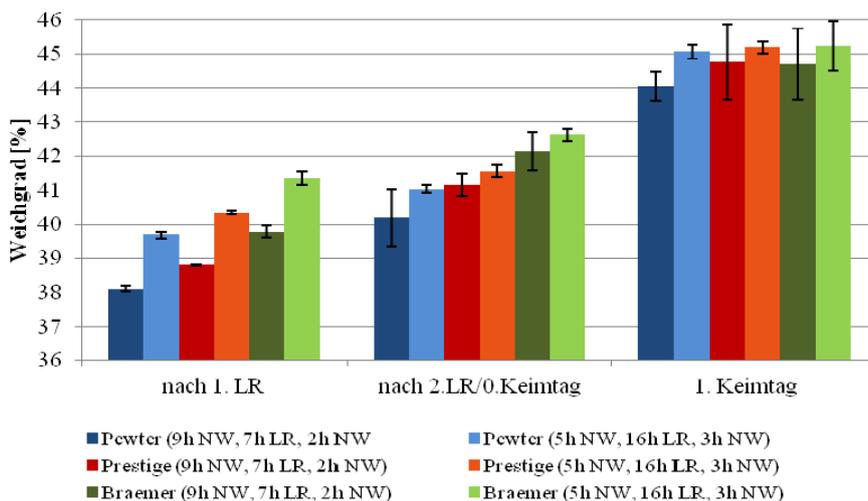


Abb. 33: Verläufe der Wasseraufnahme der Gerstensorten Pewter, Prestige und Braemar bei der Variation der Weichverfahren mit einem „aggressivem“ (9h NW, 7h LR, 2h NW) und „gemäßigtem“ (5h NW, 16h LR, 3h NW) Weichprogramm.

42 und 66 Stunden nach dem Einweichen wurde das Ankeimverhalten durch Auszählen der gespitzten und gegabelten Körner bewertet (siehe Abb. 34).

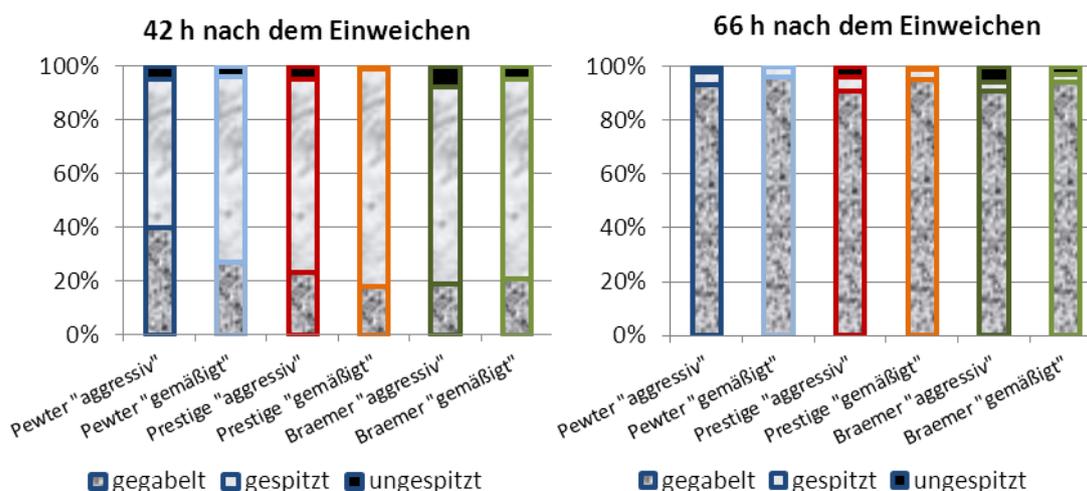


Abb. 34: Vergleich der Ankeimung

Anteile gegabelter, gespitzter und ungespitzter Körner der drei Gerstensorten Pewter, Prestige und Braemar bei der Variation der Weichverfahren mit einem „aggressivem“ (9h NW, 7h LR, 2h NW) und „gemäßigtem“ (5h NW, 16h LR, 3h NW) Weichprogramm 42 und 66 Stunden nach dem Einweichen.

Bei beiden Weichverfahren konnten gute Ankeimverhalten der Gerstesamen beobachtet werden. Allerdings ist anhand der gegabelten Anteile ersichtlich, dass die drei Gersten mit dem „aggressiveren“ Weichprogramm, vermutlich durch die höhere Wasseraufnahme in der 1. Nassweiche (ist nicht bestimmt worden), etwas schneller angekeimt sind. Dennoch war bei dem „gemäßigtem“ Weichprogramm die Homogenität der Ankeimung besser und die Keimenergie (Anteil gekeimter = gespitzt und gegabelte Körner) höher.

Zur Überprüfung der Stressbedingungen wurde von den Gersten Prestige und Braemar 16 bzw. 21 h und 42 Stunden nach dem Einweichen Proben genommen, tiefgefroren und der FS 1 für die GABA-Bestimmung zugeführt.

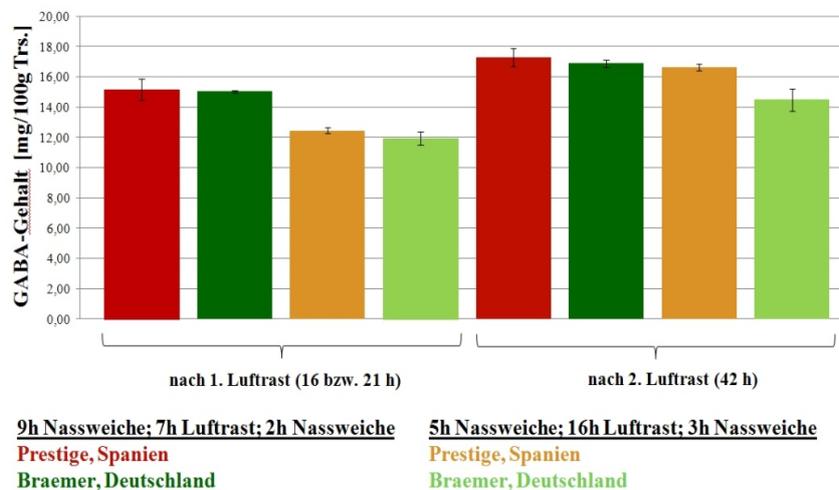


Abb. 35: Ergebnisse der GABA-Bestimmung zwei verschiedener Gersten

Prestige und Braemar nach der 1. und 2. Lufrast bei der Variation der Weichverfahren mit einem „aggressivem“ und „gemäßigtem“ Weichprogramm.

Bei der Betrachtung der GABA-Messungen fällt auf, dass bei erhöhten Stressbedingungen, also durch die längere erste Nassweiche, mehr GABA produziert wurde, obwohl die erste Lufrast beim „aggressiveren“ Weichen kürzer war und somit eine kürzere Zeit der physiologischen Vorgänge zur Verfügung stand. Bis zur 2. Lufrast stiegen die GABA-Gehalte weiter an, wobei die Gehalte beim „gemäßigtem“ Weichprogramm etwas niedriger waren. Dennoch ist der Anstieg beim „gemäßigterem“ Weichen höher, was durch die längere Nassphase, der 2. Nassweiche, zu erklären ist. Längere Nassphasen führen zu Stress für die Gerstesamen, weil durch die geringe Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser eine deutlich verminderte Sauerstoffversorgung der Körner besteht.

Der Einfluss der Variation des Weichprogrammes scheint jedoch geringer zu sein als der Einfluss des Weichgrades, der Temperatur oder der Belüftung beim Weichen (siehe 6.1 - 6.3). Trotzdem war der GABA-Gehalt messbar dafür geeignet, um die Stressbedingungen zu bewerten. Die Stressbedingungen, die durch die lange erste Nassweiche und die kurze Erholungsphase in der ersten Lufrast vor der 2. Nassweiche hervorgerufen wurden, und die damit verbundene langsamere Wasseraufnahme und inhomogenere Ankeimung, resultierte bei allen drei Gerstensorten in einer geminderten Malzqualität.

Bei den drei Gersten sind beinahe alle Parameter der cytolytischen und proteolytischen Lösung beim „gemäßigtem“ Weichprogramm positiv gegenüber dem „aggressiveren“ Weichprogramm beeinflusst worden. Der physiologische Status der Gersten wurde dementsprechend vermindert gehemmt und dadurch ein homogeneres und schnelleres Wachstum erreicht. Anhand der Parameter der Calcofluor-Methode nach Carlsberg konnten jedoch im Gegensatz zu den deutlichen Abweichungen der restlichen Analysenparameter keine Unterschiede aufgezeigt werden. Dies zeigt, dass Indikatorsubstanzen wie das hier

angewandte GABA eine gute Möglichkeit ist Unterschiede im physiologischen Status während der Mälzung auszumachen. Außerdem konnte erneut die Wichtigkeit des Prozessschrittes Weichen aufgezeigt werden, da die Keim- und Darrbedingungen bei allen Versuchen konstant waren.

Tab. 14: Malzanalysen zum Versuch der Variation der Weichverfahren

Analysen	Gerste	Pewter (Spanien)		Prestige (Spanien)		Braemar (Deutschland)	
		9h NW, 7h LR, 2h NW	5h NW, 16h LR, 3h NW	9h NW, 7h LR, 2h NW	5h NW, 16h LR, 3h NW	9h NW, 7h LR, 2h NW	5h NW, 16h LR, 3h NW
Extrakt FS (Trs.)	%	81,8	81,5	81,2	81,6	83,9	84,4
Extrakt GS (Trs.)	%	79,4	79,5	80,0	79,8	82,3	83,5
Extrakt Differenz	%	2,3	2,0	1,2	1,8	1,5	0,9
Ablaufzeit	min	30	29	26	21	20	27
Trübung 90°	EBC	2,2	1,2	1,1	0,8	1,5	1,4
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,49	1,45	1,44	1,44	1,47	1,46
Kochfarbe	EBC	5,5	5,5	4,9	5,0	5,2	5,1
pH-Wert		6,1	5,9	6,2	5,8	6,1	6,0
Kolbachzahl	%	42,0	42,9	37,6	39,1	44,5	45,9
VZ 45°C	%	43,2	44,6	42,0	43,9	38,7	39,1
Mürbigkeit	%	91,9	92,8	86,8	89,4	93,6	96,4
Ganzglasigkeit	%	0,6	0,4	0,9	0,2	0,5	0,9
Modifikation	%	96	96	98	98	98	97
Homogenität	%	76	80	87	89	86	78
FAN	mg/L	145	160	140	146	138	153
β-Glukan	mg/L	161	124	111	94	223	168
scheinbare Endvergärung	%	83,7	84,9	84,0	85,3	85,1	84,4

6.3 Variation der Weich- und Keimbedingungen (Kleinmälzung, Fa. Schmidt-Seeger)

Die Versuche dieser Versuchsreihen wurden ausschließlich in der computergesteuerten Kleinmälzung der Fa. Schmidt-Seeger, durchgeführt. Die Anlage ist in Abschnitt 4.4.2 näher beschrieben.

Bei den Versuchen wurde das Weichprogramm leicht variiert, um die verschiedenen Ziel-Weichgrade bei den unterschiedlichen Temperaturen (schnellere Wasseraufnahme bei höheren Temperaturen, siehe Abschnitt 6.1.1) zu erreichen. Die Weichprogramme sind Tabelle 15 zusammengefasst:

Durch zweimaliges Aufspritzen, nach der 2. Luftrast und am 1. Keimtag, wird der Ziel-Weichgrad erreicht, wobei die Menge des aufzuspritzenden Wassers rechnerisch aus dem Gewicht ermittelt wird.

Tab. 15: Weichprogramme in Abhängigkeit von Weichtemperatur und Ziel-Weichgrad

Versuchsreihe	1			2			3	
Weich-Temperatur:	14°C			11°C			18°C	
Ziel-Weichgrad:	41 %	44 %	47 %	41 %	44 %	47 %	41 %	44 %
1. Nassweiche	4 h	4 h	5 h	4 h	5 h	6 h	3 h	4 h
1. Luftrast	19 h							
2. Nassweiche	2 h	3 h	4,5 h	2,5 h	3,5 h	5,5 h	3,5 h	4,5 h
2. Luftrast	20 h							

Nach der zweiten Luftrast (nach dem Weichen), vor dem Schwelken (15 h bei 50 °C), vor dem Abdarren (5 h bei 80 °C) sowie vom fertigen Malz wurden Proben genommen und tiefgefroren der FS 1 zur GABA-Bestimmung zugeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden drei Abbildungen dargestellt (Abb. 36-38). Die erste Abbildung zeigt einen typischen Verlauf der GABA-Gehalte der Körner während der gesamten Mälzung.

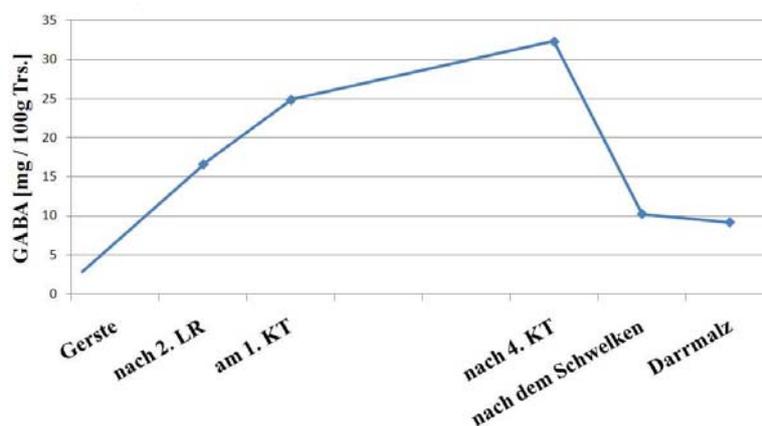


Abb. 36: typischer Verlauf der GABA-Gehalte während des Mälzens
Beispielhaft anhand der Probe mit einem Weichgrad von 44 %; Weich-/Keimtemperatur 14°C

Der GABA-Gehalt stieg im Zuge der Keimung an. Nach dem Darren konnte in den Proben weniger GABA nachgewiesen werden, als nach dem Weichen. Die Ursache dafür könnte ein Abbau von GABA bei den höheren Temperaturen des Darrens sein. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu berücksichtigen, dass der GABA-Gehalt wahrscheinlich zunächst am Anfang des Schwelkens noch deutlich ansteigt, da bei den anfangs moderaten Temperaturen im Grünmalz noch viele enzymatische Prozesse ablaufen und auch der Stressmetabolismus durch den Trockenstress induziert werden könnte.

Abbildung 37 zeigt die GABA-Gehalte aller Grünmalzproben mit dem Ziel-Weichgrad von 44 % nach der zweiten Luftrast und am 1. Keimtag. Die Ergebnisse zeigen, dass bei höheren Weich- und Keimtemperaturen mehr GABA gebildet wird.

