



*Forschungsthema:*

## Untersuchung des Einsatzes ionisierter Luft zur Getreide-, Wasser- und Zuluftentkeimung im Weich- und Keimprozess in der Mälzerei

*AiF-Vorhaben-Nr.:*

16711 N

*Name der Forschungsstelle(n):*

Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei Berlin (VLB) e.V. /  
Forschungsinstitut für Bier- und Getränketechnologie

*Kontakt:*

Dr.-Ing. Roland Pahl, pahl@vlb-berlin.org

*Bewilligungszeitraum:*

1.10.2012 – 31.1.2015



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# SCHLUSSBERICHT



WISSEN  
SCHAFFT  
QUALITÄT

## **Impressum**

### **Herausgeber:**

Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V.  
Forschungskoordination - Gerhard Andreas Schreiber  
Seestraße 13, 13353 Berlin, Deutschland

Vereinsregister-Nr.: 24043 NZ, Amtsgericht Berlin-Charlottenburg

[www.vlb-berlin.org](http://www.vlb-berlin.org)

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Alle Rechte vorbehalten, sofern nicht im Text nicht anders angegeben.

Kein Teil des Berichts darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen in Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

All rights reserved (including those of translation into other languages).

No part of this book may be reproduced in any form.

# Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

***Untersuchung des Einsatzes ionisierter Luft zur Getreide-, Wasser- und Zuluftentkeimung  
im Weich- und Keimprozess in der Mälzerei***

der Forschungsstelle(n)

Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V.

Forschungsinstitut für Bier- und Getränketechnologie

Das IGF-Vorhaben 16711N der Forschungsvereinigung Brauerei wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Berlin, den 14.10.2015

Dr.-Ing. Roland Pahl

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'R. Pahl', written over a horizontal line.

Ort, Datum

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

## Danksagung

Die Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei (VLB) in Berlin e.V. möchten sich ganz herzlich bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) und beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) für die Bewilligung und Finanzierung des Vorhabens bedanken.

Besonders herzlich bedanken möchten wir uns bei unseren Projektpartnern für die tatkräftige Unterstützung, Diskussionsbereitschaft und unzählige Ratschläge zum Thema und Wirken der Luftionisation:

- Bioclimatic GmbH (Bad Nenndorf) für die Bereitstellung der Ionisationsmodule für die Nassweiche sowie Belüftung während der Trockenweiche und Keimung  
Dipl.-Ing. Werner Schröder (Geschäftsführer)  
Dipl.-Ing. Jörg Schwickert (Produktmanager Elektronik)
- EmTec Emmerich Technologie (Lutherstadt Wittenberg) für die Bereitstellung des Ionisationsmoduls für die Nassweiche  
Dipl.-Ing. Steffen Emmerich (Geschäftsführer)

Des Weiteren bedanken wir uns bei folgenden Mälzereien für die Bereitstellung der Versuchsgersten:

- Tivoli-Malz GmbH (Hamburg)  
Dr.-Ing. Dietrich Mönch (Geschäftsführer Technik)
- Malzfabrik Rheinpfalz (Pfungstadt)  
Dipl.-Ing. Christian Leisler (Geschäftsführer)

Das IGF-Vorhaben 16711N der Forschungsvereinigung Versuchs- & Lehranstalt für Brauerei in Berlin e.V., Seestraße 13, 13353 Berlin, 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.

Insbesondere möchten wir uns bei allen beteiligten Personen danken. Namentlich zu nennen sind:

Thomas Gieche (VLB Berlin) und Thomas Tyrell (vormals VLB, jetzt Stone Brewing GmbH Berlin) für die Betreuung der Versuche.

Holger Harnisch und Andreas von Kirchner vom VLB-Forschungsinstitut für Rohstoffe (FIR) für die tatkräftige Unterstützung während des Mälzens.

Die Masteranden, Bacheloranden und Praktikanten: Thomas Suckau (Beuth HS), Stefanie Meyer (Beuth HS), Christoph Wenzel (HTW Berlin), Peter Rinck (Beuth HS), Josephine Richter (Beuth HS), Klaus Sebold (HTW Berlin)

Prof. Dr. Tassilo Seidler (Beuth HS, FB V Lebensmittelmikrobiologie) für die Bereitstellung eines Brutschrankes, der für die unzähligen Agar-Platten nötig war und für seine Diskussionsbereitschaft zum Thema Schimmelpilze auf Getreide und Agarkultur.

Dr.-Ing. Roland Folz (jetzt Pentair Ltd.) als Leiter der ehemaligen VLB-Abteilung Brewing & Beverage Science & Applications (BBSA) sowie Dr.-Ing. Roland Pahl Leiter als Leiter des VLB-Forschungsinstitutes für Bier- & Getränkeproduktion (FIBGP).

Prof. Dr. Frank Rath als Leiter des FIR.

# Abkürzungsverzeichnis

## Einrichtungen

VLB	Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei Berlin
FIBGP	Forschungsinstitut für Bier- & Getränkeproduktion
FIR	Abteilung Forschungsinstitut für Rohstoffe

## Einheiten

°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
cm <sup>3</sup>	Kubikzentimeter
d	Tage
h	Stunden
EBC	European Brewery Convention (Bestimmung Farbeinheit)
g	Gramm
GKZ	Gesamtkeimzahl
KbE	Koloniebildende Einheiten
kg	Kilogramm
kV	Kilovolt
L	Liter
m	Meter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mg	Milligramm
min	Minuten
mm	Millimeter
mL	Milliliter
mPas	Milli-Pascal-Sekunden
OD	Optische Dichte
Pas	Pascal-Sekunde
ppm	parts per million
t	Tonne
Upm	Umdrehung pro Minute
µL	Mikroliter

### Biologisch

AS	Aminosäure
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DON	Desoxinivalenol
ZEA	Zeraleon
NIV	Nivalenol
FAN	Freie Amino Stickstoff
HMWP	high-molecular-weight protein
KDA	Kartoffel-Dextrose Agar
NIV	Nivalenol
PYF	Premature Yest Flocculation
spp	Subspezies
St-I-Agar	Standard-I Agar
YPM	Yeast Peptone Maltose

### Chemisch

CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
dest.	destilliert
DMS	Dimethylsulfid
DMS-P	DMS-Precursor
H <sub>2</sub> O	Wasser
N	Stickstoff
NaCl	Natrium-Chlorid
O <sub>3</sub>	Ozon

### Physikalisch

DBE	Dielektrische Barriere Entladung
ESC	Electronic Space Charge System
KDBE	Kaskadierte dielektrische Barriere Entladung

### Sonstige

A	Ansatz
Abb.	Abbildung
DL	Druckluft
IL	Ionisierte Luft
MAK	Maximale Arbeitsplatz Konzentration

MEBAK	Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
Tab.	Tabelle
TrS	Trockensubstanz
$\alpha$	Alpha
$\beta$	Beta

#### Geräte

IM	Ionometer
----	-----------

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	2
Abkürzungsverzeichnis .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	7
1. Zusammenfassung.....	10
2. Material und Methoden .....	13
2.1 Materialien .....	13
2.1.1 Substanzen .....	13
2.1.2 Geräte .....	13
2.2 Methoden .....	13
2.2.1 Kornwaschmethode .....	13
2.2.2 Mikrobiologische Untersuchung des Weichwassers.....	14
2.2.3 Bestimmung der Ionendichte .....	14
2.2.4 Gezielte Kontamination von Gerste .....	14
2.2.5 Mälzungsprozess.....	15
2.2.6 Malzanalyse .....	15
2.2.7 Behandlung einer Sporensuspension mit ionisierter Luft .....	15
3. Stand der Technik – Übersicht über die Applikationsmöglichkeiten ionisierter Luft in verschiedenen Bereichen der Forschung und Industrie .....	16
4. Durchgeführte Arbeiten und Versuche .....	21
4.1. Projektphase 1 in 2012/13: Konstruktion des Versuchsaufbaus und Vorversuche.....	22
<b>4.1.1.Ziel</b> .....	22
<b>4.1.2. Ergebnisse aus Projektphase 1</b> .....	22
<b>4.1.2.1 Versuchsaufbau</b> .....	22
<b>4.1.2.2 Bestimmung der Ionendichte</b> .....	25
<b>4.1.2.3 Bestimmung des Ionengradienten im Gersten- und Malzhaufen</b> .....	26
<b>4.1.2.4 Vorbehandlung der Gerste mit IL und Auswirkung auf Keimruhe und Keimenergie</b> .....	28
<b>4.1.2.5 Vorbehandlung der Gerste mit IL und Auswirkung auf die Mikrobiologie</b> .	28
<i>Versuchsauswertung der Gerste a beimpft</i> .....	31
<i>Versuchsauswertung der Gerste b beimpft</i> .....	31
<i>Versuchsauswertung der Gerste c beimpft</i> .....	31
<i>Fazit aus Vorbehandlung der Gerste mit IL</i> .....	32

4.1.2.6 Anwendung ionisierter Luft in einer Sporensuspension mit <i>Fusarium culmorum</i> .....	33
4.1.2.7 Anwendung ionisierter Luft in Prozessschritten der Mälzerei .....	34
4.1.2.7.1 Einfluss der ionisierten Luft auf die Mikrobiologie des Weichwassers und Malzes.....	35
4.1.2.7.2 Einfluss der ionisierten Luft auf die Malzqualität.....	37
<i>Gushing</i> .....	37
<i>PYF</i> .....	38
<i>Zytolyse</i> .....	39
<i>Proteolyse</i> .....	42
<i>Amylolyse</i> .....	44
<i>Zusammenfassung der Malzanalytik</i> .....	45
4.2. Projektphase 2 in 2013/14:.....	46
4.2.1 Erntejahr 2013/14: Erarbeitung einer SOP für gezielte Kontamination der Gerstencharge mit Schimmelpilzen.....	46
4.2.2 Optimierung des Versuchsaufbaus .....	47
4.2.3 Ergebnisse der Vorversuche mit Sporensuspension in der Nassweiche .....	49
4.2.4 Vorbehandlung der Gerste im Keimkorb .....	50
4.2.5 Mälzungsversuche mit den neuen Ionisationsmodulen .....	50
<i>Untersuchung der Mikrobiologie des Weichwassers und Malzes</i> .....	50
<i>Malzanalysen</i> .....	51
4.3. Projektphase 3 in 2014/15: Fokus Nassweiche .....	51
4.3.1 Vergleich der Ionisationssysteme.....	52
<i>Malzanalyse</i> .....	55
4.3.2 Variation der Wiederverwendung des Weichwassers mit System 2.....	55
4.3.2.1 Wiederverwendung der zweiten Nassweiche für die erste Nassweiche .....	55
4.3.2.2 Wiederverwendung der ersten Nassweiche für die zweite Nassweiche .....	56
4.4 Ausblick: Versuche mit variierten Ionisationseinstellungen.....	57
5. Auswertung Gesamt und Gegenüberstellung mit den Zielen des Forschungsvorhabens .	59
6. Verwendung der Zuwendung .....	61
7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	62
8. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	63
9. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten .....	65

10. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts .....	68
11. Angaben über gewerbliche Schutzrechte .....	70
12. Förderhinweis .....	70
Literaturverzeichnis.....	71

## **1. Zusammenfassung**

Inhalt des Forschungsvorhabens war die eingehende wissenschaftliche Untersuchung, inwiefern der Einsatz künstlich erzeugter ionisierter Luft während der Belüftung im Mälzungsprozess. Die Zielstellung war zweigeteilt:

a) Fokus auf die Malzqualität

- Verringertes Gushing-Potential
- Verringertes PYF-Potential
- Verringerter Gehalt an Mycotoxinen
- Gleichbleibende oder sogar verbesserte Malzqualität

b) verfahrensorientierte Zielstellung

- Verringerung des Schimmelpilzwachstums
- Erhöhung der Keimenergie des Malzes
- Verkürzung der Keimzeit

Die ionisierte Luft wurde in den Prozessschritten eingesetzt, in denen in der gängigen Praxis auch mit normaler Luft belüftet wird:

i) Belüftung der Gerste vor der ersten Nassweiche (Vorbehandlung)

ii) Belüftung während der ersten und zweiten Nassweiche

iii) Belüftung während der Trockenweiche

iv) Belüftung während der Keimung

Für die Einbringung der ionisierten Luft für diese Versuche im Labormaßstab mussten die Behälter für die Nassweichen sowie die Keimkästen für Trockenweiche und Keimung. Während der Versuchsreihen wurden die Einstellungen der Ionisatoren wie Hochspannung und ggf. Frequenz bei der Nassweiche variiert.

Die Behälter und Ionisationsmodule wurden aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse über die ionisierte Luft im Mälzungsprozess im Laufe des Projektes stetig umgebaut, um die Wirkung der ionisierten Luft zu verbessern. So wurden die Module für die Trockenweiche und Keimung mit einer zweiten Ionisationsröhre versehen, um die Ionenkonzentration zu erhöhen. Mit dem gleichen Ziel wurden diese Röhren mit einem engmaschigen Gitter versehen. Für die Ionisation in der Nassweiche wurden u.a. der Trafo zur Erzeugung der notwendigen Hochspannung, und die Steuerung ausgetauscht. Für die Nassweichen standen je ein Ionisationsmodul der Firma Bioclimatic und EmTec Emmerich Technologie zur Verfügung. Des Weiteren stellte die Firma Bioclimatic die Ionisationsmodule für die Trockenweiche und Keimung bereit.

Die Notwendigkeit dieser Optimierungen basierte auf folgenden Erkenntnissen:

- Die Ionenkonzentration steigt mit zunehmender Hochspannung für die Ionisation. Aber die Ozonkonzentration nahm ebenfalls zu. Die Doppelröhren mit optimierter Maschendrahtoberfläche erzeugten dahingehend weniger Ozon
- Die Gradientenbestimmung der Ionenkonzentrationen im Gersten- als auch Grünmalzhaufen ergab, dass bereits nach einer Schütthöhe von ca. 5 mm keine Ionen detektiert werden konnten. Es musste daher ein „flacher Haufen“ geschaffen werden.
- Die Ionenkonzentration hängt sehr stark von den äußeren Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Staubbelastung) ab trotz gleicher Einstellungen am Ionisator.

Als schwierig erwies sich auch die Suche nach der geeigneten Gerste für die angestrebten Versuche. Im besten Fall sollte die Gerste hohen Schimmelpilzbefall haben, jedoch kein oder nur geringes Gushing- resp. PYF-Potential aufweisen. Dieses sollte sich idealerweise erst während des Mälzungsprozesses entwickeln, um die Wirkung der ionisierten Luft zu beurteilen. Eine solche Gerste stand aber in dem Zeitraum Oktober 2012 bis Mai 2015 dieses Forschungsvorhabens nicht zur Verfügung. Die verwendeten Gerstenchargen der Ernte 2012 waren alle hochgradig mikrobiologisch belastet und zeigten überhöhte Gushing- und PYF-Potentiale auf. Dagegen waren die Gersten der Erntejahre 2013/14 nur sehr gering mit Schimmelpilzen befallen. Sowohl das Gushing- als auch PYF-Potential waren auch auf einem sehr geringen Niveau. Daher mussten für diese Jahrgänge die Gersten künstlich kontaminiert werden. Das erfolgte mit einer Reinkultur des Schimmelpilzes *Fusarium culmorum* sowie mittels Kornwaschen gewonnenen „Gerstenflora“ und dessen Anreicherung. Hierfür musste eine SOP erarbeitet werden, um eine praxisnahe Kontamination der Gerstencharge darstellen zu können.

Die Ergebnisse der obengenannten Zielstellungen a) und b) waren sehr heterogen. Eine eindeutige Aussage über den Effekt der ionisierten Luft auf Malzqualität und Mikrobiologie kann nicht gemacht werden. Es zeigten aber positive Tendenzen, die jedoch keine Signifikanz zum Referenzansatz hatten:

- Absolut kein Einfluss auf gesteigerte Keimenergie oder verkürzte Keimzeit
- Teilweise Keimreduktion im Weichwasser
- Keine Unterschiede bzgl. organischer Belastung des Weichwassers ausgedrückt als CSB-Wert. Jedoch wurde immer eine signifikant hellere, teilweise auch klarere Farbe der mit ionisierter Luft behandelten Weichwässer visuell wahrgenommen.
- Teilweise Keimreduktion der Mikroflora auf Gerste und Malz wenn die Hochspannung >2700 V war. Größere Unterschiede in der Keimreduktion gab es nur, wenn die Ozonkonzentrationen >0,5 ppm waren.

- Absolut kein Effekt auf das Gushing-Potential des Malzes
- Teilweise positiver Effekt auf ein verringertes PYF-Potential
- Keine signifikanten Unterschiede bzgl. Malzqualität. Jedoch tendenziell schlechtere Malzqualitäten wenn höhere Ozonwerte zum Einsatz kamen.

Eine Hauptursache für diese doch sehr heterogenen Ergebnisse konnten die unterschiedlichen mikrobiologischen Belastungen der Gerstenchargen sein. Je höher die Keimbelastung ( $\sim 10^5/g$ ) desto geringer die Keimreduktion sowohl auf Gerste und Malz als auch im Weichwasser. Es ist bekannt, dass die ionisierte Luft zwar sehr reaktiv ist, jedoch sind die erzeugten Luftionen sehr kurzlebig und reagieren sich ab bzw. neutralisieren sich, sobald diese auf eine Oberfläche oder Partikel treffen. Und diese Bedingung finden wir im Gersten- und Malzhaufen sowie in den Nassweichen vor. Der Haufen bildet eine immens große Oberfläche durch die einzelnen Körner, weshalb anzunehmen ist, dass nur ein sehr geringer Teil des Haufens mit Luftionen in Kontakt trat. Des Weiteren erfolgte während der Nassweichen auch eine Reinigung der Körner, wodurch die Schmutzfracht ebenfalls mit den Luftionen reagiert und somit eine Konkurrenz zu den abzutötenden Mikroorganismen darstellte. Wenn der Erfolg bzw. die gewünschte Keimreduktion in den Nassweichen nur mäßig war, stellte dennoch die Anwendung ionisierter Luft in diesem Prozess das größte Potential dar. Weitere besteht noch Forschungspotential, verfahrensseitig die Ionisierte Luft effektiv einzubringen.

Während dieses Forschungsvorhabens konnten die im Antrag beschriebenen Zielstellungen des Arbeitspaketes 6 (Anlagenentkeimung) und Arbeitspaketes 7 (Scale-up) nicht durchgeführt werden. Das kann damit begründet werden, dass der Fokus auf die erfolgreiche Bearbeitung der unter a) und b) genannten Zielstellungen (siehe oben) lag durch Variation der Ionisationseinstellungen und Versuchskonstruktionen. Diese Zielstellungen beinhalteten die Arbeitspakete 1 bis 5. Des Weiteren mussten Zeitverzögerungen in der Bearbeitung hingenommen werden aufgrund technischer Ausfälle und Umbaumaßnahmen.

Andererseits wurde es aufgrund der im Labormaßstab gewonnenen Erkenntnisse nicht für sinnvoll erachtet, diese beiden Schritte durchzuführen, da wie vor kurzem erwähnt, die Applikation der ionisierten Luft in den Nassweichen mehr Variationsspielraum bot und weiterhin bietet.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Materialien**

#### *2.1.1 Substanzen*

- NaCl Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
- Kartoffelextrakt-Glucose-Agar Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
- Polysorbat 80 (Tween 20) Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
- Ethanol VWR International GmbH, Darmstadt
- Isopropanol Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
- Gerstenchargen aus verschiedenen Sorten und von verschiedenen Standorten

#### *2.1.2 Geräte*

- Ionometer IM806 Umweltanalytik Holbach GmbH
- Ionisator, Ionisationsröhre Bioclimatic GmbH, Bad Nenndorf
- Ionisationsmodul für Trockenweiche und Keimung mit 1 sowie 2 Ionisationsröhren Eigenkonstruktion VLB Berlin/Bioclimatic
- Ionisationsmodul mit zwei Ionisatoren Eigenkonstruktion VLB Berlin/Bioclimatic
- Flachweiche mit Ionisationsröhre EmTec GmbH
- Ozon Analysator APOA 370 HORIBA Europe GmbH, Berlin
- Keimkammer; Darre VLB Berlin (FIR)
- Feststofffermenter Prophyta L05 PROPHYTA GmbH, Malchow/Poel

### **2.2 Methoden**

#### *2.2.1 Kornwaschmethode*

Diese Methode dient zur Bestimmung der äußeren Gesamt-Keimzahl trockener Gerste oder Malz. Hierfür werden zu 100 ml sterilen 0,85%igen NaCl 0,25g Tween 20 und 10 g der gewünschten Gersten-oder Malzprobe gegeben. Das Ganze wird für 30 min auf einem Schüttler geschüttelt. Anschließend wird von der geschüttelten Lösung eine Verdünnungsreihe von 1:100 bis 1:10000 hergestellt und die Verdünnungen werden als Dreifachbestimmung auf KDA ausplattiert. Nach mindestens drei Tagen im Brutschrank bei 25°C können die Kolonien ausgezählt werden.