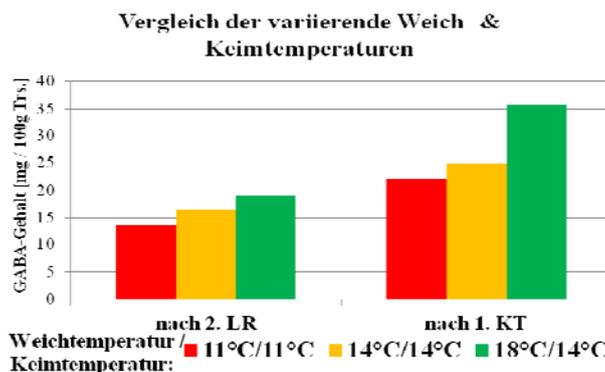


Abb. 37: GABA-Gehalte in Grünmalzproben variierender Weich-/Keimtemperaturen
Gegenüberstellung der Proben, die bei einem Weichgrad von 44 % gekeimt wurden.

Die verschiedenen Weichprogramme zum Einstellen der Weichgrade von 41, 44, 47 % führten jedoch nur zu geringfügig unterschiedlichen Weichgraden zwischen 37 und 39,5 %. Da die Ziel-Weichgrade erst durch das Aufspritzen (einmal nach dem Weichen und einmal am ersten Keimtag) eingestellt wurden, konnten beim Vergleich der unterschiedlichen Weichgrade keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Daher soll hier auf die Darstellung der Ergebnisse verzichtet und nur auf die GABA-Gehalte der fertigen Malze eingegangen werden. Die Ergebnisse sind in folgender Abbildung dargestellt.

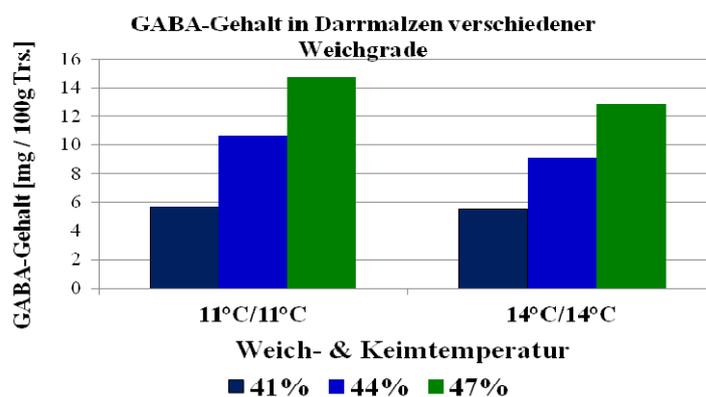


Abb. 38: GABA-Gehalte in gedarrten Malzen, die bei verschiedenen Weichgraden gekeimt wurden in Abhängigkeit der Weich- und Keimtemperatur (11 und 14 °C)

Im Darmmalz ist der Einfluss der untersuchten Weich- und Keimbedingungen auf den GABA-Gehalt deutlich sichtbar. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass große Mengen an GABA auch während der Schwelke als Stress-Antwort auf die einsetzende Trocknung und die erhöhten Temperaturen gebildet werden. Damit sind die deutlich höheren GABA-Mengen in den Malzen mit den höheren Weichgraden ursächlich nicht nur auf die GABA-Bildung während der Weiche, sondern vor allem auf die GABA-Bildung während der Schwelke zurückzuführen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in den Samen, die mehr Wasser enthalten, ein längerer Zeitraum für die Synthese der Stressmetabolite zur Verfügung steht, bevor der gesamte Stoffwechsel durch Denaturierung zusammenbricht.

Um den Einfluss der Weich- und Keimtemperatur sowie des Weichgrades bei der Keimung zu verifizieren, wurden ausgewählte Malze analysiert und die Ergebnisse in folgende Tabelle gegenübergestellt.

Tab. 16: Ausgewählte Malzanalysenparameter der Weichversuche unter Variation der Weichgrade und Weich-/Keimtemperatur

Weichgrad	%	47	47	44	44
Weich- & Keimtemperatur	°C	14	11	14	11
Extrakt FS (Trs.)	%	83,0	82,1	82,9	83,3
Extrakt GS (Trs.)	%	81,3	79,3	80,8	78,6
Extrakt Differenz	%	1,8	2,8	2,1	3,3
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,562	1,765	1,552	1,832
pH-Wert		5,96	6,09	6,01	6,10
Kolbachzahl	%	37,2	30,3	35,2	31,5
VZ 45°C	%	36,6	26,8	34,8	26,9
Mürbigkeit	%	78,1	65,9	73,4	65,9
Modifikation (Calcofluor)	%	93	84	89	76
Homogenität (Calcofluor)	%	72	56	66	54

Auch wenn die Malzqualitäten aufgrund der sehr niedrigen Keimenergie der verwendeten Gerste entsprechend der Spezifikationen der MEBAK nicht akzeptabel waren, konnten dennoch deutliche Unterschiede in der Malzqualität aufgezeigt werden. Wie erwartet, führte ein höherer Weichgrad, sowie höhere Temperaturen beim Weichen und Keimen zu besseren Ergebnissen im Extraktgehalt, Hartong VZ 45°C, Eiweißlösungsgrad, Mürbigkeit, Modifikation, Homogenität und zu niedrigeren Viskositäten und Extrakt Differenzen. Es konnte außerdem festgestellt werden, dass der Weichgrad einen größeren Einfluss hat als die Weich- bzw. Keimtemperatur.

6.4 Untersuchungen von Darmmalzen aus großtechnischen Darren

Zur Untersuchung von Darmmalzen aus dem Industriemaßstab wurden in zwei Mälzereien Malzproben aus verschiedenen Höhen der Darrschicht entnommen. Die Ergebnisse der Malzanalysen sind in folgender Tabelle aufgeführt.

Die Malzanalysen zeigen relativ einheitliche Ergebnisse bei den Proben der unteren und oberen Darrschicht. Allerdings ist die Durchführung der Probenahme unbekannt, da die Proben vor Ort in den Mälzereien genommen und dann ins Institut der TU Berlin geschickt worden sind.

Einige Unterschiede in der Malzqualität konnten dennoch aufgezeigt werden. Die Analysen der Enzymausstattung der Malzproben ergaben, dass die β -Amylasen in den unteren, temperaturbelasteteren Malzschichten stärker inaktiviert werden als in den oberen Malzschichten.

Tab. 17: Malzanalysen Darrmalze aus verschiedenen Darrschicht, Industriemaßstab

Parameter		Malz 1 unten	Malz 1 oben	Malz 2 unten	Malz 2 oben
Wassergehalt	%	5,6	5,3	4,3	4,5
Extrakt FS Trs	%	82,1	81,8	81,8	81,0
Extrakt GS Trs.	%	81,7	81,4	81,6	80,5
Extrakt Differenz	%	0,4	0,4	0,2	0,5
Kochfarbe	EBC	8,1	7,4	8,6	8,8
pH-Wert		5,9	5,8	5,8	5,7
lösl. Stickstoff	mg/l	831	878	845	885
Kolbachzahl	%	45,0	45,5	39,9	40,8
VZ 45°C	%	44,8	47,4	39,0	41,1
Mürbigkeit	%	95,7	94,4	85,0	88,0
diastatische Kraft	°WK	221	264	259	303
Modifikation	%	96,0	97,0	96,0	97,0
Homogenität	%	75,0	85,0	73,0	80,0
freier α -Amino-Stickstoff	mg/L	149	142	145	143
α -Amylase	U/g	180	180	130	140
β -Amylase	U/g	610	650	620	760

Dies spiegelt sich ebenfalls in den Werten der Diastatischen Kraft wider. Die α -Amylasen wurden von den unterschiedlichen Temperaturverläufen während des Darrens nicht beeinflusst. Die Vergleichszahl VZ 45°C als Indikator für die Enzymgesamtheit (nach MEBAK ohne die α -Amylase) zeigt, dass die obere Malzschicht höhere Aktivitäten aufweist. Leider sind keine Protease-Aktivitäten bestimmt worden; dennoch kann anhand der annähernd gleichen Gehalte an löslichem Stickstoff und freiem α -Amino-Stickstoff (FAN) eine in etwa gleich hohe Protease-Aktivität in den unterschiedlichen Schichten vorausgesetzt werden. Die Homogenität (Carlsberg Methode) war bei beiden Mälzereien niedriger in der stärker beheizten unteren Schicht. Die Werte der photometrischen Jodprobe waren in den oberen Malzschichten ebenfalls geringer, ein Hinweis auf die bessere Lösung der Malze.

Des Weiteren wurden diese Malzproben auf ihren GABA-Gehalt untersucht.

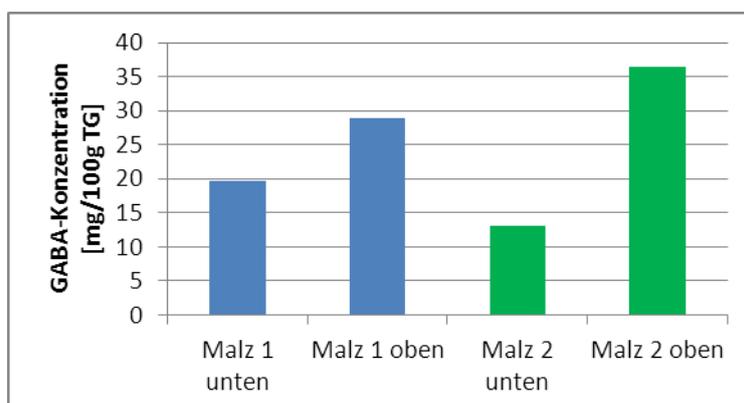


Abb. 39: GABA-Gehalte in Darrmalzen unterschiedlicher Schichthöhe

Bei beiden Malzen der unteren Schicht wurde deutlich weniger GABA nachgewiesen. Auch hier erscheint es wahrscheinlich, dass das schnellere Erreichen der Temperaturen, bei denen der Stoffwechsel zum Erliegen kommt, dazu führt, dass weniger GABA akkumuliert werden kann (siehe oben). Im Gegensatz dazu führen die Bedingungen in den oberen Schichten (länger vorhandene Feuchtigkeit und moderatere Temperaturen) zu längerer Phase eines aktiven Stress-Metabolismus und somit zu einer stärkeren GABA-Anreicherung führen.

6.5 Beurteilung Blattkeimentwicklung nach MEBAK und der Zusammenhang mit der Homogenität der Malzqualität

Ein weiterer Ansatz zur Überprüfung der Heterogenität innerhalb einer Malzprobe wurde anhand der Blattkeimentwicklung durchgeführt. Dazu wurden zunächst Körner nach der Länge der Blattkeime (40 - 65 %, 66 - 85 %, 86 - 100 % der Kornlänge) sortiert, die Blattkeimentwicklung nach MEBAK (ohne Kochen) analysiert und für Malzanalysen eingesetzt. Das Malz wurde für 15 min in kaltem Wasser eingeweicht und nach dem Sortieren bei 35 °C im Trockenschrank zurückgetrocknet, um die Enzymausstattung zu erhalten. Die Ergebnisse der Malzanalysen sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Fast alle Parameter weisen erwartungsgemäß in den Proben mit längerer Blattkeimlänge auf eine deutlich gesteigerte Cytolyse (Ablaufzeit, Trübung, Viskosität, photometrische Jodprobe, scheinbare Endvergärung, aber allen voran der β -Glucangehalt) und proteolytische Aktivität (Kolbachzahl, FAN-Gehalt) hin. Die Enzymaktivitäten mit Ausnahme der α -Amylase sind ebenfalls höher in den Körnern längerer Blattkeime. Die Ergebnisse zeigen, dass die Beurteilung der Blattkeimlänge - neben der Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Keimung - auch ein geeignetes Instrument zur Beurteilung der Homogenität einer Malzprobe und damit der Malzqualität sein kann. Dies sollte jedoch in weiteren Versuchen weiter verifiziert werden.

Tab. 18: Ausgewählte Parameter der Malzanalysen in Körnern unterschiedlicher Blattkeimlänge

Blattkeimlänge bezogen auf die Kornlänge	%	40-65 %	66-85 %	86-100 %
Wassergehalt nach dem Trocknen	%	7,9	8,0	7,9
Extrakt FS (Trs.)	%	81,3	81,8	81,6
Ablaufzeit	min	97	69	52
Trübung 90°	EBC	2,7	0,9	0,7
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,42	1,40	1,38
Kochfarbe	EBC	5,1	5,4	8,8
pH-Wert		5,99	5,95	5,90
lösl. Stickstoff	mg/l	589	633	705
Kolbachzahl	%	34,9	37,9	42,1
FAN (Malz Trs.)	mg/100g	83	92	112
β -Glukan (Malz Trs.)	mg/100g	359	110	40
scheinbare Endvergärung	%	81,4	81,9	82,0
α -Amylase (Megazyme) (Trs.)	U/g	166	126	193
β -Amylase (Megazyme) (Trs.)	U/g	507	598	697
β -Glucanase (Megazyme) (Trs.)	U/kg	845	856	983
photometrische Jodprobe	dE	0,50	0,41	0,37

6.6 Versuche zu extremen Temperaturen beim Weichen, Keimen und Darren

In weiteren Versuchsreihen sollten heutige Gersten auf die Verarbeitbarkeit bei unüblichen hohen Weich- und Keimtemperaturen und niedrigen Schwelktemperaturen hin untersucht werden. In der Literatur werden Weich- und Keimtemperaturen zwischen 12 und 19 °C empfohlen (73-75), um Malze optimaler Qualität produzieren zu. Da zum einen Untersuchungen dazu vor mehreren Jahrzehnten und mit alten Gerstensorten, die unter Umständen anders reagieren als heutige Sorten. Und zum anderen Wachstumsprozesse bei höheren Temperaturen auch in der Natur schneller ablaufen, sollte untersucht werden, ob sich höhere Temperaturen positiv auf die Homogenität der Ankeimung und des Weiteren auf die Malzqualität heutiger Gerstensorten auswirken können.

6.6.1 Hohe Weichtemperaturen

In einer weiteren Versuchsreihe wurden deutlich höhere Weichtemperaturen eingesetzt, als die in der Literatur (73, 75) und Lehrbüchern empfohlenen 12 - 19 °C. Die Gerstenproben (Marthe 2010 und Tipple 2009) wurden bei 15–35 °C in 5 °C-Schritten (1. Nassweiche und der Luftrast) geweicht. Die zweite Nassweiche erfolgte bei 15 °C, um die Gerste so schnell auf die Keimtemperatur von 15 °C der Kleinmälzungsanlage (Heyl-Anlage VLB/FIR) herunterzukühlen. Die Keimung erfolgte bei einem Weichgrad von 45 %, der durch jeweils einmaliges Aufspritzen am 1. und 2. Keimtag eingestellt wurde. Zur Erzielung eines etwa gleichen Weichgrades wurden die Weichzeiten entsprechend der bis dahin erzielten Weichgrade variiert. Die Parameter sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Im Anschluss an die Keimung wurde das 6-Tage-Grünmalze bei 50 °C für 15 h geschwelkt und bei 80 °C für 4,5 Stunden abgedarrt.

Tab. 19: Weichzeiten und Wasseraufnahme – hohe Weichtemperaturen

	Temperatur 1. NW + LR	Dauer 1. NW [hh:mm]	Dauer der LR [h]	Weichgrad nach LR [%]	Dauer 2. NW [hh:mm]	Weichgrad am 1. Keimtag [%]	Weichgrad am 5. Keimtag [%]
Tipple	15°C	04:15	14-16	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
Marthe	15°C	04:15		34,0	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

Die Wasseraufnahme der Gerste Tipple war deutlich schneller. Die Proben, die bei höheren Temperaturen geweicht wurden, wiesen nach der Lufrast geringere Wassergehalte auf, was auf eine Rücktrocknung in den nichtbefeuchteten Heizschränken während der Lufrast in Abhängigkeit der Temperatur zurückzuführen ist. Mittels der gewählten Zeiten der 2. Nassweiche konnten in etwa gleiche Weichgrade zu Beginn bis zum Ende der Keimung eingestellt werden. Dies ist eine Grundvoraussetzung um die fertigen Malze vergleichen zu können. Zur Überprüfung des Temperatureinflusses der Homogenität und Geschwindigkeit der Ankeimung wurden die Anteile gespitzter, gegabelter und nicht gekeimter Körner nach der 2. Nassweiche und an den ersten beiden Keimtagen ausgezählt (siehe Abb. 40).

Für beide Gersten konnte eine schnellere Ankeimung gegenüber der „normalen „Temperatur von 15 °C bei höheren Temperaturen festgestellt werden. Die optimale Temperatur für die schnellste und homogenste Ankeimung lag bei beiden Gersten zwischen 20 und 25 °C. Die Braugerste Tipple scheint aufgrund der maximalen Keimenergie (gekeimte Körner nach einer bestimmten Zeit) am 1. sowie 2. Keimtag bei 30 – 35 °C °C deutlich empfindlicher gegenüber sehr hohen Weichtemperaturen zu sein, als die Marthe, die sogar bei 30 °C die höchste Keimenergie am 2. Keimtag hatte.

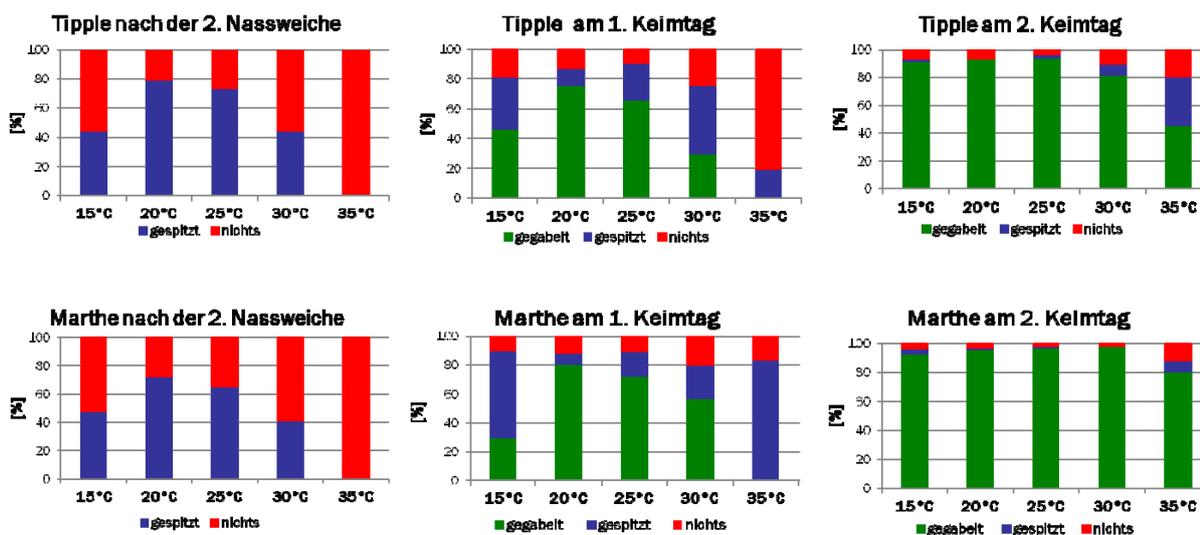


Abb. 40: Ankeimung der Gersten Tipple und Marthe - hohe Weichtemperaturen

Durch die höheren Weichtemperaturen konnte somit die Homogenität der Ankeimung verbessert werden, was sich auch in den Ergebnissen der Malzanalysen in Tabelle 20 widerspiegelt.

Analog zu den Ergebnissen der Ankeimung wurde bei beiden Gersten anhand der α - und β -Amylase ein Enzymmaximum in den fertigen Malzen bei einer Weichtemperatur von 20 °C aufgezeigt. Anhand der cytolytischen Parameter der Malzanalysen außer der Trübung (scheinbare Endvergärung, Ablaufzeit, Viskosität, Mürbigkeit, β -Glukan-Gehalt, Modifikation nach Carlsberg) konnte für die Gerste Tipple bei Weichtemperaturen bis 30 °C und für die

temperaturunempfindlicheren Gerste Marthe sogar bis 35 °C eine deutlich höhere cytolytische Lösung im Vergleich zum Weichen bei 15 °C nachgewiesen werden.

Tab. 20: Malzanalysen– hohe Weichtemperaturen

Tipple						
Weichtemperatur	°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Extrakt FS (Trs.)	%	82,7	83,0	82,7	82,2	82,5
α-Amylase Malz (Trs.)	U/g	293	309	277	248	265
β-Amylase Malz (Trs.)	U/g	781	802	780	763	519
scheinbarer EVG	%	76,0	77,8	78,1	77,9	76,1
Ablaufzeit	min	112	58	72	92	>120
Kolbachzahl	%	44,3	46,0 !	46,9 !	43,5	44,0
Trübung 90°	EBC	1,8	2,6	3,1	4,7	6,7
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,50	1,47	1,48	1,49	1,52
Mürbigkeit	%	88,2	93,5	95,1	92,6	82,6
β-Glucan Malz (Trs.)	mg/100g	214	112	94	113	259
Calcofluor Modifikation	%	90	99	97	97	81
Calcofluor Homogenität	%	71	91	86	78	53
Blattkeimlänge (BKL)	%	58,7	65,6	64,6	61,2	53,2
BKL Homogenität	%	71,5	78,5	76,5	76,5	70,0
Marthe						
Weichtemperatur	°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Extrakt FS (Trs.)	%	81,3	81,2	81,5	81,2	81,5
α-Amylase Malz (Trs.)	U/g	273	282	258	266	293
β-Amylase Malz (Trs.)	U/g	794	862	779	707	632
scheinbarer EVG	%	77,6	79,1	78,6	78,2	77,3
Ablaufzeit	min	43	33	31	28	32
Kolbachzahl	%	44,0	43,8	44,6	44,7	45,1
Trübung 90°	EBC	1,2	1,3	1,5	1,4	2,1
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,49	1,46	1,45	1,47	1,46
Mürbigkeit	%	88,3	91,5	92,0	92,2	92,8
β-Glucan Malz (Trs.)	mg/100g	170	91	69	79	79
Calcofluor Modifikation	%	93	98	98	95	95
Calcofluor Homogenität	%	69	92	89	78	70
Blattkeimlänge (BKL)	%	71,6	75,5	77,7	75,4	66,4
BKL Homogenität	%	80,5	87,0	87,9	90,0	87,1

Die optimale Temperatur lag ebenfalls, analog zu den Ergebnissen der Ankeimung, zwischen 20 und 25 °C. Aufgrund der problematischen Ankeimung der Gerste Tipple bei 35 °C war die Malzqualität der Probe im Vergleich zu allen anderen Proben deutlich herabgesetzt. Die Gerste Tipple hatte zwischen 20 und 25 °C einen verstärkten proteolytischen Abbau (Kolbachzahl). Im Gegensatz dazu waren die Kolbachzahlen bei der Gerste Marthe relativ konstant bei allen untersuchten Temperaturen. Dennoch steigt die Kolbachzahl bei der Gerste Marthe stetig aber in sehr kleinen Schritten mit steigender Temperatur. Dies weist auf eine Abhängigkeit der Proteolyse von der Temperaturempfindlichkeit der Gerste hin, die bei der Cytolyse deutlich weniger stark ausgeprägt ist. Ein Nachteil der höheren Weichtemperaturen bis 30 °C äußerte sich lediglich im Parameter Trübung, der durch höhere Weichtemperaturen bei der Gerste Tipple deutlich und bei der Gerste Marthe nur sehr gering, aber nicht signifikant erhöht wurde. Dennoch liegen alle Trübungen innerhalb der von der MEBAK empfohlenen Spezifikationen. Die Homogenität der Malze, bestimmt mittels Calcofluor-Methode nach Carlsberg, konnte durch den Einsatz von höheren Temperaturen bis 25 °C ebenfalls deutlich gesteigert werden.

Bei beiden Gersten stieg die Homogenität von etwa 70 % (15 °C) auf etwa 90 % bei einer Weichtemperatur von 20 °C. Beide Gersten zeigten eine zur Kontrolltemperatur von 15 °C etwa gleich hohe Homogenität bei 30 °C und eine deutliche Verschlechterung bei 35 °C. Dies spiegelt sich auch in den Analyseergebnissen zur Blattkeimentwicklung wider. Zum einen konnte ein erhöhtes Wachstum anhand der Blattkeimlänge festgestellt werden, zum anderen konnte auch anhand der Homogenität der Blattkeimlänge eine Steigerung – hier von etwa 7 - 8 % - bei einer Weichtemperatur von 20 °C gegenüber 15 °C nachgewiesen werden. Die Homogenität war bei beiden Gersten bis 30 °C höher als bei 15 °C.

Fazit

Bei der Betrachtung der gesamten Ergebnisse kann zusammenfassend festgehalten werden, dass bei einer Temperatur von 20–25°C durchaus hohe und im Vergleich zu einer Weichtemperatur von 15°C bessere Malzqualitäten erzielt werden. Hinsichtlich der Heterogenität bei der Malzproduktion kann eine höhere als in der Literatur und in Lehrbüchern empfohlene Weichtemperatur zur Verbesserung der Homogenität eingesetzt werden. Allerdings sollten nach diesen Ergebnissen keine Weichtemperaturen über 30°C Anwendung finden. Dennoch sollte die aktuell angebauten Braugersten auf Ihre Temperaturempfindlichkeit hin untersucht werden, um zu prüfen, ob das Verhalten sortenabhängig ist und der Einsatz von hohen Temperaturen beim Weichen vorteilhaft sein kann.

6.6.2 Hohe Keimtemperaturen

Zur Überprüfung des Einflusses der Keimtemperatur auf das Verhalten der Gerste und die resultierende Homogenität der Keimung wurden weitere Versuche mit der Schmidt-Seeger Kleinmälzung durchgeführt, bei denen die Keimtemperatur zwischen 16-28°C in 4°C-Schritten variiert worden ist. In den Lehrbüchern und der Literatur (74) werden Keimtemperaturen zwischen 13-8 °C empfohlen. Bei allen Versuchen wurden alle anderen Mälzungsparameter des Weichens und Darrens konstant gehalten, d.h. es wurde bei 15°C geweicht (5 h Nassweiche, 19 h Luftrast, 4 h Nassweiche) und ein Weichgrad von 45 %

durch Aufspritzen am 1. Und 2. Keimtag eingestellt. Während der Keimung wurden bei allen Mälzungen am 2., 3., 4. und 5. Keimtag, also 72, 96, 120 und 144 Stunden nach dem Einweichen Proben, entnommen und eingefroren. Nach den vier Mälzungsversuchen wurden die eingefrorenen Proben unter gleichen Bedingungen (Schwelken bei 50°C für 15 h und Abdarren bei 80°C für 4,5 h) gedarrt. Durch Auszählen gespitzter und gegabelter Körner am ersten Keimtag (nach 48 h) konnte erwartungsgemäß aufgezeigt werden, dass die angewendeten Temperaturen höher als 16 °C zu einem schnelleren Wachstum führten (Abb. 41).

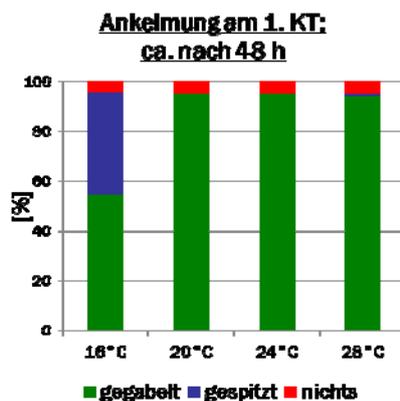


Abb. 41: Ankeimung – hohe Keimtemperaturen

Die bei 16°C gekeimten Körner gabelten erst zu etwa 50 %, was auf eine inhomogene Ankeimung hindeutet. In Tabelle 21 sind die Ergebnisse der Malzanalysen zusammengefasst.

Tab. 21: Malzanalysen – hohe Keimtemperaturen

Probe: Keimtemp. / Keimtag	Extrakt FS (Trs.)	Trü- bung 90°	Kolbach -zahl	FAN Malt (Trs.)	Koch- farbe	α-Amy- lase (lfr.)	β-Amy- lase (lfr.)	Verzuc- kerungs zeit	schein- barer EVG	Viskosi- tät (8.6%)	Mürbig- keit	Calco- fluor: Modifi- kation	Calco- fluor: Homo- genität	β- Glukan
	%	EBC	%	mg/100 g	EBC	U/g	U/g	min	%	mPa*s	%	%	%	mg/L
16°C KT 2	79,8	9,1	35,7	113	7,2	72	660	43	73	1,94	62,5	48	63	1065
16°C KT 3	80,9	5,2	42,2	133	9,4	140	870	25	75,8	1,55	79,4	86	58	466
16°C KT 4	81,9	2,4	48,8 !	154	11,8	175	938	15	78,3	1,47	87	94	64	143
16°C KT 5	81,7	1,5	49,0 !	162	12,7	235	893	15	79,8	1,44	88,3	99	80	120
20°C KT 2	80,1	10,4	39,9	134	7,4	117	729	15	75,1	1,64	73,8	71	49	698
20°C KT 3	80,5	2,8	42,3	133	8,1	205	900	15	79,6	1,48	85,5	90	67	220
20°C KT 4	80,9	2,4	42,7	133	8	235	1002	10	80,8	1,46	88,4	98	87	111
20°C KT 5	80,9	2,3	43,5	131	7,8	266	969	10	80,4	1,45	90,2	98	86	55
24°C KT 2	81,1	2,2	38,9	125	7,1	150	911	15	78,1	1,57	77,9	85	63	458
24°C KT 3	80,1	2	41	124	6,4	199	844	10	80,1	1,55	87,1	96	73	169
24°C KT 4	80,2	2,2	40,2	122	6,3	234	970	10	81,1	1,46	88	97	76	58
24°C KT 5	80,3	2,1	39,8	115	6,7	218	858	15	82	1,45	91,5	96	72	48
28°C KT 2	80,6	6	38,9	120	6,1	138	871	15	78,4	1,56	79,9	77	50	406
28°C KT 3	79,6	5,3	39,7	108	5,2	140	1079	15	80,6	1,53	85,5	88	55	187
28°C KT 4	79,6	3,6	39,8	113	6,4	150	716	15	80,4	1,49	87,7	96	74	92
28°C KT 5	79,3	3,7	39,7	108	6	141	824	15	81,2	1,51	88,3	95	73	72

Bei deren Betrachtung wird deutlich, dass die Enzymaktivitäten der α - und β -Amylase, die cytolytische (Trübung, scheinbare Endvergärung, Ablaufzeit, Viskosität, Mürbigkeit, Modifikation nach Carlsberg, β -Glukan-Gehalt) und proteolytische Lösung (FAN, Kolbachzahl) des 5-Tage bei 16°C gekeimten Malzes bei 20°C etwa einen Tag und bei 24°C ein bis zwei Tage schneller erreicht sind (grün gekennzeichnet). Bei der Keimtemperatur von 28°C konnte keine annehmbare Malzqualität mehr erzielt werden.