### *2.2.2 Mikrobiologische Untersuchung des Weichwassers*

Nach jeder durchgeführten Nassweiche wurde sowohl die Gerste als auch das Weichwasser gesammelt. Die geweichte Gerste wurde in den weiteren Schritten zur Malzherstellung benötigt. Da in allen Prozessstufen der Malzherstellung das Gewicht der Gerste bestimmt werden muss, um auf den Weichgrad zu schließen, konnten keine Gerstenproben für die mikrobiologische Untersuchung verwendet werden. Um die Versuche trotzdem auswerten zu können, wurden jeweils 250 mL Proben von jeder Weiche genommen. Alle Proben wurden 1:10 bis auf  $10^{-4}$  verdünnt und je 100  $\mu\text{L}$  der Verdünnungsstufen  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  wurden als Dreifachbestimmungen auf KDA ausplattiert. Nach drei oder mehr Tagen Bebrütung bei  $25^{\circ}\text{C}$  werden die gewachsenen Schimmelpilzkolonien ausgezählt und unter Berücksichtigung der Verdünnungsstufe auf KbE/ml umgerechnet.

### *2.2.3 Bestimmung der Ionendichte*

Während jeder Vorbehandlung der Gerste mit ionisierter Luft sowie während jeder Mälzung, wo in der Trockenweiche und Keimung mit ionisierter Luft gearbeitet wurde, erfolgte eine Messung der Ionendichte mit dem Ionometer. Die von dem jeweiligen Ionisationsmodul erzeugte Ionendichte wird direkt an den Ionisationsröhren gemessen und wird als Ionendichte unter dem Schütthaufen bezeichnet. Um ermitteln zu können wie viele Ionen sich an der Gerste ablagern, wird außerdem die Ionendichte direkt über der Gerste gemessen, was als Ionendichte über dem Schütthaufen bezeichnet wird. Die Ionendichte wird vom Ionometer in Ionen/ $\text{cm}^3$  angegeben.

### *2.2.4 Gezielte Kontamination von Gerste*

Im Projektzeitraum der Erntejahre 2013/14 war es nötig, eine gezielte Kontamination durchzuführen, da die vorhandenen Gersten kaum mit Mikroorganismen kontaminiert waren. Das Prinzip der gezielten Kontamination ist, dass ein bestimmtes Volumen Gerste mit einer Sporensuspension für 5 min inkubiert bzw. eingeweicht wird. Anschließend wurde die Gerste in einen Feststofffermenter überführt, sodass die übrige Sporensuspension von der Gerste abfließen kann. Der Wassergehalt stieg auf 16 – 18 %. Diese Gerstencharge wurde lufttrocken bei Raumtemperatur für zwei Tage „getrocknet“ und danach bis zur Vermälzung bei  $4^{\circ}\text{C}$  in einer Kühlzelle gelagert. Im Prinzip wurde so eine unsachgemäße Lagerung der Gerste simuliert, um das Wachstum von Mikroorganismen insbesondere Schimmelpilze zu forcieren.

### 2.2.5 Mälzungsprozess

Die Vermälzung der Gerstenchargen erfolgte angelehnt an die MEBAK-Methode 1.5.3.

Für die erste Nassweiche wurden je 900 g Gerste lufttrocken eingewogen und in die eigens für dieses Projekt konstruierten Weichbehälter überführt. Die Weichwassermenge betrug jeweils 1,3 Liter (Verhältnis 1:1,5). Das Mälzungsschema war wie folgt:

1. Nassweiche	5 h
Trockenweiche	18 h bei 14 °C, rH = 90 %
2. Nassweiche	3 h
Keimung	5 Tage bei 14 °C, rH = 90 %
Schwelken	18 h bei 50 °C
Abdarren	5 h bei 80 °C

Es sollte der Weichgrad von 45 %  $\pm$  0,1% angestrebt werden. Das konnte jedoch nur bedingt erreicht werden. Erläuterungen dazu im Ergebnis- und Diskussionsteil.

### 2.2.6 Malzanalyse

Die Malzanalysen wurden in den Laboratorien des FIR (Forschungsinstitut für Rohstoffe) der VLB Berlin durchgeführt und erfolgte nach der Analysenvorschrift der MEBAK (Band II, Aufl. 2006).

### 2.2.7 Behandlung einer Sporensuspension mit ionisierter Luft

Im Rahmen von Vorversuchen, welche darauf abzielten, ob und welchen Effekt ionisierte Luft auf Mikroorganismen (insbesondere Schimmelpilze und Hefen) hat, wurden wässrige Sporensuspensionen behandelt. Um die Sporensuspension mit ionisierter Luft zu behandeln, wurden 500 ml der Suspension in die dafür geeignete Weichbehälter überführt. Für die Ionisation wurde eine Frequenz von 50 Hz und Hochspannungen von 3000 V bis 5500 V eingestellt.

Es wurden zwei Sporensuspensionen untersucht:

- i) Reinkultur des Schimmelpilzes *Fusarium culmorum*
- ii) Mischkultur gewonnen aus „Gerstenflora“

Die Gewinnung der Mischkultur erfolgte analog der Kornwaschmethode (siehe 2.2.1). Das Waschwasser wurde dann auf KDA ausplattiert und 3-5 Tage bei 25°C inkubiert. Die Mischkultur wurde durch das Abschwemmen von Schimmelpilzen bewachsenen Agarplatten hergestellt. Es wurden 100 ml einer sterilen 0,85%igen NaCl-Lösung mit 50 g Tween 20 gemischt. Von dieser Lösung wurden ca. 15-25 ml auf eine

bewachsene Agarplatte gegeben. Mit Hilfe eines Triglaskispatels wurden die Pilzsporen bzw. -kulturen zum Teil in Lösung gebracht und mit einer Glaspipette von der Agarplatte aufgenommen und anschließend in physiologische Kochsalzlösung überführt, welche für die beabsichtigten Versuche vorgesehen war.

### **3. Stand der Technik – Übersicht über die Applikationsmöglichkeiten ionisierter Luft in verschiedenen Bereichen der Forschung und Industrie**

Im Folgenden soll gezeigt werden, wie vielfältig die Techniken zur Erzeugung, die Applikationsmöglichkeiten und Wirken der IL sind. Des Weiteren wird ein Überblick über die Diversität der Applikationsmöglichkeiten gegeben und die uneinheitlichen Charakterisierungen der IL diskutiert.

Auf die Darstellung der Problematik der mikrobiologischen Beschaffenheit der Gerste und dessen Einfluss auf die Phänomene Gushing sowie das frühzeitige Absetzen der Hefe während der Gärung (pre-mature yeast flocculation = PYF) wird verzichtet. Dies wurde bereits im Projektantrag ausführlichst beschrieben.

Der folgende Text basiert auf eine Veröffentlichung, die im Rahmen dieses Projektes im Jahr 2014 publiziert wurde:

Gieche, T.; Tyrell, T.; Meyer, B.; Folz, R. (alle VLB Berlin)

Hintergründe zur Applikation Ionisierter Luft in der Mälzerei und Brauerei

Brauwelt 2014, 6, 130-133

Atmosphärische Luft ist ein Gasgemisch bestehend aus ca. 20,95 vol.% Sauerstoff ( $O_2$ ), 78,08 vol.% Stickstoff ( $N_2$ ), 0,93 vol.% Argon, 0,04 vol.% Kohlendioxid ( $CO_2$ ) sowie 0,4 vol.% Wasserdampf und weiteren Gasen in Spuren. Jedoch sind diese Gase in der Natur nicht immer als neutrale oder dipolare Moleküle vorhanden, sondern auch als geladene positive und negative Ionen. Sie entstehen durch energiereiche Partikel, welche auf neutrale Moleküle treffen und dadurch in ein positiv und negativ geladenes Teil gespalten werden [1, 2]. Diese wiederum können sich an ein neutrales Molekül anlagern. Natürliche, energiereiche Ionisationsquellen sind z.B. die täglichen kosmischen Strahlungen, UV-Strahlen, Blitzentladungen aber auch Elektrogeräte und Glühlampen / Leuchtmittel. Größere Ionendichten werden auch im Gebirge, am Meer sowie in der Nähe von Wasserfällen

gemessen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gibt einen Überblick über die natürlich vorkommenden Ionenkonzentrationen [3]. Die Ionendichten können je nach Witterung und Tageszeit sehr schwanken und werden daher nicht in absoluten Zahlen sondern in Konzentrationsbereiche angegeben.

**Tabelle 1: Natürlich vorkommende Ionenkonzentrationen**

Ort	Ionenkonzentration [Ionen/cm <sup>3</sup> ]
Wasserfälle	20.000 – 70.000
Gebirge, Meeresnähe	4.000 – 10.000
Stadttrand, Wiesen, Felder	1.000 – 3.000
Stadtzentrum	200 – 500
Innenräume	10 – 100

Künstlich erzeugte ionisierte Luft - auch kaltes Plasma genannt - findet bereits in vielen Bereichen der Industrie Anwendung. Am häufigsten ist die Applikation zur Verbesserung der Raumluftqualität sowie im medizinischen Bereich zur Oberflächenentkeimung bekannt. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Elektrofilter, die aus Sprüh- und Niederschlagselektroden bestehen und mit Gleichspannungen von 7-14 kV betrieben werden [3].

Zur Beurteilung der Verfahren ist es wichtig zu wissen, dass bei der Ionisation immer Ozon sowie Sauerstoffradikale entstehen. Deren Konzentration ist vom Energiegehalt der Ionisationsquelle abhängig und kann daher sehr schwanken. Der MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) für Ozon in der Luft beträgt 0,1 ppm (0,2 mg/m<sup>3</sup>).

Bezüglich der Wirkung künstlich erzeugter ionisierter Luft auf Mikroorganismen finden sich ab Ende der 1950er Aufzeichnungen. Erstmals konnte Krüger und sein Team [4, 5, 6] einen Abtötungseffekt auf Bakterien nachweisen und postulierten, dass negative Ionen dafür verantwortlich waren. Weitere Arbeiten auf diesem Feld erfolgten auch von anderen Forscherteams. Dies bzgl. findet sich eine Vielzahl an Literatur bis in die 1970er hinein. Neuere Veröffentlichungen, die dieses Thema wieder aufgriffen, sind erst wieder ab den 2000er Jahren erschienen. Es finden sich Hinweise, dass zur damaligen Zeit die Toxizität von Ozon, welches in hoher Konzentration mit den früheren Ionisatoren gebildet wurde, nicht bekannt war oder unterschätzt wurde. Neue Generationen der Ionisatoren erlauben eine reduzierte wenn nicht sogar repressierte Bildung von Ozon [3].

Mitchell et al. und Arnold und Mitchell [7, 8] untersuchten die Wirkung ionisierter Luft auf pathogene Luftkeime und Edelstahloberflächen in der Geflügelzucht. Sie schrieben ebenfalls den negativ geladenen Ionen die abtötende Wirkung zu, deren Größenordnung bei mehr als

$1 \times 10^6 / \text{cm}^3$  angegeben wurde. Die Ionenerzeugung erfolgte mit einem „Electrostatic Space Charge System - ESCS“ (Anm: eine Art Elektrofilter) bei 25 kV. Sowohl in der Luft als auch auf Edelstahloberflächen konnte mit einer Einwirkzeit von 2-3 Stunden die Staubbelastung um 99,8 % gesenkt werden. Die Keimbelastung an Salmonella enteritidis wurde um mehr als 95 % bzw. um 99,8 % im Falle bakterieller Biofilme reduziert. Wie der Wirkungsmechanismus der negativen Ionen auf die Bakterien ist, konnte nicht erklärt werden.