Der Extraktgehalt stieg beim 16°C-Versuch mit der Keimdauer an, weil die Zellwände während der Keimung abgebaut und die Stärke für die Enzyme zugänglich gemacht werden. Aufgrund der verstärkten Atmung und des schnelleren Wachstums der Körner bei höheren Temperaturen wird der maximale Extraktgehalt von 81,7 % des 16 °C-Versuches bei keiner höheren Keimtemperatur erreicht. Dies gilt ebenso für die Gehalte an freien Aminostickstoff (FAN), die bei höheren Temperaturen aufgrund eines Gleichgewichtes zwischen Blattkeim- bzw. Wurzel- und Eiweißabbau konstant bleiben über die Keimdauer. Aus demselben Grund ist auch die Kolbachzahl ab dem 3. Keimtag bei höheren Keimtemperaturen relativ konstant. Der höherer FAN-Gehalt der Kontrollmalze (16 °C) führte über die Maillard-Reaktionen beim Darren zu einer höheren Malz- (nicht aufgeführt) bzw. Kochfarbe.

Allerdings konnte die Homogenität nach Carlsberg nur beim 20 °C-Versuch im Vergleich zum 16°C-Versuch gesteigert werden, wobei die Homogenität hier bereits am 4. Keimtag, also einen Tag eher, das maximale Niveau des 6-Tage-Malzes, das bei 16°C gekeimt wurde, übersteigt. Im Vergleich dazu sind in der folgenden Tabelle die Ergebnisse zur Blattkeimentwicklung zusammengefasst.

Die Homogenität der Blattkeimlänge war beim 20 °C-Versuch bereits am 4. Keimtag, und bei den 24- und 28 °C-Versuchen bereits am 3. Keimtag höher als die des 5-Tage-Malzes, das bei 16 °C gekeimt wurde. Anhand der Ergebnisse beider Analysenmethoden (Calcofluor nach Carlsberg und Blattkeimentwicklung) scheint hinsichtlich der Heterogenität von Malzen eine Keimtemperatur zwischen 20 und 24 °C optimal zu sein. Dies konnte auch mittels der Ergebnisse der Beurteilung der Ankeimung bestätigt werden.

Die Blattkeimlängen der 5-Tage-Malze lagen bei den 20-28°C-Versuchen auf einem etwa gleichen Niveau, das jedoch aufgrund des verstärkten Wachstums deutlich über dem des 5-Tage-Malzes, das bei 16°C gekeimt wurde.

Tab. 22: Blattkeimlängen – hohe Keimtemperaturen

Keimtemperatur [%]	Blattkeimlängen [%]				Homogenität [%]			
	16	20	24	28	16	20	24	28
Keimtag 2	40	49	62	57	11	45	82	60
Keimtag 3	62	74	77	75	88	89	92	93
Keimtag 4	64	78	78	78	89	94	93	93
Keimtag 5	66	80	82	80	91	96	93	91

Da ein geringerer Extrakt im Malz (siehe Tab. 21) einem Wertverlust gleichzustellen ist und eine höhere Atmung und mehr Wachstum bei höheren Keimtemperaturen zu mehr Schwand führt, ist in der folgenden Abbildung der Mälzungsschwand bei den verschiedenen Keimtemperaturen gegenüber der Keimdauer aufgetragen.

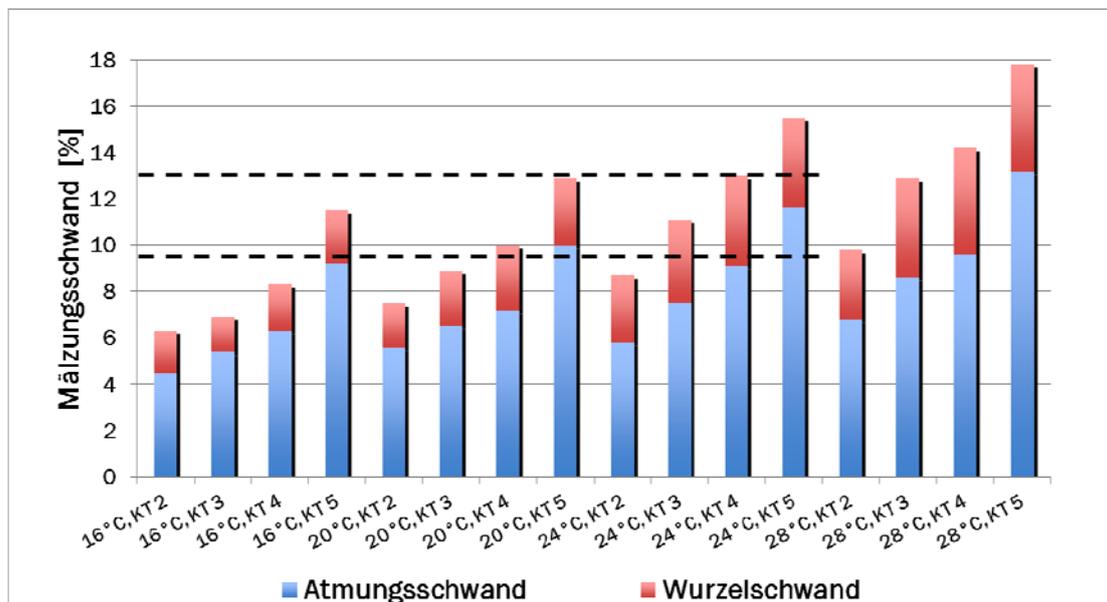


Abb. 42: Mälzungsschwand – hohe Keimtemperaturen

Bei der Betrachtung der Atmungs- und Wurzelschwände konnte das verstärkte Wachstum erneut aufgezeigt werden. Der Schwand stieg mit zunehmender Keimdauer und zunehmender Keimtemperatur an. Obwohl die Blattkeime bei den höheren Temperaturen ihr Wachstum einzustellen scheinen, wachsen die Wurzeln weiter.

Fazit

Neben einer Verbesserung der Homogenität der Malze bei Keimtemperaturen zwischen 20-24°C, konnte anhand der Malzanalysen aufgezeigt werden, dass eine Keimzeitersparnis von 1–2 Tagen möglich ist. Aus wirtschaftlicher Sicht stellt dies ein erhebliches Einsparpotential für Mälzereien dar, bei dem ein aufgezeigter geringer Extraktverlust durch das verstärkte Wachstum zu vernachlässigen sein sollte. Der Atmungs- und Wurzelschwand wäre nach den Ergebnissen in Abbildung 42 bei einer Einsparung von 1–2 Keimtagen auf einem etwa gleichen Niveau wie beim 6-Tage-Kontrollmalz. Um abschließend eine Aussage über die genaue mögliche Zeiteinsparung treffen zu können, sollten noch weitere Versuche mit mehreren Gerstensorten im Industriemaßstab durchgeführt werden.

6.6.3 Niedrige Schwelktemperaturen

In der Mälzerei-Industrie kommen aufgrund der Chargengrößen und des meist 24-stündigen Chargenbetriebes Schwelktemperaturen zwischen 50 und 65 °C zum Einsatz um eine schnelle Trocknung innerhalb eines Tages gewährleisten zu können. In dieser Versuchsreihe sollte der Einfluss von niedrigeren Schwelktemperaturen ab 30°C untersucht werden, um eine Möglichkeit zu finden die Heterogenität beim Darren, welche durch hohe Temperatur-

differenzen in den Grünmalzschichten (i.d.R. 90 - 120 cm) und die Trocknung mit erwärmter Luft, die die Schicht von unten durchströmt, zu minimieren. Dazu wurden Schwelkversuche bei 30–60°C in 7,5°C-Schritten durchgeführt. Zur Gewährleistung einer Vergleichbarkeit der Ergebnisse war es erforderlich für alle Schwelkversuche, die nicht gleichzeitig in der Schmidt-Seeger Kleinmälzung durchgeführt werden konnten, dasselbe Grünmalz zu verwenden. Aus diesem Grund wurden mittels der Mittelmälzungsanlage der VLB Berlin 25 kg Grünmalz aus der Gerste Marthe hergestellt (Weichen 6 h Nassweiche, 19 h Luftrast, 2,5 h Nassweiche bei 14°C, Keimen bei einem Weichgrad von 45 % und 14 °C) und nach 5 Keimtagen mittels Flüssigstickstoff schockgefroren und anschließend tiefgekühlt gelagert. Die Schmidt-Seeger Anlage der TU Berlin wurde dahingehend präpariert, dass nur noch einer von acht Darrkörben eingesetzt werden konnte. Außerdem wurde ein Darrkorb mit einer Höhe von 35 cm gebaut, bei dem die untere und obere Schicht getrennt entnommen werden konnte. Nach dem Schwelken bei den konstanten Temperaturen zwischen 30–60°C bis zu einem Wassergehalt von 13 %, wurden alle Proben für 4 Stunden bei 80°C abgedarrt.

In den folgenden Abbildungen sind die Temperaturverläufe in den unteren und oberen Schichten und die Verläufe der Energieverbräuche der verschiedenen Schwelkversuche dargestellt und die Gesamtdarrzeiten über die Schwelktemperaturen aufgetragen.

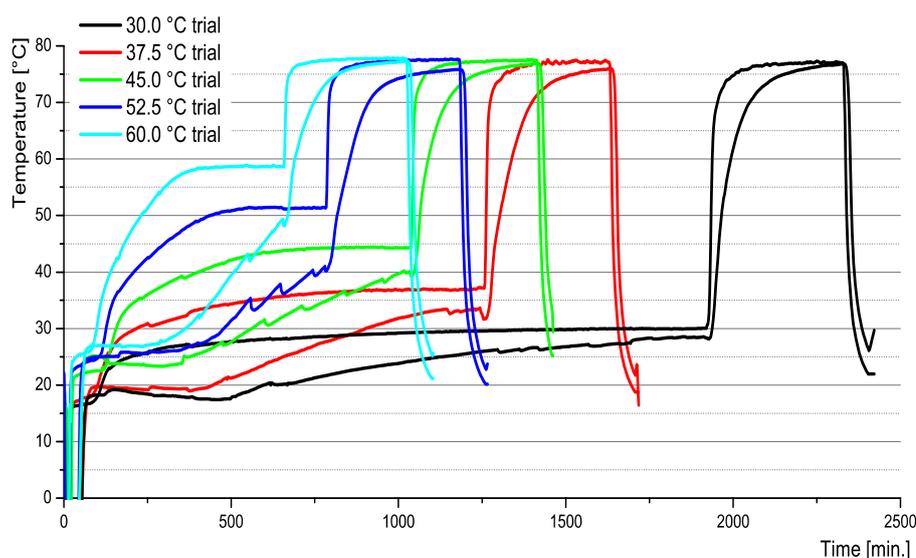


Abb. 43: Temperaturverläufe in der oberen und unteren Darrschicht – niedrige Schwelktemperaturen

Obwohl sich die Darrzeit bei der Verwendung niedrigerer Schwelktemperaturen deutlich und der Energieverbrauch geringfügig (Abb. 44) erhöht, konnte aufgezeigt werden, dass die Temperaturdifferenz zwischen der unteren und oberen Schicht bei einer Schwelktemperatur von 30°C auf unter 10°C im Vergleich zu etwa 25–30°C bei einer Schwelktemperatur von 60°C verringert war. Diese Unterschiede sollten sich im Industriemaßstab also bei Schichthöhen zwischen 100–130 cm ähnlich bestätigen lassen. Allerdings ist dort die Charge aufgrund der höheren Schichten einer höheren Temperaturdifferenz deutlich länger ausgesetzt, da es länger dauert bis die Schichten von unten nach oben durchgetrocknet sind und sich die Luft durch die Aufnahme von Feuchtigkeit weniger abgekühlt. Das Darren mit

niedrigen Schwelktemperaturen zumindest am Anfang der Schwelkphase könnte eine Möglichkeit sein die Heterogenität des Darrens zu minimieren.

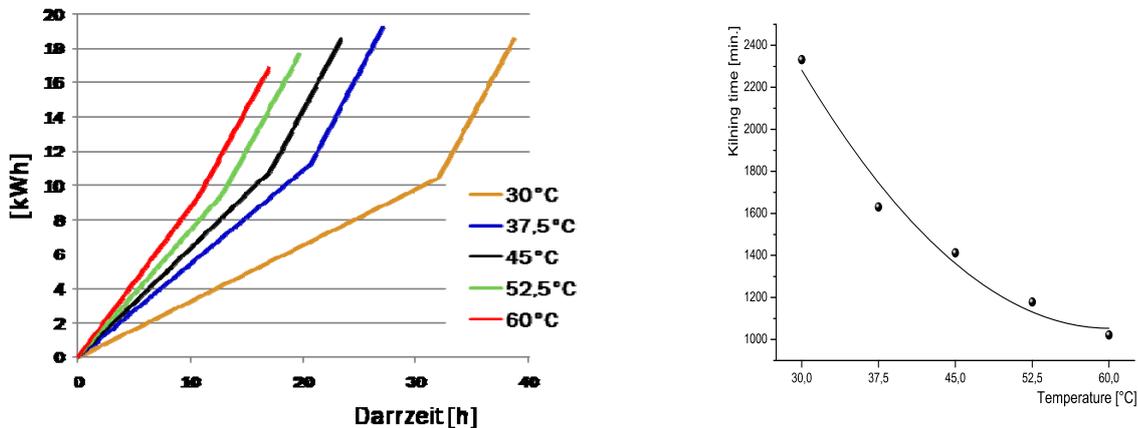


Abb. 44: Energieverbräuche und Gesamtdarrzeiten – niedrige Schwelktemperaturen

Die Ergebnisse ausgewählter Malzanalysen der unterschiedlich geschwelkten Malzproben sind in der Tabelle 23 zusammengefasst. Zur besseren Übersicht wurde auf die Darstellung aller Ergebnisse aus den beiden Schichten verzichtet und lediglich die Mittelwerte und die Abweichungen der Proben aus der oberen und unteren Schicht gegenübergestellt.

Tab. 23: Malzanalysen – Schwelken mit niedrigen Temperaturen

Probe: Schwelktemperatur/ Position		Mittelwert 30°C	Mittelwert 37,5°C	Mittelwert 45°C	Mittelwert 52,5°C	Mittelwert 60°C	Abwei- chung 30°C (oben - unten)	Abwei- chung 37,5°C (oben - unten)	Abwei- chung 45°C (oben - unten)	Abwei- chung 52,5°C (oben - unten)	Abwei- chung 60°C (oben - unten)
Wassergehalt	%	4,4	4,2	4,4	4,3	4,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
Extrakt FS (Trs.)	%	81,4	81,5	81,5	81,6	81,5	0,2	0,4	0,4	0	0,4
Kolbachzahl	%	43,2	43,8	44,8	44,9	46,0	0,7	1,5	1	1,1	1,9
FAN (Malz Trs.)	mg/100g	145	148	150	156	153,5	10	10	12	2	11
pH-Wert		6,05	6,06	5,99	5,99	5,95	-0,02	0	-0,02	-0,03	-0,03
Kochfarbe	EBC	9,8	10,0	11,5	13,1	14,0	1,6	1,3	-0,5	2,7	2,9
DMS-P	mg/kg Trs.	5,4	6	5,45	5	5,3	1,4	1,6	1,7	1,4	1,2
α -Amylase (lftr.)	U/g	192	187	178	188	188	4	0	-5	-31	-1
β -Amylase (lftr.)	U/g	766	929	844	753	844	-7	19	67	-106	-10
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,47	1,46	1,47	1,47	1,46	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02
Mürbigkeit	%	90,1	89,0	87,5	85,5	82,0	3,1	2	1,6	1,9	1,7
Modifikation (Calcofluor)	%	95	97	94	93	93	0	4	9	1	1
Homogenität (Calcofluor)	%	80	84	79	77	80	6	15	11	1	5
β -Glukan	mg/L	148	168	170	190	211	-54	-49	-49	-63	-73

Anhand der Ergebnisse konnte aufgezeigt werden, dass sich eine niedrigere Schwelktemperatur und die damit verbundene längere cytolytische Lösungsphase positiv auf die resultierende Malzqualität auswirkt. Bei konstanten Wasser-, Extrakt- und FAN-Gehalten zeigen die Parameter des cytolytischen Abbaus (Steigerung der Mürbigkeit um ca. 10%, Steigerung der Modifikation um ca. 2 - 4%, Verringerung des β -Glukangehaltes um ca. 60 mg/L) außer den Viskositäten eine deutlich weitergehende Lösung auf.

Die Eiweißlösung war bei höheren Schwelktemperaturen aufgrund einer höheren Proteinaseaktivität höher, was zu einer eiweißseitigen negativen Überlösung der Malze führte (Kolbachzahl > 44 %).

Das DMS-P (Dimethylsulfid-Precursor) wurde bei den Versuchen mit niedrigen Schwelktemperaturen in keinem geringeren Maße abgebaut, weil die Malze für alle Schwelkversuche gleich abgedarrt wurden und das DMS-P anscheinend hauptsächlich bei den hohen Abdarrtemperaturen gespalten und als DMS ausgedampft wird. Eine andere Erklärung hierfür könnte ein Ausgleich des Einflusses niedrigerer Temperaturen mit dem der Darrdauer sein. Dennoch scheint die erste Erklärung einleuchtender, weil bei Betrachtung der Abweichung des DMS-P-Gehaltes der unteren und oberen Schichten deutlich wird, dass das DMS-P aufgrund des höheren Wärmeeintrages generell in den unteren Schichten verstärkt gespalten wurde.

Lediglich der pH-Wert war bei den Malzen, die bei niedrigeren Temperaturen geschwelkt wurden, negativ beeinflusst bzw. etwas höher, weil während des Schwelkens weniger Maillard-Reaktionen stattgefunden haben und damit weniger saure Melanoidine gebildet wurden. Die Ergebnisse der Kochfarben, die mit höherer Schwelktemperatur ansteigen, bestätigen diese Erklärung.

Die temperaturunempfindliche α -Amylase wurde nicht von den unterschiedlichen Schwelktemperaturen beeinflusst. Auch bei der Aktivität der β -Amylase sowie in der Homogenität nach Carlsberg war kein eindeutiger Trend erkennbar.

Aufgrund der Tatsache, dass im Vergleich zum Industriemaßstab nur mit einer Schichthöhe von 35 cm zu Beginn des Darrens gearbeitet werden konnte, unterscheiden sich die Proben der unteren und oberen Schicht nicht sehr deutlich. Erwähnenswert sind der Wassergehalt, der in den oberen Schichten erwartungsgemäß etwas niedriger (0,3 %) war und die Parameter der Cytolyse (Mürbigkeit, Modifikation, β -Glukangehalt) und Proteolyse (Kolbachzahl, FAN), die eine weitergehende Lösung in den oberen Schichten aller Schwelkversuche aufzeigten. Dies kann mit einer längeren Verweilzeit der Proben bei niedrigeren Temperaturen und bei höheren Feuchten während des Schwelkens (siehe Abb. 44) und damit mit einem verstärkten enzymatischen Abbau der Zellwände und des Eiweißes erklärt werden. Ein resultierender höherer FAN-Gehalt, also ein höherer Gehalt an Precursor für die spätere Maillard-Reaktionen, die verstärkt beim Abdarren ablaufen, führte dann zu einer ebenfalls höheren Kochfarbe in den Proben der oberen Schicht. Durch einen weitergehenden Zellwandabbau konnte auch der Extrakt weitergehend zugänglich gemacht werden, was zu leicht höheren Extrakten in den Proben der oberen Schichten geführt hat.

Bezüglich der Homogenität (Calcofluor-Methode nach Carlsberg) konnten keine eindeutigen Trends aufgezeigt werden, d.h. es sind keine Verbesserung der Homogenität durch niedrigere

Schwelktemperaturen nachweisbar. Allerdings konnte anhand der Differenz im β -Glukangehalt und in der Kochfarbe zwischen den oberen und unteren Darrschichten ein Trend hin zu einer geringeren Homogenität bei höheren Schwelktemperaturen ausgemacht werden.

Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass niedrigere Schwelktemperaturen zu einer länger anhaltenden verstärkten Wachstumsphase während des Schwelkens führen, wodurch mit mehr Schwand, aber auch mit einer höheren cytolytischen Lösung und einer Reduzierung des Eiweißabbaus zu rechnen ist. Zur Kompensation der längeren Darrdauer könnte eine Verkürzung der Keimung genutzt werden, wobei dann wiederum die fehlende Lösung des Malzes bei der Keimung automatisch durch die Lösung in der längeren Schwelkphase kompensiert werden könnte.

6.6.4 Vergleich einer Mälzung „Optimälzung“ mit herkömmlichen Mälzungen (MEBAK und Industrie)

Bei der projektbegleitenden Ausschusssitzung (Juli 2012, Berlin) wurde beschlossen, dass die ermittelten Parameter zusammen in einer verkürzten Kleinmälzung angewendet und mit einer Kleinmälzung mit Parametern nach MEBAK und einer Kleinmälzung mit in der Industrie angewendeten Parametern verglichen werden soll. Dabei wurde beim Schwelken keine konstante Temperatur gewählt, sondern zur Verkürzung der Darrzeit mit niedrigen Schwelktemperaturen zwischen 36-40°C gestartet und dann die Temperatur langsam bis 60°C erhöht. Die Ergebnisse der Ankeimung, der Malzanalysen insbesondere der Homogenität und von Läutertests sollten im Anschluss gegenübergestellt werden.

Beim Versuch Optimälzung wurde zusätzlich noch der Einfluss einer Vortrocknung im Keimkasten untersucht werden. Dazu wurden Proben nach der Entnahme der Optimälzung – Proben zum Darren für weitere 10 Stunden ohne Befeuchtung der Keimkastenbelüftung gekeimt und erst dann zu den anderen Proben in die Darre gestellt.

In der Tabelle 24 sind die angewendeten Mälzungsparameter zusammengefasst und in der Abbildung 45 die Darrprogramme mit den zugehörigen Verläufen der Ablufttemperatur dargestellt.

Tab. 24: Mälzungsparameter - Vergleich dreier Mälzungen

Versuch	Weichen	Keimen	Weichgrad	Darren
MEBAK Gesamtzeit 167h	1. Nassweiche: 5h 14°C Luftrast : 19h 14°C 2. Nassweiche : 4h 14°C	konstant bei 14°C	Weichgrad 45,5% durch Aufspritzen am 1. und 2. Keimtag	16h 50°C, 1h 60°C, 1h 70°C, 5h 80°C gesamt 23,5h
Industrie- programm Gesamtzeit 162h	1. Nassweiche: 4h 14°C Luftrast : 14h 16°C 2. Nassweiche: 2h 14°C	1.KT 18°C, 2.KT 16°C, 3-5.KT 15°C		1h 60°C, 11h 65°C, 1h 70°C, 1h 75°C, 1h 80°C, 2h 82°C, 15 min 84°C gesamt 18,5h
Optimälzung I vorsichtiges Schwelken Gesamtzeit 122h	1. Nassweiche: 3h 23,5°C Luftrast: 18h 22°C 2. Nassweiche: 1,75h 21°C	1.KT 21°C, 2.KT 22,5°C, 3. KT 20,5°C		7h 35°C, 4,5h 40°C, 3h 45°C, 2h 50°C, 2h 55°C, 1,5h 60°C, 4h 80°C, 1h 82°C gesamt 26h
Optimälzung II 10 h Vortrocknen im Keimkasten Gesamtzeit 122h	1. Nassweiche : 3h 23,5°C Luftrast : 18h 22°C 2. Nassweiche: 1,75h 21°C	1.KT 21°C, 2.KT 22,5°C, 3. KT 20,5°C dann 10h 23°C ohne Befeuchtung (Vortrocknung) auf 36%)		1,5h 40°C, 3h 45°C, 2h 50°C, 2h 55°C, 1,5h 60°C, 4h 80°C, 1h 82°C gesamt 16h (+10h Vortrocknen)

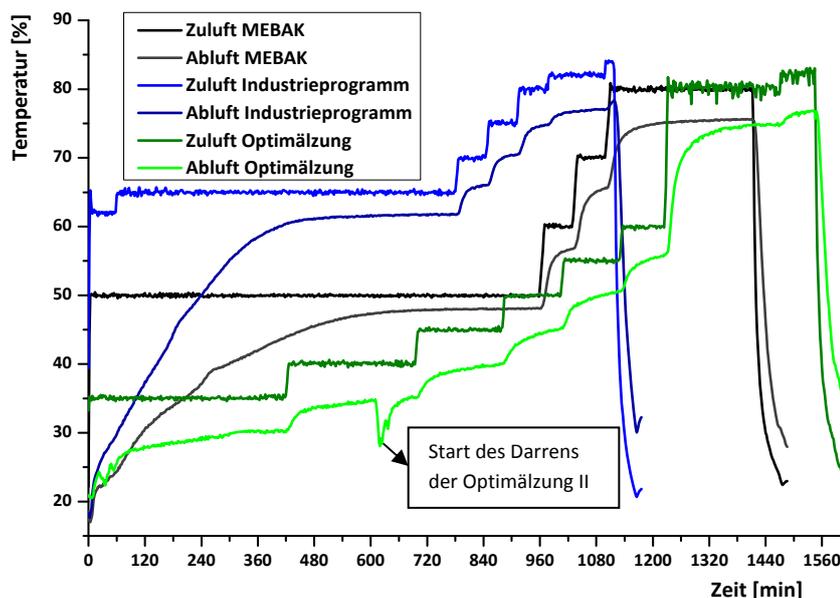


Abb. 45: Temperaturprogramm und Verläufe der Ablufttemperatur - Vergleich dreier Mälzungen

Anhand der erzielten Ergebnisse (Abbildung 46), konnten die Resultate aus Abschnitt 6.1 – 6.3 bestätigt werden. Höhere Weichtemperaturen führten auch hier zu einer schnelleren, homogeneren Ankeimung nach dem Weichen, was sich während der Keimung fortsetzt. Somit konnte für beide Gersten die schnellste Ankeimung für die „Optimälzung“ aufgezeigt werden. Im Vergleich zur Kleinmälzung mit modernen Parametern und im Gegensatz zu den in der Literatur empfohlenen niedrigen Keimtemperaturen war bei der MEBAK-Mälzung die mit Abstand langsamste Ankeimung nachzuweisen. Selbst am 2. Keimtag lag die Keim-

energie der Gersten, die nach den MEBAK-Parametern geweicht und gekeimt wurden, noch deutlich niedriger als die Gersten der anderen beiden Mälzungen.

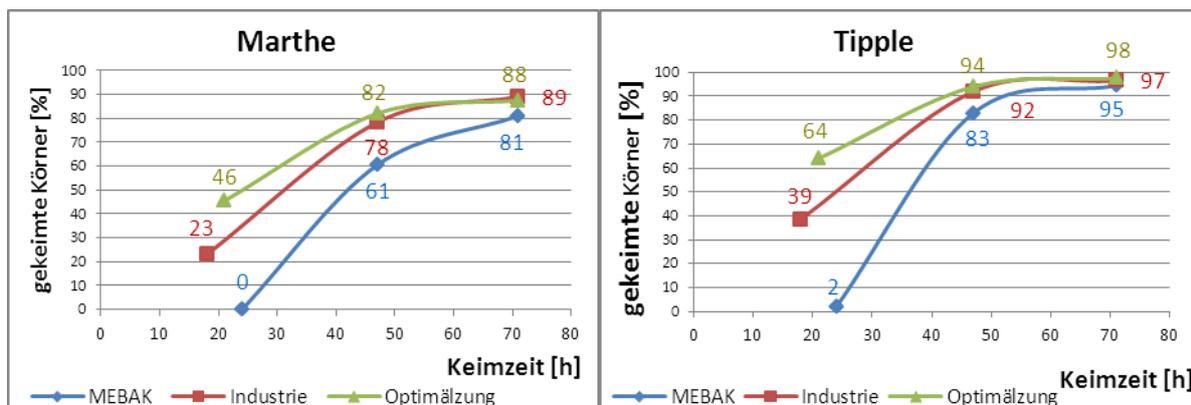


Abb. 46: Ankeimung - Vergleich dreier Mälzungen

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse ausgewählter Malzanalysen zusammengefasst.