Shepherd et al. [9] untersuchten die Wirkung negativ geladener Ionen auf Plastikmaterialien im medizinischen Bereich. Erzeugt wurden 28800- 85600 Ionen je  $\text{cm}^3$  mit einem Unipolar-Gleichstromionisator mit einem Elektrodenpotential von 5 kV. Die Ionisierung verursachte eine elektrostatische Aufladung des Plastikequipments mit einem Potential von 100-200 V. Sie folgerten daraus, dass die lang anhaltende abtötende Wirkung darauf zurückzuführen sei. Genaue Aussagen über die Keimreduktion in der Luft oder auf dem Plastikmaterial wurden nicht gemacht.

Fan, L. et al. [10] verglichen in ihrer Arbeit die getrennte und kombinierte Wirkung von Ozon und negativen Luftionen. Die Konzentration von Ozon wurde bei 0,1 ppm (entspricht dem MAK-Wert) und die der negativen Ionen bei ca.  $1 \times 10^6 / \text{cm}^3$  eingestellt. Sie stellten fest, dass nach 11 Stunden Einwirkzeit negative Ionen allein keinen signifikanten Abtötungseffekt auf die Testkeime E. coli, Erw. carotovora und Ps. fluorescens hatten. Ozon dagegen allein bis zu 70 %. Durch eine Kombination beider Verfahren verglichen mit Ozon wurden die Einwirkzeiten für die totale Abtötung für Ps. fluorescens um ca. 75 % sowie für Erw. carotovora und E. coli um ca. 50 % reduziert.

Fan, X. et al. [11] untersuchten ebenfalls die Wirkung negativer Ionen auf E. coli, welches sie auf Samen der Mungbohne sowie auf die Oberfläche von Äpfeln beimpft hatten. Zur Ionisation nutzen sie ebenfalls ein ESCS. Sie stellten fest, dass die Abtötung auf den Bohnensamen nach 18 h Behandlungszeit 40 % und bei den Äpfeln 80 – 90 % betrug. In Kombination mit Aerosolen der Essigsäure und Ozon wurden höhere Abtötungsraten erzielt. Verglichen mit früheren Arbeiten bzgl. Abtötungsversuche von pathogenen Keimen auf Edelstahloberflächen [7] war die Streuung der Ergebnisse relativ hoch. Sie folgerten, dass negative Ionen nur einen limitierenden Effekt auf den Oberflächen der Samen und Früchte hatten.

Filatova und Azharonok et al. [12, 13] zeigten die abtötende Wirkung ionisierter Luft, welche durch hochfrequente Radiowellen (5,28 MHz) und starke elektrische Felder (590 A/m, 12700 V/m) erzeugt wurde. Testoberflächen waren medizinisches Besteck aber auch Pflanzensamen. Auf beiden Oberflächen konnten bereits nach 10 min Behandlungszeit pathogene Keime wie Stämme von Staph. aureus, B. subtilis und Enterobacteriaceen sowie

Schimmelpilze abgetötet werden. Ein weiterer Effekt, den sie fanden, war die Stimulierung des Wurzel- und Blattkeimwachstums, welche bei einer Behandlungszeit von 7,5 min zunahm [12]. Diese Experimente mit gleichem Aufbau setzten sie mit Hülsenfrüchten und Getreidesorten fort und kamen zu ähnlichen Ergebnissen [14]. Sie postulierten, dass der abtötenden Effekt auf negative Ionen und Ozon und der stimulierende Effekt auf das Pflanzenwachstum auf die positiven Ionen zurückzuführen sei.

Bereits in den frühen 1960er veröffentlichten Krüger et al. [15, 16], dass sie während ihrer Experimente mit ionisierter Luft neben dem letalen auch einen stimulierenden Effekt auf Pflanzensamen beobachten konnten. Als Testsamen wurden Echter Hafer und Gerste verwendet, die mit einer Ionendichte von jeweils 5000 bis 5900 positiven und negativen Ionen je  $\text{cm}^3$  vorbehandelt wurden. Während der Wachstumsphase erfolgte eine zusätzliche Behandlung (30 cm über dem Boden) mit jeweils  $1 \times 10^9$  Ionen/ $\text{cm}^3$ . In beiden Fällen wurden bis zu 15 % höhere Keimenergien ermittelt. Später stellten sie fest, dass die Luftionen einen Effekt auf die Bildung des Wachstumshormons Indol-3-Essigsäure hatte [17].

Eine der ersten Anwendungen ionisierter Luft in der Mälzerei veröffentlichten Tipples und Norris 1963 [18]. Sie bestrahlten das Keimgut mit  $\gamma$ -Strahlung bei 18.000 rad und konnten eine deutliche Abtötung der Mikroorganismen feststellen. Die Analyse der Malze ergab eine leicht erhöhte amylolytische Aktivität. Die proteolytischen und cytolytischen Aktivitäten waren hingegen verringert, woraus inhomogene und schlecht gelöste Malze resultierten.

Ress et al. griffen diesen Gedanken Mitte 1980er auf und bestrahlten Gerste und Keimgut mit 0,15 kGy (=15.000 rad) [19]. Die Bestrahlung der Gerste führte zu einer geringeren Keimenergie deutlich am verringerten Wurzelwachstum. Ähnlich wie bei Tipples und Norris 1963 [18] wurden in den Malzen höhere Extraktgehalte und amylolytischen Enzymaktivitäten analysiert sowie etwas geringere proteolytische Enzymaktivitäten verglichen mit den Referenzmalzen. Jedoch wurden hier die Malze als homogen und gut gelöst bewertet.

Neuere Untersuchungen zur Anwendung ionisierter Luft in der Mälzerei haben ihren Fokus auf die Abtötung oder zumindest der Wachstumsinhibierung von Schimmelpilzen.

Kottapalli et al. sahen Ozon als desinfizierende Komponente [20]. Bereits nach 15 min Behandlungszeit wurden bis zu 36 % der Fusarien abgetötet. Im Vergleich wurden mit einer 20-minütigen Einwirkzeit von Wasserstoffperoxid bis zu 98% abgetötet. In der Anwendung beider Verfahren sahen sie ein großes Potential, dem Schimmelpilzwachstum während des Mälzens dramatisch entgegenzuwirken.

Dodd et al. verwendeten ebenfalls Ozon zur Begasung ( $26 \text{ mg/cm}^3$ ) während des Mälzens [21] und ermittelten eine Verringerung der Mykotoxinbildung.

Kottapalli et al. [22] verwendete in einer weiteren Arbeit stufenweise bis zu 10 kGy Elektronenstrahlen zur Desinfektion der Braugerste verwendet. Erst bei

Strahlungsintensitäten von 8-10 kGy konnten auf vorbehandelten Chargen signifikant weniger Bakterien sowie Hefen und Schimmelpilze festgestellt werden verglichen mit unbehandelten Chargen. Somit nahm u.a. der Mycotoxingehalt insbesondere von DON ab. Sie stellten jedoch fest, dass bei der Applikation der Strahlung während des Mälzens ohne vorbehandelte Gerste das Wachstum der Pilze im Vergleich zur Referenz zunahm und folgerten, dass die Strahlung hier einen vitalisierenden Effekt auf die Pilze hatte. Die Malzqualität hingegen schnitt in allen Fällen sowohl bei Vorbehandlung der Gerste als auch bei Anwendung während des Mälzungsprozesses schlechter ab je höher die Strahlendosis war.

Ionisierte Luft zur Desinfektion hat auch bereits Einzug in die Brauerei gehalten. So berichten Liebl et al. von der Anwendung ionisierter Luft für den gesamten Abfüllbereich [23]. Es wurden Anlagen zur Ionisation des Prozesswassers der Flaschenwaschmaschine, des Kastenwaschers, Rinsers sowie des Pasteurs installiert. Des Weiteren fand ionisierte Luft zur Aussendesinfektion der Anlagenteile des Füllers und Verschließers Anwendung. Als Vorteil wurde genannt, dass insbesondere chlorhaltige Desinfektionsmittel sowie Wasser eingespart werden konnte. Die mikrobiologischen Ergebnisse waren einwandfrei, wodurch die Reinigungsintensität verringert werden konnte.

Ionisierte Luft kommt auch bei der Behandlung von Sudhausbrüden zur Verminderung der Geruchsimmission zum Einsatz <sup>[24]</sup>. Ionisierte Luft wird in den Brüdenabluftstrom eingeleitet und reagiert mit den flüchtigen organischen Molekülen, welche während des Würzekochens ausdampfen. Durch den „aktivierten Sauerstoff“ oxidieren diese nahezu vollständig zu Wasser und Kohlendioxid, wobei hier die Sprache von kalter Verbrennung ist.

In beiden genannten Artikeln finden sich keine Angaben zur Charakterisierung der ionisierten Luft bzgl. Ionendichten und / oder Ozonkonzentrationen oder ähnliches.

### Schlußwort

Es sollte gezeigt werden wie breit gefächert die Technik zur Erzeugung ionisierter Luft und deren Applikationsmöglichkeiten sind und, dass sich in Veröffentlichungen zum Thema immer wieder verschiedene Angaben zur Ionenkonzentration bzw. zur Beschreibung der Erzeugung ionisierter Luft mit Angaben in Feldstärken, Strahlung etc. finden. Meist wird zudem auf Angaben zur Ozonkonzentration verzichtet. Ohne Konzentrationsangaben wird oft von aktiviertem Sauerstoff statt von Ozon gesprochen. In Bereichen, wo Menschen arbeiten darf der MAK-Wert von 0,1 ppm nicht überschritten werden.

Die Charakterisierung ionisierter Luft in vielen Veröffentlichungen kann daher meist als unzureichend bezeichnet werden. Eine Beschreibung der ionisierten Luft sollte vielmehr

folgende Angaben enthalten: Konzentrationsbereiche der positiv und negativ geladenen Ionen, Ozonkonzentration, ggf. Strahlungsintensitäten, Luftdurchsatz, Temperatur und Luftfeuchte

#### **4. Durchgeführte Arbeiten und Versuche**

Die Arbeitspakete (AP), wie sie im Projektantrag beschrieben wurden, waren wie folgt:

- AP 1: Voruntersuchung zur Vorbehandlung der Gerste mittels ionisierter Luft
- AP 2: ionisierte Luft zur Vorbehandlung der Gerste
- AP 3: Luftbehandlung – Belüftung während der Weiche
- AP 4: Luftbehandlung – Belüftung während der Keimung
- AP 5: Kombination der verschiedenen Einsatzpunkte bzw. Vertiefung der Untersuchung mit dem vielversprechendsten Ansatz
- AP 6: Luftbehandlung – Umgebungsluft, generelle Verringerung mikrobiologischen Wachstums auf Anlage- und Gebäudeteilen
- AP 7: Maßstabsvergrößerung – Anwendung ionisierter Luft in der Mälzerei

Es muss erwähnt werden, dass die Bearbeitung der oben beschriebenen Arbeitspakete so variiert wurde, dass die Arbeitsschritte 2 – 5 parallel durchgeführt werden konnten. Besonderer Fokus während der Projektzeit war u.a. auch die Variation der Ionisationseinstellungen sowie durch Erkenntnisgewinn erforderliche Umbaumaßnahmen der Teststände. Daher wird die folgende Ergebnispräsentation von Projektphasen eingeteilt.