Tab. 25: Malzanalysen – Vergleich dreier Mälzungen

Gerste		Marthe				Tipple			
Mälzung		MEBAK	Industrie	Optimälzung I langes Schwelken	Optimälzung II Vortrocknung	MEBAK	Industrie	Optimälzung I langes Schwelken	Optimälzung II Vortrocknung
Wassergehalt	%	4,6	4,5	4,7	4,8	4,7	4,6	4,6	4,9
Extrakt FS	% (Trs.)	81,4	81,6	81,1	81,1	83,6	83,7	82,9	83,3
Ablaufzeit	min	27	36	35	35	40	63	52	45
Trübung 90°	EBC	8,2	2,8	7,2	5,5	5,1	4,1	10,2	4,0
Kochfarbe	EBC	5,4	7,2	5,3	5,6	6,5	6,6	4,6	5,3
pH-Wert	1	5,93	5,91	5,91	5,91	5,96	5,96	5,90	5,97
Kolbachzahl	%	42,0	43,0	41,4	40,1	45,0	44,7	37,5	40,0
FAN Malz (Trs.)	mg/100g	126	140	119	121	128	129	98	109
Viskosität (8,6%)	mPa*s	1,56	1,51	1,54	1,50	1,55	1,50	1,48	1,51
Mürbigkeit	%	80,6	85,9	86,1	87,0	80,3	87,5	87,5	88,7
Modifikation	%	88,1	95,7	97,4	96,6	90,6	92,9	96,6	95,8
Homogenität	%	70,7	81,9	84,7	87,5	76,2	78,6	85,7	84,2
β-Glukan Malz (Trs.)	mg/100g	397	295	58	203	476	279	313	219
Blattkeimlänge	%	59,0	68,4	70,0	70,7	60,2	63,6	61,5	60,8
Homogenität der BKL	%	78,2	90,5	90,3	87,2	88,1	93,9	80,6	82,4
Schwand	%	6,3	7,2	8,3	8,3	6,6	7,0	7,7	7,0

Alle Darrverfahren führten zu einem akzeptablen Endwassergehalt. Wie schon in den Vorversuchen führten die niedrigeren Keimtemperaturen zu einem höheren Extraktgehalt in den Malzen und einem geringerem Mälzungsschwand. Ein dahingehender „Verlust“ bei der Optimälzung sollte jedoch beim Vergleich der Gesamtprozessdauer, die bei der Optimälzung 40-45 Stunden kürzer war, aus wirtschaftlicher Sicht zu vernachlässigen sein. Die cytolytische Lösung (Viskosität, Mürbigkeit, Modifikation und der β -Glukangehalt) war auch in diesem Versuch in den Malzen der Optimälzung aufgrund der höheren Weich- und Keimtemperaturen und niedrigeren Schwelktemperaturen höher, wobei bei der Marthe Gerste ein extrem niedriger β -Glukangehalt bei der Optimälzung I nachgewiesen werden konnte. Auch die Eiweißlösung wurde durch die Parameter der Optimälzung positiv beeinflusst, in dem sie auf die Kolbachzahlen auf den von der MEBAK empfohlenen Bereich zwischen 38 und 42 % gesenkt wurden. Ebenfalls positiv wirkt sich die Optimälzung auf die Homogenität nach Carlsberg aus, die im Vergleich zur MEBAK-Mälzung 8 – 17 % und im Vergleich zur „Industrie“-Mälzung 3 – 7 % gesteigert werden konnte. Allerdings konnte bei der Homogenität der Blattkeimentwicklung keine deutliche Verbesserung aufgezeigt werden. Im Vergleich zur MEBAK-Mälzung konnte die zwar die Homogenität des Optimalzes der Gerste Marthe gesteigert werden, aber die Homogenität der Tipple Gersten, die mit der Optimälzung verarbeitet wurden lagen deutlich niedriger. Zusammenfassend wird anhand der Malzanalysen deutlich, dass mit der Optimälzung beider Varianten eine akzeptable Malzqualität und nach den meistens Analysenparametern im Vergleich zu den beiden anderen Mälzungsverfahren mit niedrigeren Temperaturen und längerer Mälzungsdauer eine höhere cytolytische und niedrigere proteolytische Lösung erzielt werden konnte. Die Malzqualitäten der beiden Varianten der Optimälzung haben sich außer im β -Glukangehalt kaum in der Qualität unterschieden, so dass nach diesen Ergebnissen eine Vortrocknung im Keimkasten am Ende der Keimung bedenkenlos für weitere Energieeinsparungen eingesetzt werden kann.

Zur Untersuchung des Einflusses der drei Mälzungsprozesse auf ein späteres Läuterverhalten der Maische, wurden Läutertests (siehe Abschnitt 4.6) durchgeführt, deren Verläufe in Abbildung 47 dargestellt sind.

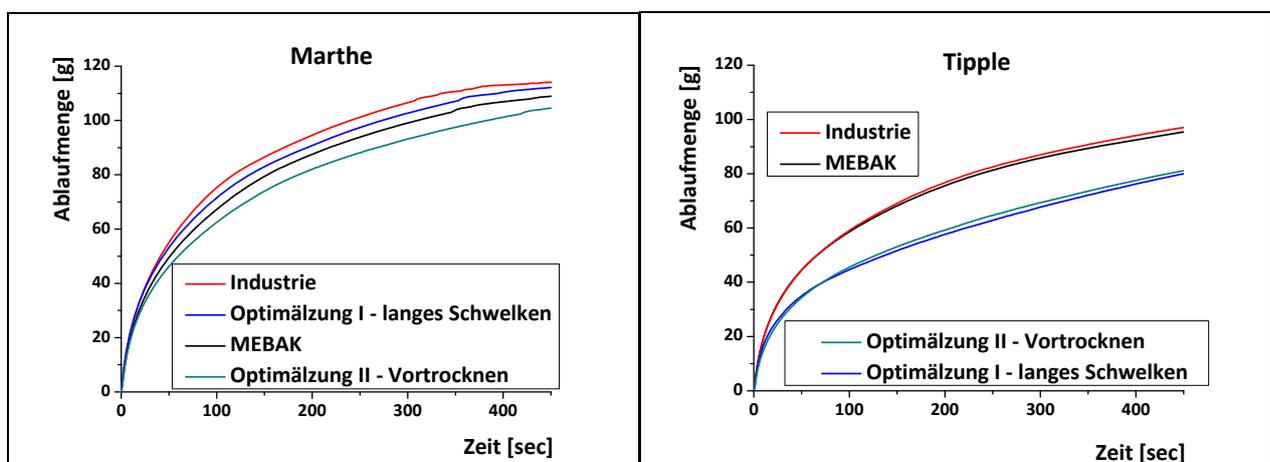


Abb. 47: Vergleich der Läutertestverläufe - Vergleich dreier Mälzungen

Bei beiden Gersten zeigten die „Industrie“-Malze das schnellste Läuterverhalten, wobei das MEBAK-Verfahren bei dem Malz aus der Gerste Tipple fast auf dem gleichen Niveau

verläuft. Bei der Marthe Gerste führte die Optimälzung I (Schwelken mit niedrigen Anfangsschwelktemperaturen) zu einem schnelleren Verlauf des Läutertestes als die MEBAK-Mälzung, so dass auch anhand der Läutertests ein positiver Einfluss der hohen Weich- und Keimtemperaturen aufgezeigt werden konnte. Allerdings liefen trotz einer schnelleren Ankeimung, einer höheren Keimenergie und einer höheren cytolytischen Lösung die Malze der Gerste Tipple, die mit der Optimälzung produziert wurden, deutlich langsamer als die Malze der Industrie- und MEBAK-Mälzung ab.

Ein generell langsames Ablaufverhalten der Tipple Malze konnte bereits beim Parameter Ablaufzeit der Malzanalysen aufgezeigt werden. Möglicherweise kann das mit der höheren Temperaturempfindlichkeit der Tipple gegenüber der Marthe Gerste erklärt werden und gibt einen Hinweis darauf, dass nicht alle Gersten für eine Mälzung mit hohen Weich und Keimtemperaturen gleich gut geeignet sind. Dazu sollten weitere Mälzungsversuche durchgeführt werden, um die Eignung von aktuellen Braugersten für ein verkürztes Mälzungsprogramm mit hohen Weich- und Keimtemperaturen zu untersuchen.

Fazit

Die zusammen in einer Mälzung angewendeten in den Vorversuchen ermittelten optimalen Weich- Keim- und Schwelktemperaturen führten zu einer schnelleren und homogeneren Ankeimung und einer verstärkten cytolytischen und gebremsten proteolytischen Lösung der beiden untersuchten Malze im Vergleich zu den Malzen, die mittels MEBAK-Kleinmälzung und einer Kleinmälzung mit modernen Parametern hergestellt wurden. Trotz einem geringen Extraktverlust durch ein verstärktes Wachstum mit resultierenden leicht erhöhten Mälzungsschwänden konnte mittels der Optimälzung eine höhere Malzqualität bei deutlich verkürzter Mälzungsdauer erzielt werden. Die höheren Verluste sollten aus wirtschaftlicher Sicht durch die Zeitersparnis und daraus resultierenden Energieeinsparungen zu vernachlässigen sein. Eine Vortrocknung im Keimkasten am Ende der Keimung (Optimälzung II) kann anhand der Ergebnisse dieser Versuchsreihe bedenkenlos für weitere Energieeinsparungen eingesetzt werden. Im Hinblick auf die durchgeführten Läutertest kann die Optimälzung nur für eine der zwei untersuchten Gersten empfohlen werden. Dazu sollten weitere Mälzungsversuche durchgeführt werden, um die Eignung von aktuellen Braugersten für ein verkürztes Mälzungsprogramm mit hohen Weich- und Keimtemperaturen zu untersuchen.

7 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Antrags

Ursprüngliche Zielsetzungen des Antrags (kursiv)

In diesem Projekt sollen die technologischen Ursachen untersucht werden, die für die Inhomogenitäten verantwortlich sind, die während des Mälzens auftreten und für massive Schwierigkeiten beim Läuter- und Filtrierprozess verantwortlich sind.

Mittels Labor- und Praxisstudien konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass die Ursachen für einen erheblichen Teil der Inhomogenitäten des Malzes in den Prozessbedingungen begründet liegen. So zeigte sich, dass sich das Belüften in der Weiche in Verbindung mit den hohen, heutzutage üblichen Schichtdicken in der Weiche (3-4 m) negativ auf die Homogenität des Malzes auswirkt.

Bedauerlicherweise lassen sich mit der klassischen Malzanalytik keine, bzw. nur sehr eingeschränkt entsprechende Rückschlüsse ziehen. Zwar lassen sich mit der sogenannten, sehr aufwändigen Carlsberg-Methode die eigentlichen Probleme aufzeigen, aber nicht ursächlich klären.

Mit der Entwicklung und Etablierung der Einzelkornanalytik von relevanten biochemischen Parametern, wie z.B. der α - und β -Amylase- sowie β -Glucanase-Aktivitäten und γ -Aminobuttersäure-Konzentrationen, ist es gelungen den wichtigen Qualitätsparameter Homogenität erfassbar zu machen. Grundsätzlich sollten sich für diese neuartige Analytik auch in Zukunft interessante Anwendungsmöglichkeiten ergeben, da bislang zur Homogenität von Malz aufgrund der bis dato fehlenden Analytik so gut wie keine Daten verfügbar sind. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass in in naher Zukunft auch die Herausforderung der Bestimmung von β -Glucangehalten in Einzelkörnern als direkte Ursache von Filtrations-schwierigkeiten angegangen werden sollte.

Die angesprochenen Inhomogenitäten resultieren aus einer unterschiedlichen Zellwandlösung, d.h. dem unterschiedlichen enzymatischen Abbau von den Zellwandbestandteilen, die ursächlich für die auftretenden Filtrationsschwierigkeiten sind. Da die Änderungen der Enzym-Aktivitäten direkt vom physiologischen Status der Gerste abhängen, ist es notwendig, diesen mittels verlässlicher Marker zu erfassen und zu quantifizieren.

Es stellte sich heraus, dass es selbst für einzelne Gerstensamen möglich ist keimungsspezifische Stoffwechselreaktionen verlässlich mittels biochemischer Marker nachzuweisen (α - und β -Amylase- sowie β -Glucanase-Aktivität). Generell etwas komplexer hingegen erscheint der Nachweis von Stressreaktionen. Das Auftreten von Trockenstress während des Darrprozesses ließ sich problemlos anhand der Expression von Dehydrin-Genen nachweisen. Im Gegensatz dazu können erhöhte Gehalte des Stressmetaboliten GABA oftmals nicht eindeutig einem distinkten Stress zugeordnet werden, da dieser Metabolit im Verlauf sehr unterschiedlicher Stressreaktionen akkumuliert werden kann (z.B. Anoxie, hohe CO_2 -Konzentrationen, aber auch mechanischer Verletzungen und mikrobieller Schaderreger-Befall).

So kann erfasst werden, inwieweit der physiologische Status durch Veränderungen der Mälzbedingungen moduliert werden kann und wie hierdurch der Zellwand- und Reservestoffabbau beeinflusst wird. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die umfassende Kenntnis der Stoffwechselprozesse in den keimenden Gerste-Samen. Dabei stehen die Quantifizierung von Keimungs- und Stressreaktionen im Vordergrund. Ziel ist es - basierend auf den neuen physiologischen Kenntnissen - unter Nutzung vorhandener empirischer Erkenntnisse und unter Einbeziehung verfahrenstechnisch sinnvoller Prozessbedingungen die Informationen zu erarbeiten, mit deren Hilfe die Mälzung optimiert werden kann, um das bislang vernachlässigte Problem der Inhomogenitäten des Malzes systematisch beseitigen zu können.

Entsprechende Lösungsstrategien wurden im Zuge dieses Vorhabens erarbeitet: Zum einen sollte zur Verbesserung der Homogenität des Malzes die Schichtdicke beim Weichen drastisch verringert werden oder aber man müsste auf das Belüften in der Weiche verzichten. Da diese beiden Modifikationen des Mälzprozesses jedoch nur schwer durchführbar sind bzw. die Prozessdauer verlängert werden müsste, sollte mit dem „priming“ ein alternatives Verfahren zur Synchronisierung der Keimung von Braugerste als Lösungsweg in Betracht gezogen werden.

Die brauereitechnologischen Untersuchungen ergaben, dass zur Verbesserung der Homogenität des Malzes eine höhere als in der Literatur und in Lehrbüchern empfohlene Weichtemperatur eingesetzt werden kann. Bei Keimtemperaturen zwischen 20-24 °C, konnte anhand der Malzanalysen aufgezeigt werden, dass eine Keimzeitersparnis von 1-2 Tagen gegenüber den konventionellen Keimtemperaturen von 15 °C (normal 13 und 18 °C) möglich ist. Trotz eines geringfügig erhöhten Extraktverlusts durch erhöhtes Wachstum, bieten die in diesem Projekt hinsichtlich der Homogenität optimierten Mälzverfahren ein erhebliches Einsparpotential für Mälzereien.

Basierend auf diesen Schlussfolgerungen erscheint es vielversprechend, in weiteren Forschungsarbeiten das große bislang weitgehend noch ungenutzte Potential alternativer Ansätze beim Mälzen zu erforschen und in die Praxis umzusetzen. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf dem Priming liegen.

8 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen

Die Brau- und Malzindustrie in Deutschland ist zum großen Teil klein- und mittelständisch strukturiert, allein unter den Brauereien gibt es über 1000 kmUs. Die Verbesserung des in der Vergangenheit wenig veränderten Mälzungsverfahrens durch die aus dem Forschungsvorhaben resultierenden Erkenntnisse bringt besonders den kleineren Mälzereien Einsparungen bei der Herstellung von Qualitätsmalz durch die Verbesserung der Verarbeitbarkeit. Außerdem sollte eine grundsätzliche Aufwertung der Produktqualität von Malz möglich werden, so dass langfristig bessere Marktpreise und somit höhere Erträge für kleine Mälzereien möglich werden. Diese werden zusätzlich auch durch reduzierte Reklamationen und der damit verbundenen Verringerung der wirtschaftlichen Verluste für die

Malzindustrie erzielt. Die Brauindustrie wird durch die Verbesserung der Verarbeitbarkeit der Malze und beschleunigte Filtrationen im Sudhaus und der Bierfiltration sowie vor allem durch eine signifikante Einsparung an Filtermaterialien profitieren. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ergeben sich daher für beide Branchen Vorteile, die hier aufgezeigten Modifikationen der Malzherstellung in die Praxis umzusetzen.

9 Veröffentlichungen

Fachzeitschriften:

Kleinwächter M., Meyer A.-K., Selmar D. Malting revisited: Germination of barley (*Hordeum vulgare* L.) is inhibited by both oxygen deficiency and high carbon dioxide concentration. *Food Chemistry* **132**(1): 476-481

Kleinwächter M., Müller C., Methner F.-J., 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. Eingereicht bei *Food Chemistry*

Tagungsbeiträge:

Kleinwächter, M., Müller, C., Methner, F.-J., Selmar, D. (01.04.-05.04.2012, Gent, Belgium) Vortrag auf dem „10th Trends in Brewing-Kongress“ Titel: “Single grain analyses of differentially steeped green malts: Aeration impairs the homogeneity of relevant malt parameters”

Müller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (23.-25.10. 2012, Nottingham, UK) Vortrag auf dem „3rd International Symposium for Young Scientists & Technologists in Malting, Brewing and Distilling-Kongress“ Titel: “Use of γ -Aminobutyric acid (GABA) as a reliable indicator for the detection of heterogeneities during malting ?”

Wietstock, P., Mueller, C., Kleinwächter, M., Selmar, D., Methner, F.-J. (28.7.-1.8. 2012, Portland, USA) Poster auf dem “World Brewing Congress“ der MBAA, Titel: “ γ -Aminobutyric acid (GABA)—A practical indicator for the detection of heterogeneities during malting ?”

Müller, C., Kleinwächter, M., Götz, F., Selmar, D., Methner, F.-J. Poster auf dem „10th Trends in Brewing“-Kongress (01.04.-05.04.2012, Gent, Belgium) Titel: " α -aminobutyric acid (GABA) - A practical indicator for the detection of heterogeneities during malting?"

10 Literaturverzeichnis

- 1 C. Clasen, W.-M. Kulicke 2003: Zum Gelbildungsprozeß von (1→3)(1→4)-β-DGlucanen. Monatszeitschrift für Brauwirtschaft **9/10**: 161
- 2 L. Narziß, E. Reicheneder, R. Brauchle 1987: Untersuchungen zur Cytolyse des Malzes. *Brauwelt* **33/34**: 1453
- 3 L. Narziß 1993: Die Entwicklung der Mälzereitechnologie während der letzten 100 Jahre (1893 – 1993). *Deutscher Braumeister und Malzmeister Bund* 2: 80
- 4 S. Kreis 2003: Der Einfluss von Polysacchariden aus Malz, Hefe und Bakterien auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier. Dissertation TU München
- 5 K. Schuster, F. Weinfurtner, L. Narziss 1999: in, Die Bierbrauerei, Band I: Die Technologie der Malzbereitung, Ferdinand Enke Verlag, Germany (1999)
- 6 L. Weith, H. Klaushofer 1963: Studien zur Technologie der Mälzerei, VI. Die Kohlensäurerast; *Mitteilungen der Vers. Stat. Gär. Gew. Wien*; **17**: 36
- 7 L. Narziss, G. Friedrich 1970: Einfluss des Mälzungsverfahrens auf die Steigerung der Enzymaktivität, II.: Keimversuche mit Gersten verschiedenen Weichgrades; *Brauwelt* **23**, 167
- 8 L. Weith, 1961: Studien zur Technologie der Mälzerei IV. Belüftung und Enzymaktivität; *Mitt. Vers. Stat. Gär. Gew. Wien*, **XX**: 41
- 9 M. Ketterer 1994: Untersuchungen zum Fettstoffwechsel bei der Keimung und der hieraus resultierenden Metaboliten; *Dissertation TU München*
- 10 L. De Peter, J. De Clerck 1966: Vergleich zwischen dem Stoffwechsel und Thermogenese beim Weichen; *Monatsschrift für Brauerei* **16**: 106
- 11 D. Eyben, I. Van Droogenbroeck, I 1969/70: De control op de ademhamling van de gerst en zijn betekenis in de mouterij. *Int. T. Brouw. Mout* **29**: 129
- 12 I.C. Cantrell, R.G. Andersson, P.A. Martin, P.A 1981: Grain-environment interaction in production steeping; *EBC Proc.* 39
- 13 V.J. Aalbers, B.W. Drost, und L. Pesman 1983: Aerated Steeping Systems. *MBAA Technical Quarterly* **20** (2): 74
- 14 G. Gibbons, G 1983: The Effects of oxygen, nitrogen, and carbon dioxide steeping regimes on endosperm modification and embryo growth of germinating barley seeds. *Carlberg Research Communications* **48** (1): 35
- 15 J. Relander, H., persönliche Mitteilung
- 16 D. Selmar, 2008: Wissenschaftlicher Zwischenbericht AIF-FV 14950 N/1: „Optimierung der Trocknung von Arabica-Kaffee in Hinblick auf die Aromaqualität des Kaffeegetränks
- 17 L. Nariß 1999: in Die Technologie der Malzbereitung Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- 18 D. Selmar, G. Bytof 2007: “Green Coffee is ALIVE ! A Review on the Metabolic Processes taking Place in Coffee Beans during Processing and their Implication for Modern Coffee Research – *Proceedings of the ASIC*, 21
- 19 J.D. Bewley, M. Black 1994: in Seeds. ”Physiology of Development and Germination.” 2nd edition. Plenum Press, New York und London
- 20 E.A. Bray 1997: Plant responses to water deficit. *Trends Plant Science* **2**: 48

- 21 J. Ingram, D. Bartels 1996: The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **47**: 377
- 22 M. Riera, C. Valon, F. Fenzi, J. Giraudat, J. Leung 2005 The genetics of adaptive responses to drought stress: abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent signalling components *Physiologia Plantarum* **123**: 111
- 23 P.M. Hasegawa, R.A. Bressan, J.K. Zhu, H.J. Bohnert 2000: Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **51**: 463
- 24 H.J. Bohnert, D.E. Nelson, R.G. Jensen 1995: *Adaptations to environmental stresses. Plant Cell* **7**: 1099 -
- 25 B.J. Shelp, A. W. Bown, M.D. McLean 1999: Metabolism and function of gamma-aminobutyric acid. *Trends in Plant Science* **4**: 446
- 26 R. Serraj, B.-J. Shelp, T.R. Sinclair 1998: Accumulation of gamma-aminobutyric acid in nodulated soybean in response to drought stress. *Physiologia-Plantarum* **102**(1): 79
- 27 A.M. Kinnersley, F.J. Turano 2000: *Critical Reviews in Plant Science* **19**: 479
- 28 V.K. Rai 2002: Role of amino acids in plant responses to stress. *Biologia Plantarum* **45** (4): 481
- 29 Ch.R. Allagulova, F.R. Gimalov, F.M. Shakirova, V.A. Vakhitov 2003: The plant dehydrins: Structure and putative functions. *Biochemistry (Moscow)* **68**: 1157
- 30 Y. Suzuki, T. Minnamikawa 1985: On the role of stored mRNA in protein synthesis in embryonic axes of germinating *Vigna unguiculata* seeds. *Plant Physiology* **79**: 327
- 31 B.G. Lane 1991: Cellular desiccation and hydration: Developmentally regulated proteins, and the maturation and germination of seed embryos. *The Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* **8**: 2893
- 32 J.D. Bewley 1997: Seed Germination and Dormancy. *Plant Cell* **9**: 1055
- 33 S.J. Reynolds, S.M. Smith 1995: The isocitrate lyase gene of cucumber: Isolation, characterisation and expression in cotyledons following seed germination. *Plant Molecular Biology* **27** (3): 487
- 34 F. Gubler, R. Kalla, J.K. Roberts, J.V. Jacobsen 1995: Gibberellin-regulated expression of a myb gene in barley aleurone cells: Evidence of myb transactivation of a high-pl alpha-amylase gene promoter. *Plant Cell* **7**(11): 1879
- 35 G. Muralikrishna, M. Nirmala 2005 Cereal alpha-amylases - an overview. *Carbohydrate-Polymers* **60**(2): 163
- 36 T. Kuriki, T. Imanaka 1999: The Concept of the a-Amylase Family: Structural Similarity and Common Catalytic Mechanism. *Journal of Bioscience and Bioengineering* **87** (5): 557
- 37 N. E. J. Appleford, J. R. Lenton 1997: Hormonal regulation of alpha-amylase gene expression in germinating wheat (*Triticum aestivum*) grains. *Physiologia Plantarum* **100** (3): 534
- 38 G.S. Chandra, M.O. Prouloven, E.D. Baxter 1999: The structure of barley endosperm: An important determinant of malt modification. *Journal of the science of food and agriculture* **79** (1): 37
- 39 H.L. Martin, C.W. Bamforth 1980: The relationship between beta-glucan solubilase, barley autolysis and malting potential. *Journal of the Institute of Brewing* **86**: 216
- 40 A.W. Bown, B.J. Shelp 1997: The metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Plant Physiology* **115**: 1

- 41 N.Bouché, A. Fait, M. nZik, H. Fromm 2004: The root-specific glutamate decarboxylase (GAD1) is essential for sustaining GABA levels in Arabidopsis. *Plant Molecular Biology* **55**: 315
- 42 W.A. Snedden, T. Arazi, H. Fromm, B.J. Shelp 1995: Calcium/Calmodulin Activation of Soybean Glutamate Decarboxylase. *Plant Physiology* **108**: 543
- 43 D.P. Yevtushenko, M.D. McLean, S. Peiris, O.R. VanCauwenberghe, B.J. Shelp 2003: Calcium/calmodulin activation of two divergent glutamate decarboxylases from tobacco. *Journal of Experimental Botany* **54**: 2001
- 44 V. Raggi 1994: Changes in the free amino acid and osmotic adjustment in leaves of water-stressed bean. *Physiologia Plantarum* **91**: 427
- 45 I. Bartyzel, K. Pelczar, A. Paszkowski 2003: Functioning of the γ -aminobutyrate pathway in wheat seedlings affected by osmotic stress. *Biologia Plantarum* **47**: 221
- 46 H. Koppitz, M. Dewender, W. Ostendorp, K. Schmieder 2004: Amino acids as indicators of physiological stress in common reed *Phragmitis australis* affected by an extreme flood. *Aquatic Botany* **79**: 277
- 47 G. Bytof, S.-E. Knopp, P. Schieberle, I. Teutsch, D. Selmar 2005: Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. *European Food Research and Technology* **220**: 245
- 48 G. Bytof, 2003: „Veränderungen von Rohkaffees während der Aufbereitung und Lagerung: Physiologische Hintergründe der Qualitätsausprägung von Rohkaffees“ *Dissertation Technische Universität Braunschweig*
- 49 D. Selmar, P. Schieberle 2005: Wissenschaftlicher Abschlussbericht AIF-13588 N1: Qualitätssicherung bei Arabica-Kaffees aus progressiver Rohkaffeeproduktion: Verbesserung der Kaffeearomaqualität durch gezielte Modifikation der Aufbereitung
- 50 I. Vanderwalle, R. Olsson 1983: The γ -aminobutyric acid shunt in germinating *Sinapis alba* seeds. *Plant Science Letters* **31**: 269
- 51 A.M. Desmaison, M. Tixier 1986: Amino Acids Content in Germinationg Seeds and Seedlings from *Castanea sativa* L. *Plant Physiology* **81**: 692
- 52 P. Rozan, Y.-H. Kuo, F. Lambein 2001: Amino acids in seeds and seedlings of the genus Lens. *Phytochemistry* **58**: 281
- 53 P. Rozan, Y.-H. Kuo, F. Lambein 2001: Nonprotein amino acids in edible lentil and pea seedlings. *Amino acids* **20**: 319
- 54 Y.-H. Kuo, P. Rozan, F. Lambein, J. Frias, C. Vidal-Valverde 2004: Effects of different germination conditions on the content of free protein and nonprotein amino acids of commercial legumes. *Food Chemistry* **86**: 537
- 55 S.V. Vladimirova, V.K. Voinikov 2002: Accumulation of dehydrins-like proteins in the mitochondria of cereals in response to cold, freezing, drought and ABA treatment. *BMC Plant Biology* **2**: 1
- 56 C. Ricoulta, J.-B. Cliquetb, A.M. Limamia 2005: Stimulation of alanine amino transferase (AlaAT) gene expression and alanine accumulation in embryo axis of the model legume *Medicago truncatula* contribute to anoxia stress tolerance *Physiologia Plantarum* **123**: 30
- 57 J. G. Steeter, J. F. Thompson 1972: Anaerobic Accumulation of γ -Aminobutyric Acid and Alanine in Radish Leaves (*Raphanus sativus* L.). *Plant Physiology* **49**, 572
- 58 K. Inatomi, J.C. Slaughter 1971: The Pole of Glutamate Decarboxylase and γ -Aminobutyric Acid in Germinating Barley. *Plant Physiology* **22**, 561

- 59 F. Volaire 2003: Seedling survival under drought differs between an annual (*Hordeum vulgare*) and a perennial grass (*Dactylis glomerata*). *New Phytologist* **160**: 501
- 60 Ch.R. Allagulova, F.R. Gimalov, F.M. Shakirova, V.A. Vakhitov 2003: The plant dehydrins: Structure and putative functions. *Biochemistry (Moscow)* **68**: 1157
- 61 S.A. Campbell, T.J. Close 1997: Dehydrins: genes, proteins, and associations with phenotypic traits. *New Phytologist* **137**: 61
- 62 J.E. Werner-Fraczek, T.J. Close 1998: Genetic studies of Triticeae dehydrins: assignments of seed proteins and a regulatory factor to map positions. *Theoretical and Applied Genetics* **97**: 220
- 63 D.W. Choi, B. Zhu, T.J. Close 1999: The barley (*Hordeum vulgare* L.) dehydrins multigene family: sequences, allele types, chromosome assignments, and expression characteristics of 11 Dhn genes of cv Dicktoo. *Theoretical and Applied Genetics* **98**: 1234
- 64 MEBAK 2006: Brautechnische Analysenmethoden Rohstoffe. Freising-Weihenstephan
- 65 URL: [Online] <http://www.schmidt-seeger.com/img/downloads/pdf/maelzerei/maelzerei.de.pdf>
- 66 Sommer, G. 1970: Die neue Kleinmälzungsanlage System Heyl der VLB Tz. f. Brauerei **67**
- 67 G.C. Gibbons 1983: The effects of oxygen, nitrogen, and carbon dioxide steeping regimes on endosperm modification and embryo growth. *Carlsberg Res. Commun.* 48: 35
- 68 A. D. Hanson, J. V. Jacobson 1984: Control of lactate dehydrogenase, lactate glycolysis and α -amylase by O₂ deficit in barley aleurone layers. *Plant Physiol.* **75**: 566
- 69 I. C. Cantrell 1987: Cambridge Prize Lecture: Industrial Scale Research into malting and brewing problems. *Journal of the Institute of Brewing* **93**: 487
- 70 T. M. Enari, T. Linnahalme, M. Linko, M 1961: Effects of air and carbon dioxide in the steeping of barley. *Journal of the Institute of Brewing* **67**: 358
- 71 L. Kelly, D.E. Briggs 1992: Barley maturity and the effects of steep aeration on malting. *Journal of the Institute of Brewing* **98**: 329
- 72 G. Leubner 2006: URL: www.seedbiology.de/seedtechnology.asp; letzter Zugriff: 20.02.2013
- 73 Narziß, L., Hellich, P. 1966: Die Keimung mit fallenden Temperaturen. *Brauwelt* **106**(48/49): 885
- 74 Narziss, L., Kieninger, H. 1967: Die Weicharbeit im Lichte neuester Erkenntnisse. *Brauwelt* **107**: 217
- 75 Brookes, P.-A., Lovett, D.-A., 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

„Das Forschungsvorhaben (AiF 16299 N) wurde 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.

11 Anlagen

11.1 Einsatz des wiss. Personals (Haushaltsjahr 2012)

11.2 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

11.1 Einsatz des wiss. Personals (Haushaltsjahr 2012)

1. Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse im Berichtszeitraum

FS 1 TU Braunschweig, Institut für Pflanzenbiologie:

Die Struktur und Abfolge der folgenden Ausführungen (1.1-1.9) basiert auf den im Forschungsantrag aufgeführten Arbeitspaketen, die in den beiden FS bearbeitet werden.