## **4.1. Projektphase 1 in 2012/13: Konstruktion des Versuchsaufbaus und Vorversuche**

Die Projektphase 1 war der Zeitraum Herbst 2012 bis Herbst 2013. Das bedeutet, dass für diesen Zeitraum drei verschiedene Braugerstenchargen bzw. –sorten aus der Ernte 2012 zur Verfügung standen. Das Erntejahr 2012 galt im Nachhinein als sehr problematisch aufgrund erhöhter Gushing-Potentiale sowohl von Gerste als auch Malz PYF-Potentiale von Malz. Das zeigt sich auch in den Ergebnissen der durchgeführten Versuche.

### **4.1.1.Ziel**

Der Versuchsaufbau sollte mit den zur Verfügung gestellten Ionisationsmodulen so geschaffen sein, dass die gesamte Konstruktion auch annähernd der Praxis entspricht, um daraus später eine Übertragung vom Pilot- in den Industriemaßstab (Scale-up) ableiten zu können. Vorversuche zur Behandlung des Gerstenhaufens sollten zeigen, inwiefern die IL Einfluss auf die Keimruhe und Keimenergie der Gerste hat. Parallel sollte die keimreduzierende Wirkung der IL auf die mikrobiologische Beschaffenheit der Gerste untersucht werden.

Prinzipiell stand die Aufgabe darin, herauszufinden, ob die IL ohne Wirkung des Ozons mit dem gewählten Versuchsbau für Nassweiche und Gerstenvorbehandlung resp. Belüftung während der Keimung keimreduzierende Wirkung besitzt, so wie es in der Literatur beschrieben wurde.

### **4.1.2. Ergebnisse aus Projektphase 1**

#### **4.1.2.1 Versuchsaufbau**

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Bioclimatic wurden die Ionisationsmodule, die sowohl zur Vorbehandlung der Gerste als auch für die Keimung gedacht waren, und das Ionisationsmodul für die Nassweiche so konzipiert, dass die Keim-/Darrtrommeln (Modell VLB Berlin) genommen werden konnten (Abbildung 1).

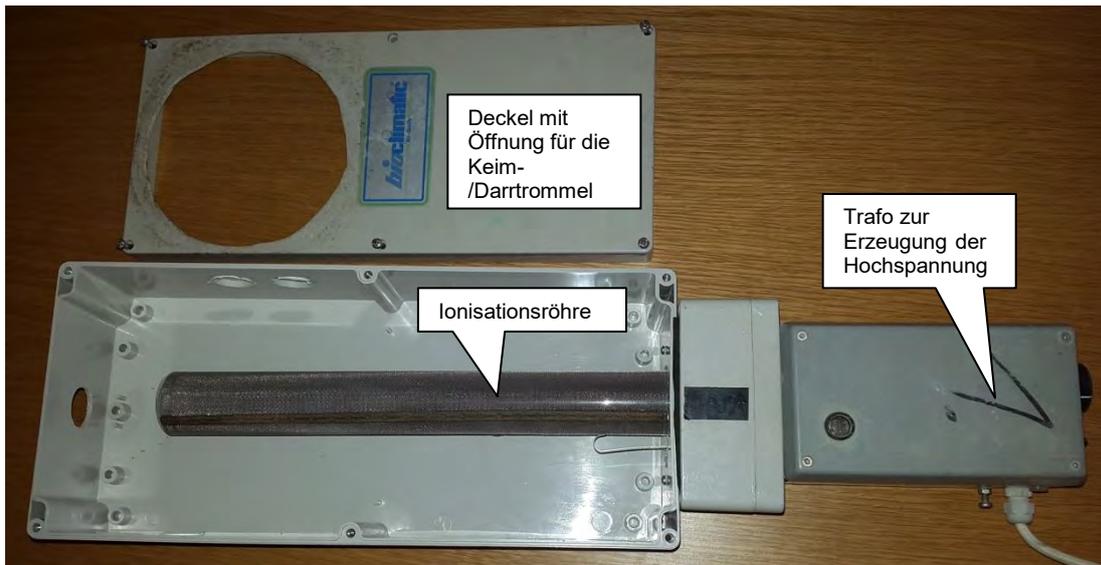


Abbildung 1 Ionisationsmodul mit einer Röhre

Die Ionisationsröhre und der Trafo zur Erzeugung der Hochspannung wurden mit einem Kunststoffgehäuse verbunden. In den Deckel zum Verschließen des Ionisationssystems wurde ein Loch gesägt, so dass der Durchmesser dem der Keim-/Darrtrommel entsprach. Die von unten in das Gehäuse eingeführte Luft strömt entlang der Ionisationsröhre und tritt an der oberen ausgesägten Öffnung wieder aus. Die ionisierte Luft wird demnach von unten in den Gersten- oder Grünmalzhaufen geleitet (Abbildung 2). Die Hochspannung konnte stufenweise von 1250V auf 3000 V eingestellt werden.



Abbildung 2 IL-Modul mit Keim-/Darrtrommel

Um einen hohen Effekt für die Vorbehandlung der Gerste zu erwirken, wurde ein zusätzliches Ionisationsmodul ins System integriert. Die Abbildung 3 zeigt den schematischen Aufbau für die Vorbehandlung der Gerste. Es sei angemerkt, dass dieser Aufbau für die Keimung nicht möglich war.

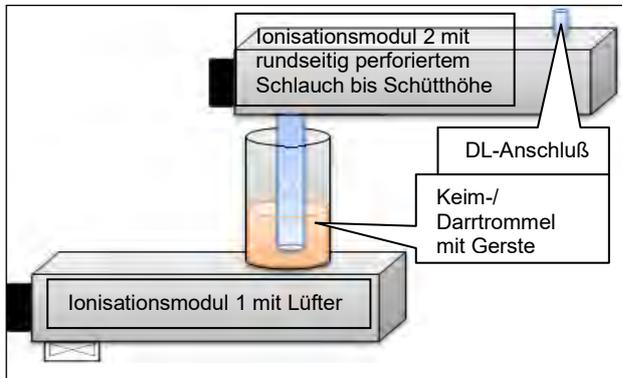


Abbildung 3 Ionisationsmodul für die Vorbehandlung der Gerste

Des Weiteren diente das in Abbildung 3 als Modul 2 bezeichnete Gerät für die ersten Versuche zur Belüftung in der Nassweiche (Abbildung 4).



Abbildung 4 Ionisationsmodul System 1 für die Belüftung der Nassweiche

In der Projektphase 2 stand ein optimiertes Ionisationsmodul für die Nassweiche zur Verfügung (siehe 4.2).

#### 4.1.2.2 Bestimmung der Ionendichte

Die Ionendichte oder Ionenkonzentration in  $[p^+/cm^3]$  bzw.  $[e^-/cm^3]$  wurde mit dem Ionenzählgerät Modell IM 806 der Fa. Umweltanalytik Holbach GmbH bestimmt. Die Kationen und Anionen je  $cm^3$  konnten jedoch nur in der gemessen werden. Eine direkte Messung der Ionen in Wasser war mit diesem Gerät nicht möglich. Daher wurde angenommen, dass die aus dem Ionisator ausströmenden Ionen in die Nassweiche, die gleiche Konzentration hatten, wie sie im „trockenen Zustand“ gemessen wurden. Da die Ionendichte abhängig von der Hochspannung ist, wurden die Einstellungen für die Hochspannungen von 1250 V bis 3000 V variiert (Abbildung 5). Der Messpunkt zur Bestimmung der Ionendichte war direkt am Austritt des Ionisators. Dieser war ca. 2,5 cm über der Ionisationsröhre. Parallel wurde die Ozonkonzentration gemessen.

Erst ab einer Spannung von 2000 V wurden mehr als 100.000 Kat- und Anionen gemessen. Des Weiteren lässt sich ein linearer Anstieg der Ionendichte ab dieser Spannung bis hin zu der maximal einstellbaren Hochspannung von 3000 V erkennen. Hier konnten bis zu ca. 650.000 Kat- und Anionen je  $cm^3$  gemessen werden. Die Temperatur betrug  $20^\circ C$  bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60 %. Die Messdauer war jeweils 3 min.

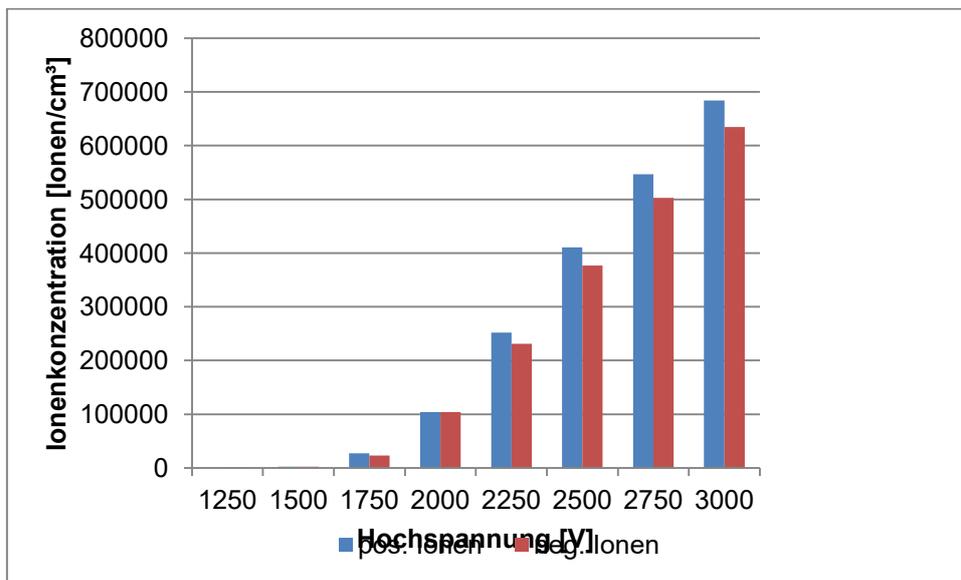


Abbildung 5 Ionenkonzentration in Abhängigkeit von der Hochspannung bei  $20^\circ C$ , rH 60%

Bei den zur Verfügung stehenden Modulen handelte es sich um unregelte Ionisatoren. Das heißt, dass die Ionisation stetig war unabhängig von der Ozonkonzentration. Geregelte Ionisatoren schalten bei gewählten erreichten Ozongrenzwerten (meistens der MAK-Wert  $<0,1$  ppm) ab bzw. regulieren die Hochspannung. Während der Bestimmung der Ionendichten schwankten daher die Ozonwerte drastisch von 0,05 bis 3,0 ppm je länger die

Messungen dauerten. Diese schwankenden Ozonkonzentrationen lassen sich aber auch dadurch erklären, dass die erzeugten Ionen keine Reaktionspartner hatten. Denn ohne Reaktionspartner, nämlich Partikel jeder Art, neigen erzeugte Luftionen dazu mit sich selbst zu reagieren, wobei zwangsläufig Ozon entsteht (siehe Kap. 3).

Eine weitere Versuchsreihe zur Bestimmung der Ionenkonzentration in Abhängigkeit von der Hochspannung war die Messung in der Keimkammer bei 14°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 75 % (Abbildung 6). Vergleicht man die Abbildung 5 mit Abbildung 6, erkennt man, dass bei geringerer Temperatur und höherer Luftfeuchte die Ionendichte um gut die Hälfte geringer war trotz gleicher eingestellter Hochspannung. Erstaunlich war, dass die Ozonkonzentration bei jeder Messung <0,1 ppm war. Das bestätigt die Theorie, dass unter diesen Bedingungen, nämlich erhöhte feuchte Luft, die Wassertropfen Reaktionspartner für die Ionen waren und somit der Ozonbildung entgegenwirkten.

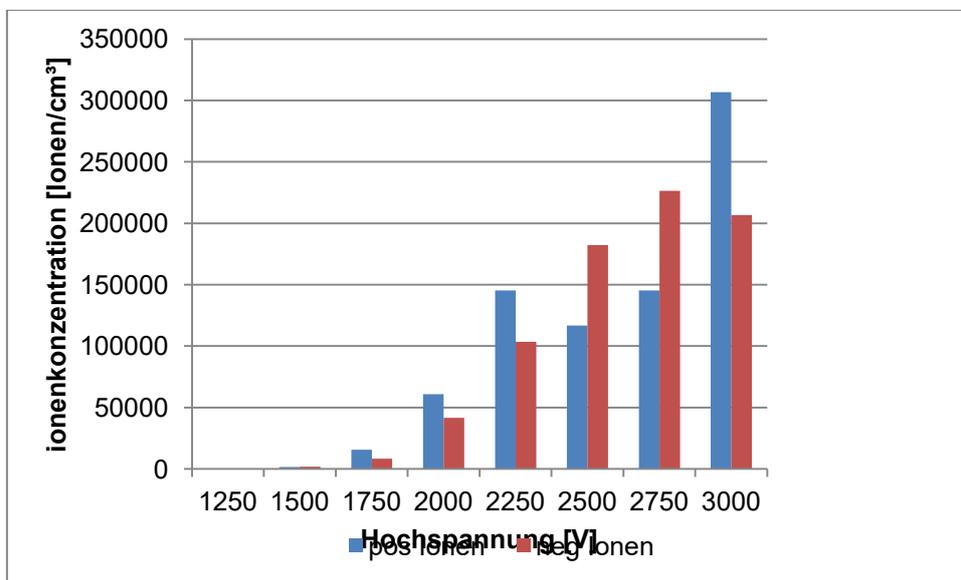


Abbildung 6 Ionenkonzentration in Abhängigkeit von der Hochspannung bei 14°C, rH 75 %

#### 4.1.2.3 Bestimmung des Ionengradienten im Gersten- und Malzhauten

Aus der Theorie ist bekannt, dass erzeugte Luftionen sehr reaktiv sind und sich an Oberflächen jeder Art abreagieren. Daher stellte sich die Frage, wie weit die ionisierte Luft den Gerstenhaufen während der Vorbehandlung bzw. den Grünmalzhauten während der Keimung durchdringt. Abbildung 7 zeigt beispielhaft die drastische Abnahme der Ionendichte über dem Haufen bei 3000 V. Ab einer Schütthöhe von 10 mm war die Ionendichte bereits jeweils kleiner als 100000 je cm<sup>3</sup>.

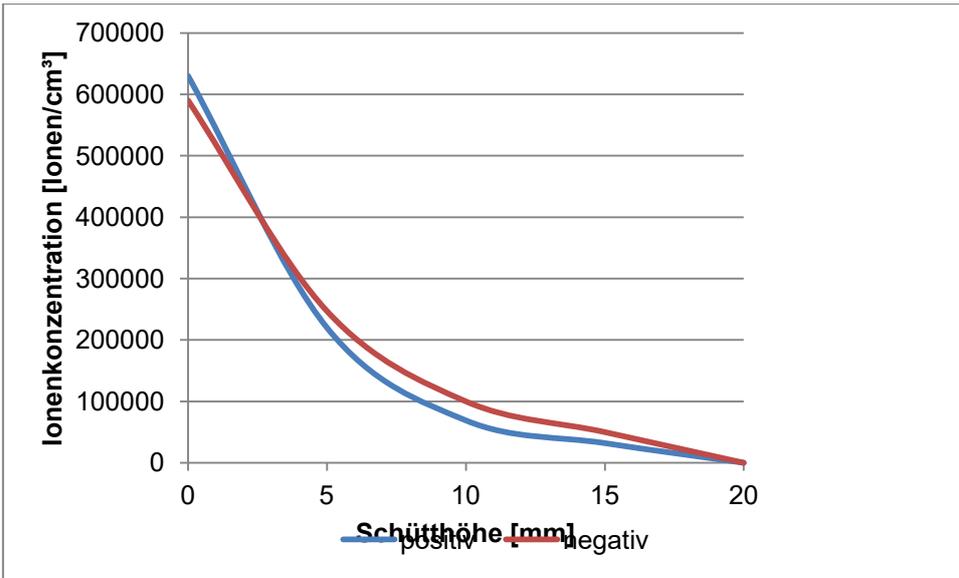


Abbildung 7 Abnahme der Ionenkonzentration in Abhängigkeit der Schütthöhe [Ionen/cm<sup>3</sup>]

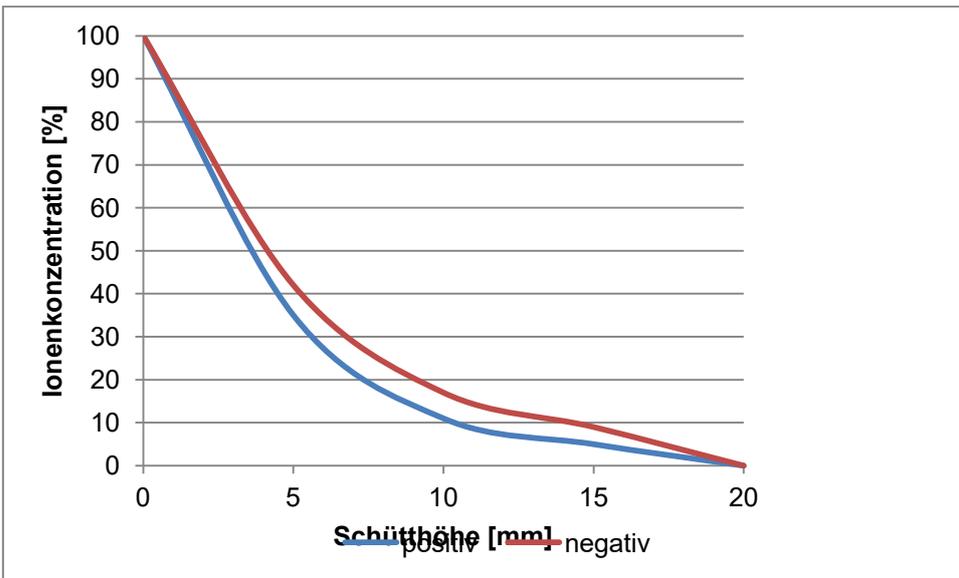


Abbildung 8 Prozentuale Abnahme der Ionenkonzentration in Abhängigkeit von der Schütthöhe [%]

Noch anschaulicher ist die Darstellung der prozentualen Abnahme (Abbildung 8), wobei der Wert 100 % die Ionendichte im leeren Behälter war. Bereits bei einer Schütthöhe von gerade einmal 5 mm war die Abnahme um mehr als 50 %! Ab 20 mm Schütthöhe konnten keine Ionen mehr detektiert werden.

Ähnliche Verläufe konnten auch bei Variation der Hochspannungen festgestellt werden (nicht dargestellt).

#### **4.1.2.4 Vorbehandlung der Gerste mit IL und Auswirkung auf Keimruhe und Keimenergie**

Aufgrund der vorangegangenen Untersuchungen und deren Ergebnisse über die Gradientenbestimmungen der Ionen im Haufen, wurde festgelegt, dass während der Vorbehandlungen der Gersten der Haufen mehrmals manuell umgewälzt wird. Das wurde bei allen Versuchen so beibehalten. Es wurden jeweils 900 g Gerste eingewogen, woraus sich eine Schütthöhe von ca. 6 cm ergab. Die Hochspannung für die Ionisation wurde stufenweise von 2000 V auf 3000 V erhöht. Die Behandlungszeiten wurden wie folgt variiert: 15 min, 30 min, 60 min, 120 min, 180 min, 240 min, 360 min. Die Versuche wurden als Doppelbestimmung durchgeführt.

Eine Überwindung der Keimruhe konnte in keinem Fall festgestellt werden. Des Weiteren wurde die Keimenergie weder positiv noch negativ durch die Vorbehandlung mit ionisierter Luft beeinflusst.

#### **4.1.2.5 Vorbehandlung der Gerste mit IL und Auswirkung auf die Mikrobiologie**

Vorversuche zeigten, dass die Mikroflora des Korninneren der Gerste weder von der ionisierten Luft noch von ionisierter Luft mit erhöhter Ozonkonzentration ( $>0,5$  ppm) beeinflusst wurde. Somit wurde das Wirkungsspektrum der ionisierten Luft stark eingeschränkt. Dennoch war der Fokus, inwiefern wenigstens die äußere Mikroflora der Gerste reduziert werden könnte. Die drei verwendeten Gerstenchargen / -sorten waren unterschiedlich mit Schimmelpilzen und Hefen befallen. Daher wurden Anstrengungen vorgenommen, die Gersten zusätzlich mit einer reinen Sporensuspension des Schimmelpilzes *Fusarium culmorum*, welcher natürlich auch auf der Gerste vorkommt, zu kontaminieren. Die Gerstenchargen wurden anonymisiert und werden im Folgenden nur als a, b und c bezeichnet.

Die Vorbehandlung der Gersten mit ionisierter Luft zur Reduzierung der Mikroflora wurde analog den Versuchen bzgl. des Einflusses auf Keimruhe und Keimenergie durchgeführt (Kap. 4.1.2.4). Jedoch wurde die Hochspannung auf 3000 V festgelegt, da bei dieser Einstellung die höchsten Ionenkonzentrationen gemessen und somit die größten Keimreduktionen erwartet wurden.