1.1 Heterogenitäten im Stoffwechselstatus – Einzelkornanalysen

- a) Durchführung der Experimente
- b) Probenvorbereitung, Extraktion der Proben aus den Laboransätzen
- c) Analyse der Parameter (Laboransätze), GABA bzw. AS-Gehalte, Enzym-Aktivitäten

Durchgeführte Arbeiten:

Technisches Personal: Die im ersten Projektteil entwickelten analytischen Methoden zur Einzelkornanalyse wurden dazu eingesetzt, prozessbedingte Inhomogenitäten der Stoffwechsel-Parameter aufzudecken. Die 3 bei DURST-MALZ eingesetzten Weichsysteme (ohne Belüftung, mit CO₂-Absaugung und Druckbelüftung) wurden diesbezüglich untersucht. Als Parameter wurden die Enzymaktivitäten (α -, β -Amylase und β -Glucanase) und die GABA-Gehalte von jeweils 15 einzelnen Gerstensamen analysiert.

Wissenschaftler: Datennachbearbeitung, statistische Auswertung, Illustration der Daten

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang den Maßgaben des begutachteten und bewilligten Antrags.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Wissenschaftliches Personal:	Dipl. Biologe Björn Breitenstein	2 Monate (28,6%)
Technisches Personal:	CTA Anika Richter:	5 Monate (100 %)
Geräte:	HPLC-Pumpe	
Leistungen Dritter:	keine	

Erzielte Ergebnisse: Selbst unter homogenen Laborbedingungen ist die Variationsbreite der untersuchten Parameter relativ hoch (z.B. Bandbreite der α -Amylase-Aktivitäten: $\pm 20\%$ des Mittelwerts). In den großtechnischen Anlagen wurden noch wesentlich größere Bandbreiten der α -Amylase-Aktivitäten festgestellt, zum Vergleich: ohne Belüftung ($\pm 34\%$), mit CO₂-Absaugung ($\pm 67\%$), mit Druckbelüftung ($\pm 46\%$). Diese Ergebnisse implizieren, dass hinsichtlich der Homogenität einer Malzcharge auf das Belüften verzichtet werden sollte. Allerdings stehen die Analysen der β -Amylase- und der β -Glucanase-Aktivitäten sowie der GABA-Gehalte noch aus.

1.2 Analyse der Parameter der Proben aus Mälzungs-Experimenten der FS 2

- a) Probenvorbereitung, Extraktion der Proben aus den Laboransätzen
- b) Analyse der Parameter, GABA, AS, Expressions-Analysen, Enzym-Aktivitäten.

Durchgeführte Arbeiten: Nach gemeinsamer Absprache konzentrierten sich die Untersuchungen auf die GABA-Gehalte. Im Berichtszeitraum wurden Proben der FS 2 untersucht. Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang den Maßgaben des begutachteten und bewilligten Antrags.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Technisches Personal:	CTA Anika Richter:	3 Monate (100 %)
Geräte:	HPLC-Pumpe	
Leistungen Dritter:	keine	

FS 2 TU Berlin, Institut für Biotechnologie, Fachgebiet Brauwesen:

Die Struktur und Abfolge der folgenden Ausführungen (1.3 bis 1.9) basiert auf den im Forschungsantrag aufgeführten Arbeitspaketen, die in der FS 2 bearbeitet werden.

1.3. Untersuchung der Homogenität von Darrmalz aus großtechnischen Darren

Dieses Arbeitspaket wurde im Projektjahr 2011 abgeschlossen.

1.4. Serie 1: Herstellung von Versuchsmalz: Variationen des Weichens (Temperatur, Weichgrad, Nass-, Trockenweiche, O₂, CO₂-Gehalte)

Dieses Arbeitspaket wurde im Projektjahr 2011 abgeschlossen.

1.5. Serie 2: Herstellung von Versuchsmalz: Variation der Keimung (Weichgrad, Weich- und Keimtemperatur, CO₂)

Dieses Arbeitspaket wurde im Projektjahr 2011 abgeschlossen.

1.6. Brauen von Bier in semitechnischem Maßstab aus ausgewählten Malzchargen

Dieses Arbeitspaket wurde im Projektjahr 2010 abgeschlossen.

1.7. Serie 3: Herstellung von Versuchsmalz: Variation von Schwelk- und Abdarrtemperatur

Es wurde Einfluss von niedrigeren Schwelktemperaturen ab 30 °C untersucht, um eine Möglichkeit zu finden die Heterogenität beim Darren zu minimieren, welche durch hohe Temperaturdifferenzen in den Grünmalzschichten (i.d.R. 90 - 120 cm) und durch die Trocknung mit erwärmter Luft, die die Schicht von unten durchströmt, hervorgerufen werden.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang den Maßgaben des begutachteten und bewilligten Antrags.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Wissenschaftl. Techn. Personal:	Christian Müller: 1 Monat (50 %):
	Recherche, Anleitung, Auswertung
Geräte/ Leistungen Dritter:	Thorsten Seewald: 1 Monat (25 %):
	Analysen, Auswertung
	keine

Erzielte Ergebnisse: Niedrigere Schwelktemperaturen (ab 30 °C) als die in den Lehrbüchern empfohlenen und in der Industrie angewendeten (50-65 °C) führten zu einer länger anhaltenden und damit verstärkten Wachstumsphase während des Schwelkens, wodurch mit mehr Schwand, aber auch mit einer höheren cytotolytischen Lösung und einer Reduzierung des Eiweißabbaus zu rechnen ist. Zur Kompensation der längeren Darrdauer könnte eine Verkürzung der Keimung genutzt werden, wobei dann wiederum die fehlende Lösung des Malzes bei der Keimung automatisch durch die Lösung in der längeren Schwelkphase kompensiert werden könnte. Eine Temperatur ab 37,5 °C konnte als Optimum festgestellt werden.

1.8. Brauen von Bier in semitechnischem Maßstab aus ausgewählten Malzchargen

- a) Aus infrastrukturellen und organisatorischen Gründen konnten keine Brauversuche durchgeführt werden. Am Standort Berlin gab es in der Zeit von Mai 2012 bis keine Forschungsbrauerei. Deshalb wurde ein Läutertest im Labormaßstab entwickelt, um Malze auf ihre Läutereigenschaften hin untersuchen zu und verschiedene Malze im Hinblick auf die Läuterleistung vergleichen zu können.
- b) Zusätzlich wurden weitere Versuchsreihen zum Einsatz höherer als in den Lehrbüchern empfohlenen Weich- und Keimtemperaturen durchgeführt, um die Homogenität der Ankeimung und resultierend der Malze zu steigern.
- c) Als Abschlussversuch des Projektes wurden die in 1.7 und 1.8 b) gefundenen optimalen Temperaturen eingesetzt, um eine verkürzte Kleinmälzung mit einer Mälzung nach MEBAK-Parametern und eine Kleinmälzung mit Parametern eines modernen Industrieverfahrens zu vergleichen.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang den Maßgaben des begutachteten und bewilligten Antrags.

Dazu benötigt und eingesetzt:

Wissenschaftl. Techn. Personal:	Christian Müller: 3 Monate (50 %) Recherche, Anleitung, Auswertung
	Andy Hintenaus: 1 Monat (50 %) Analysen, Auswertung
Geräte/ Leistungen Dritter:	keine

Erzielte Ergebnisse:

- a) Mittels einer Weichtemperatur von 20 – 25 °C konnten durchaus hohe und im Vergleich zu einer Weichtemperatur von 15 °C bessere Malzqualitäten erzielt werden. Hinsichtlich des Forschungsthemas der Heterogenität bei der Malzproduktion kann eine höhere als in der Literatur und in Lehrbüchern empfohlene Weichtemperatur zur Verbesserung der Homogenität eingesetzt werden. Allerdings sollten nach diesen Ergebnissen keine Weichtemperaturen über 30 °C Anwendung finden und ein z.B. klimabedingter Anstieg über 30 °C sollte unbedingt vermieden werden. Dennoch sollte die aktuell angebaute Braugerste auf Ihre Temperaturempfindlichkeit hin untersucht werden, um zu prüfen, ob das Ankeimverhalten sortenabhängig ist und der Einsatz von hohen Temperaturen beim Weichen vorteilhaft sein kann. Neben einer Verbesserung der Homogenität der Malze bei Keimtemperaturen zwischen 20 - 24 °C, konnte anhand der Malzanalysen aufgezeigt werden, dass eine Keimzeitersparnis von 1 – 2 Tagen gegenüber den konventionellen Keimtemperaturen von 15 °C (normal 13 und 18 °C) möglich ist. Aus wirtschaftlicher Sicht stellt dies ein erhebliches Einsparpotential für Mälzereien dar, bei dem ein aufgezeigter, geringer Extraktverlust durch das verstärkte Wachstum zu vernachlässigen sein sollte. Der Atmungs- und Wurzelschwand wäre nach den Ergebnissen bei einer Einsparung von 1 – 2 Keimtagen auf einem etwa gleichen Niveau wie beim 6-Tage-Kontrollmalz (15 °C).
- b) Die zusammen in einer Mälzung angewendeten in den Vorversuchen ermittelten optimalen Weich-Keim- und Schwelktemperaturen („Optimälzung“) führten ebenfalls zu einer schnelleren und homogeneren Ankeimung und einer verstärkten cytolytischen und gebremsten proteolytischen Lösung der Malze im Vergleich zu den Malzen, die mittels MEBAK-Kleinmälzung und einer Kleinmälzung mit einem modernen Parametern hergestellt wurden. Trotz einem geringen Extraktverlust und leicht

erhöhten Mälzungsschwänden konnte mittels der Optimälzung eine höhere Malzqualität bei deutlich verkürzter Mälzungsdauer erzielt werden. Die höheren Verluste sollten aus wirtschaftlicher Sicht durch die Zeitersparnis und daraus resultierenden Energieeinsparungen zu vernachlässigen sein. Im Hinblick auf durchgeführte Läutertest kann die Optimälzung nur für eine von zwei untersuchten Gersten empfohlen werden, die temperaturunempfindlicher war.

1.9. Messung von O₂ und CO₂ in verschiedenen großtechnischen Mälzungssystemen bzw. während der Keimung

Dieses Arbeitspaket wurde im Projektjahr 2011 abgeschlossen.

2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

11.2 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

(Stand 28.02.2013)

Informationen zu den Inhalten und Ergebnissen des Projekts werden seitens des FEI und seitens der Forschungsstelle bereits während der Vorhabenslaufzeit sowie nach Vorhabensabschluss über folgende Maßnahmen und Wege transferiert, um eine breitenwirksame Nutzung der Ergebnisse in der Wirtschaft sicherzustellen:

<ul style="list-style-type: none"> • Einstellung von Projektinformationen auf der FEI-Website* und in die öffentlich zugängliche FEI-Internet-Projektdatenbank* 	2. Quartal 2010* mit jährlichen Aktualisierungen*
<ul style="list-style-type: none"> • Jährliche Veröffentlichung von Projektinformationen im FEI-Forschungsreport* und im FEI-Jahresbericht* 	1. Quartal 2011* 1. Quartal 2012* 1. Quartal 2013*
<ul style="list-style-type: none"> • Jährliche Veröffentlichung von FEI-Projekturzberichten* und FEI-Projektokumentationen* 	1. Quartal 2011* 1. Quartal 2012* 1. Quartal 2013*
<ul style="list-style-type: none"> • Vorstellung der Ergebnisse im Rahmen der FEI-Jahrestagungen* 	ab 2013*
<ul style="list-style-type: none"> • Einbeziehung bzw. Beteiligung folgenden Branchenfachverbands bzw. FEI-Mitgliedsverbands als Informationsmultiplikator* gegenüber der potentiellen Nutzergruppe (u.a. mit Projektberichterstattung in Gremien- und Arbeitskreissitzungen des Verbands): <ul style="list-style-type: none"> – <i>Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin</i> – <i>Deutscher Mälzerbund e.V., Frankfurt</i> – Erstellung ausführlicher (kalenderjährlicher) Projekt(zwischen)berichte und jährliche Weitergabe dieser Berichte über den <u>o.g.</u> Branchenfachverband an alle interessierten Unternehmen* 	1. Quartal 2011* 1. Quartal 2012* 1. Quartal 2013*
<ul style="list-style-type: none"> • Regelmäßige (mind. 1x jährliche) Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) des FEI und kontinuierliche Berichterstattung gegenüber den hierin vertretenen Unternehmen und Verbänden* • Geplant: außerplanmäßige PA-Sitzung zur Initiierung eines Folgeprojekts 	04.11.2010 Braunschweig 01.07.2011 Berlin 06.07.2012 Berlin 1. Quartal 2013
<ul style="list-style-type: none"> • Publikation der Ergebnisse in folgenden wissenschaftlichen Fachzeitschriften bzw. Branchenzeitschriften: <ul style="list-style-type: none"> – Artikel in „Food Chemistry“ Vol. 132 (1): 476-48 Titel: “Malting revisited: Germination of barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) is inhibited by both oxygen deficiency and high carbon dioxide concentration” - “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 (<i>Hordeum vulgare</i> L.) malts.” Geplante Publikation bei Food Chemistry - Publikation des Schlussberichtes auf der Homepage des Instituts für Pflanzenbiologie 	während der Laufzeit sowie spätestens innerhalb von 6 Monaten nach Vorhabensabschluss Mai 2012 2. Quartal 2013 2. Quartal 2013
<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsgespräch mit Vertretern der Firma Bühler (Hersteller von Mälzerei-Anlagen) 	12.07.2010
<ul style="list-style-type: none"> • Besuch der Messe „Brau Bevale“, dort Gespräche zum Projekt und zur Publikation der Ergebnisse mit Herrn Jacobs (Bühler) und Herrn von Bierbrauer zu Brennstein (Oettinger Brauerei) 	10.11.2011

<ul style="list-style-type: none"> • Vortrag auf dem „10th Trends in Brewing“-Kongress Titel: "Single grain analyses of differentially steeped green malts: Aeration impairs the homogeneity of relevant malt parameters" • Poster auf dem „10th Trends in Brewing“-Kongress Titel: "α-aminobutyric acid (GABA) - A practical indicator for the detection of heterogeneities during malting?" 	01.04. – 05.04.2012
<ul style="list-style-type: none"> • Poster auf dem „World Brewing Congress 2012“ Titel: "α-aminobutyric acid (GABA) - A practical indicator for the detection of heterogeneities during malting?" • Vortrag auf dem „3rd International Symposium for Young Scientists & Technologists in Malting, Brewing and Distilling“-Kongress Titel: "Use of γ-Aminobutyric acid (GABA) as a reliable indicator for the detection of heterogeneities during malting?" • Poster auf dem Lebensmittelchemikertag Braunschweig Titel: "Single grain analyses of differentially steeped green malts: Aeration impairs the homogeneity of relevant malt parameters" 	28.07. – 01.08.2012 23.10. – 25.10.2012 16-18.09.2013



*Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V.
Godesberger Allee 142-148 · 53175 Bonn
Telefon: +49 228 3079699-0
Telefax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de*

*Weiterführende Informationen:
www.fei-bonn.de*