Es zeigte sich, dass erst ab einer Behandlungsdauer von 120 min eine tendenziell Keimreduktion stattfand. Diese Keimreduktion muss jedoch als nicht signifikant beurteilt werden. Zumal die Schwierigkeit darin bestand diese in Zahlen wie [KBE/ml] zu beziffern, da Überwucherungen der Kulturen auf dem KDA-Agar das Erkennen der Keimherde

erschwerte. Unmöglich war es jedoch nicht wie beispielsweise in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

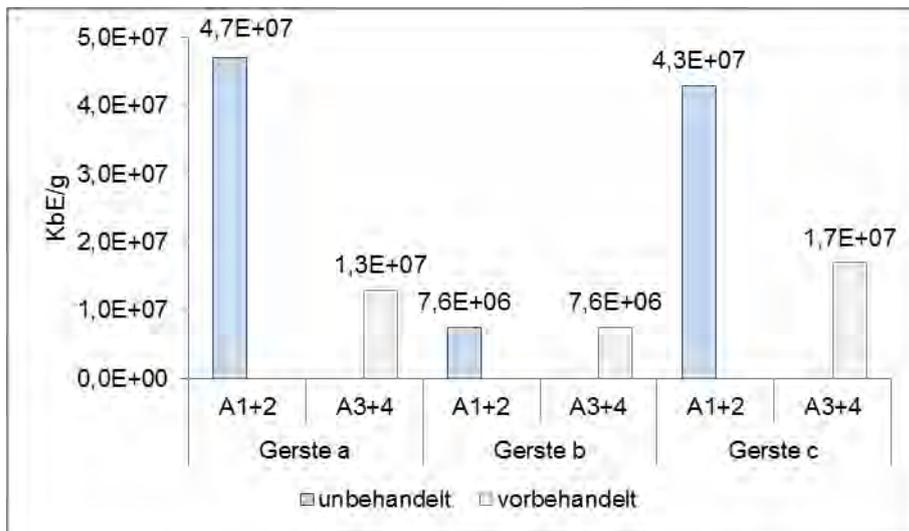


Abbildung 9 Unbeimpfte Gersten IL-Vorbehandlung vs. Normale Belüftung

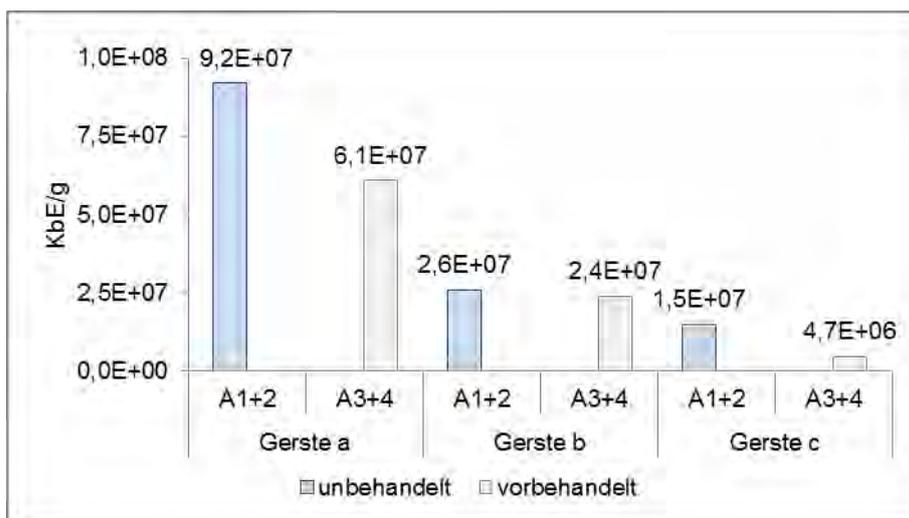


Abbildung 10 Beimpfte Gerste IL-Vorbehandlung vs. Normale Belüftung

Der Vergleich beider Abbildungen macht auch deutlich, dass die Wirkung der IL stark vom Grad der Kontaminierung abhing.

Jedoch konnte die Keimreduktion in vielen Auswertungen partiell visuell wahrgenommen werden. Beispielhaft zeigen das die Fotos in Abbildung 11. Als Ursache für die kann eine sehr heterogene Verteilung der Mischkulturen bestehend aus verschiedenartigen Hefen und Schimmelpilzen im Waschwasser aus der Kornwaschmethode angenommen werden.

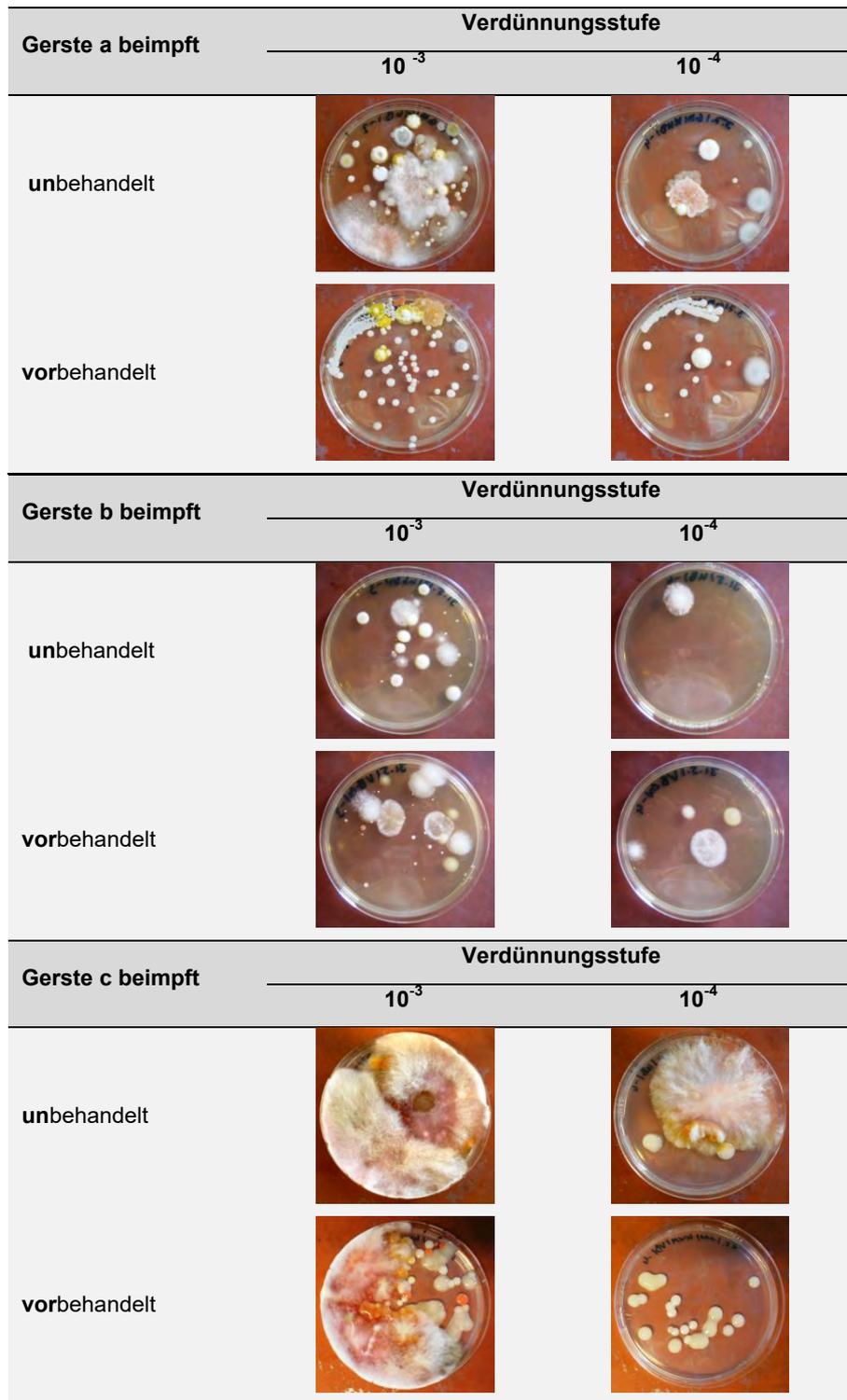


Abbildung 11 Vergleich der Mikroflora nach Belüftung mit und ohne IL nach 120 min

Die beimpften Gersten wurden zur Vorbehandlung 120 min mit IL beaufschlagt und mit den unbehandelten Proben verglichen. Auf den meisten KDA-Platten wurden Schimmelpilz-

Kolonien mit rosa Substratmycel beobachtet. Dies war ein Hinweis dafür, dass es sich hierbei um *Fusarium culmorum* handelte. Jedoch konnte diese Annahme nicht eindeutig bestätigt werden.

#### *Versuchsauswertung der Gerste a beim pft*

Es wurden zwei Verdünnungsstufen der vorbehandelten und unbehandelten Gerste gegenüber gestellt. Zunächst wurde, wie zu erwarten war, in der unbehandelten Probe der  $10^{-4}$ -Verdünnung weniger Schimmelpilzwachstum nachgewiesen, als in der  $10^{-3}$ -Verdünnung. Dieses Ergebnis wurde mit der vorbehandelten Probe nicht bestätigt. Hier wurden in beiden Verdünnungsstufen ebenso viele Schimmelpilze detektiert. Im Vergleich der  $10^{-3}$ -Verdünnung der unbehandelten Probe mit der der vorbehandelten Probe, unterschied sich das makroskopische Bild in der Art sowie der Anzahl der Mikroorganismen. Während in der unbehandelten Probe das Wachstum von mindestens vier verschiedenen Schimmelpilz-Arten beobachtet werden konnte, überwog in der vorbehandelten Probe hingegen das Hefewachstum. Die  $10^{-4}$ -Verdünnung zeigte sowohl in der unbehandelten sowie in der vorbehandelten Probe Schimmelpilzwachstum. Während in der unbehandelten Probe eine Schimmelpilzkolonie mit leicht rosa gefärbtem Substratmycel zu erkennen war, konnte diese Art Schimmelpilz in der vorbehandelten Probe nicht festgestellt werden. Ob es sich bei dieser Kolonie um *Fusarium* handelte, konnte nicht einwandfrei überprüft werden. Eine reduzierende Wirkung der IL auf Schimmelpilze während der Vorbehandlung konnte in diesem Fall nicht bestätigt werden.

#### *Versuchsauswertung der Gerste b beim pft*

Sowohl in den Verdünnungsstufen der unbehandelten, als auch in den Verdünnungsstufen der vorbehandelten Proben, war eindeutig Schimmelpilzwachstum zu erkennen. Neben den leicht rosa gefärbten Kolonien, die auch schon auf Gerste a unbehandelt detektiert wurden, hatten sich weitere Schimmelpilze etabliert. Auch hier ist es schwierig eine Aussage über die Auswirkung der IL auf Schimmelpilze zu treffen. Die Einwirkung IL während der Vorbehandlung zeigte im Vergleich zur unbehandelten Probe keine bedeutende Veränderung im Schimmelpilzwachstum.

#### *Versuchsauswertung der Gerste c beim pft*

Die Ansätze der jeweils gleichen Verdünnungsstufe der unbehandelten und der vorbehandelten Proben wurden miteinander verglichen. Es war zu beobachten, dass sowohl die unbehandelte als auch die vorbehandelte Probe von einer Schimmelpilz-Art dominiert

wurde. Möglicherweise handelte es sich aufgrund des charakteristischen makroskopischen Bildes um *Fusarium*. Um diese Aussage bestätigen zu können, sollten weitere Analysen erfolgen. In der unbehandelten Probe war in den Verdünnungsstufen  $10^{-3}$  und  $10^{-4}$  sowohl Hefe- als auch Schimmelpilzwachstum zu erkennen. Die vorbehandelte Probe hingegen zeigte nur in der  $10^{-3}$ -Verdünnung Schimmelpilzwachstum. In der nächst höheren Verdünnungsstufe ( $10^{-4}$ ) waren in der vorbehandelten Probe nur noch Hefekolonien zu finden. Offen bleibt, ob die Reduktion des Schimmelpilzwachstums auf den Effekt der IL zurückzuführen ist, oder ob durch das schnelle Wachstum der Hefekolonien das Wachstum von Schimmelpilzen auf der vorbehandelten Probe unterdrückt wurde. Zudem ließ sich eine Agglomeration der Sporen aufgrund der dicht gepackten Kolonien in der  $10^{-3}$ -Verdünnung sowohl auf dem unbehandelten als auch vorbehandelten Ansatz erkennen.

#### *Fazit aus Vorbehandlung der Gerste mit IL*

In der Ausführung wurden beispielhaft einige Ergebnisse nach einer 120-minütigen Vorbehandlungszeit mit IL gezeigt. Die in Abbildung 11 gezeigten Fotografien der KDA-Platten geben aber auch Rückschlüsse darauf, dass die Wirkung der IL vom mikrobiologischen Befall der Gerstencharge abhängig war. Das heißt, dass zusätzlich beimpfte und damit stärker mikrobiologisch belastete Gersten eine weitaus geringere Keimreduzierung erfuhren. Außerdem unterlagen die erreichten Ergebnisse einer sehr großen Streubreite, was eine statistische Beurteilung der Keimreduzierung nicht möglich machte. Des Weiteren können aber die schwankenden Effekte der IL mit der ineffizienten Durchdringung im Gerstenhaufen sein (siehe Gradientenbestimmung). Trotz mehrmaligen manuellen Umwälzens alle 10 min scheint nur eine geringe Partie des Haufens mit IL behandelt worden sein.

Nicht weiter aufgeführt sind die Ergebnisse nach mehr als 120 min Vorbehandlung. Das hat zum Grund, dass bei längeren IL-Behandlungszeiten die Ozonkonzentrationen dramatisch stiegen bzw. unstetig zwischen 0,1 und >3,0 ppm schwankten. Es soll an dieser Stelle nochmals erwähnt werden, dass die Ionisationsmodule unreguliert waren und keinen Ozonfilter besaßen. Da die stark oxidierende und keimreduzierende Wirkung von Ozon hinlänglich bekannt ist, das aber nicht Bestandteil dieser Forschungsarbeit sein sollte, wird hier auf die komplette Ergebnisdarstellung verzichtet.

Es muss aber auch angenommen werden, dass die gezeigten Ergebnisse der (tendenziellen) Keimreduktion nach 120-minütiger Vorbehandlungsdauer von partiell höheren Ozonkonzentrationen beeinflusst wurden.

#### 4.1.2.6 Anwendung ionisierter Luft in einer Sporensuspension mit *Fusarium culmorum*

Aufgrund der schwankenden Ergebnisse in der Vorbehandlung der Gerste sollte nun untersucht werden, inwiefern ionisierte Luft überhaupt keimreduzierende Wirkung hat, wie es in der Literatur beschrieben wurde. Als Testkeim wurde ebenfalls der Schimmelpilz *F. culmorum* gewählt, da dieser häufig und typischerweise auf befallener Gerste zu finden ist. Für diese Versuchsreihe wurden 500 ml Sporensuspension in den Weichbehälter (Kap. 4.1.2.1) gegeben. Die IL wurde über eine vorgeschaltete Ionisationskammer (mit Ionisationsröhre, mit perforiertem Schlauch) in den Weichbehälter eingeleitet. Die Behandlungsdauer wurde für 120 min festgelegt, da auch hier längere Zeiten zu erhöhter Ozonbelastung führten. Die Hochspannung für die Ionisation betrug 3000 V. Während der Behandlungszeit wurde parallel Ozon in der Nähe des Ionisationsmoduls gemessen. Die Ozonkonzentrationen waren <0,1 ppm. Als Vergleich wurden 500 ml der gleichen Sporensuspension nur mit Druckluft belüftet. Abbildung 12 zeigt beispielhaft das Wachstum des Schimmelpilzes nach dem Ausplattieren und inkubieren auf KDA. Wie bereits vormals beschrieben, gestaltet sich die Auswertung der Schimmelpilze auf Agar-Platten als KBE / ml aufgrund der Mycelbildung und Überwucherung der Platte als schwierig. Dennoch erlaubt eine einfache Betrachtung der KDA-Platten eine empirische Aussage. Die mit IL belüftete Sporensuspension zeigte in der Verdünnungsstufe  $10^{-2}$  mehr als die Hälfte geringeres Wachstum als die mit Druckluft behandelte Lösung. Ab einer Verdünnungsstufe weiter war bereits keine Kolonie gewachsen aus der IL-behandelten Suspension. Dagegen zeigte sich bei der Referenz noch Wachstum bei einer Verdünnung von 1:10000. Wiederholungsversuche zeigten ähnliche Ergebnisse (nicht dargestellt). Somit konnte ein keimreduzierender Effekt der IL mit diesem Modul nachgewiesen werden.

Versuch	Verdünnung		
	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
Sporensuspension IL*: 120 min			
Sporensuspension DL**: 120 min			
*IL=Ionisierte Luft			
**DL=Druckluft			

Abbildung 12 Behandlung einer Sporensuspension *F. culmorum* mit IL

#### 4.1.2.7 Anwendung ionisierter Luft in Prozessschritten der Mälzerei

In diesen Versuchsreihen standen vier Ionisationsmodule wie in Kapitel 4.1.2.1 beschrieben zur Verfügung. Daher wurden mehrere Anwendungen der IL in den Prozessschritten kombiniert. Die Versuchsmatrix zeigt Tabelle 2. Ansatz 1 ist als Referenz-Mälzung zu verstehen ohne jeglichen Einsatz der IL. Im Ansatz 2 erfolgt der Einsatz in der ersten und zweiten Nassweiche. Die Anwendung der IL in den „Trockenphasen“ des Mälzungsprozesses, nämlich während Vorbehandlung, Trockenweiche und Keimung, wurde im Ansatz 3 durchgeführt. Im Ansatz 4 wurde in allen Produktionsschritten mit IL belüftet.

Tabelle 2 Versuchsmatrix Anwendung IL in der Mälzerei (Pilotmaßstab)

Ansatz	Vorbehandlung 120 min	1. Nass- weiche 5 h	Trocken- Weiche 18 h	2. Nass- weiche 3 h	Keimung 5 d
1	0*	DL**	Lüfter	DL	Lüfter
2	0	DL	IL	DL	IL
3	IL***	DL	IL	DL	IL
4	IL	IL	IL	IL	IL

\*0 = kein Einsatz  
 \*\*DL = Druckluft  
 \*\*\*IL = Ionisierte Luft

Da es zunächst galt herauszufinden, ob IL eine Wirkung auf den Außenbesatz der Gerste besitzt, wurde die Einstellung des Luftstroms so gewählt, dass eine maximale Ionendichte produziert wurde. Die verwendeten Luftströme entsprachen somit nicht der Praxis. Exemplarisch sind in Abbildung 13 die Weichgrade dargestellt. Die Werte wurden jeweils alle 24 h am Morgen des Tages ermittelt. Es ist zu erkennen, dass der etwas höhere Luftstrom zu einer Austrocknung des Haufens über Nacht führte und die Weichgrade daher schwankten. Im Laufe des Tages wurden die Chargen regelmäßig auf den gewünschten Weichgrad von 45 % aufgespritzt. Dennoch lässt sich ein Phänomen beobachten. Die intensiver mit IL behandelten Haufen bzw. Ansätze 3 und 4 neigten zu stärkeren Wasserverlust. Demnach hatte es den Anschein, dass die IL Einfluss auf die Verdunstung des Wassers des Kornäußeren hatte.

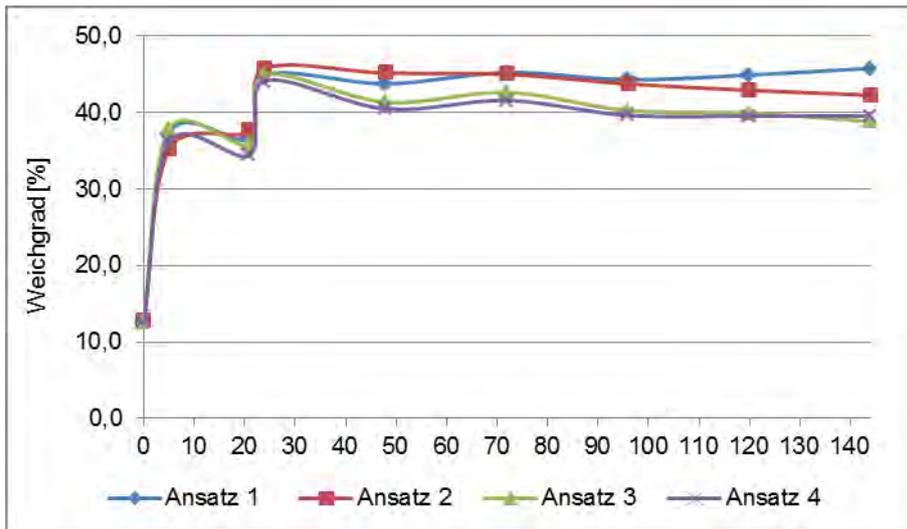


Abbildung 13 Mittelwertvergleich der Weichgrade während des Mälzens

Auch in diesen Testreihen wurden die Versuche mit sowohl unbeimpfter als auch beimpfter Gersten a, b und c durchgeführt.

Für die Nassweichen wurde jeweils Frischwasser verwendet.

#### 4.1.2.7.1 Einfluss der ionisierten Luft auf die Mikrobiologie des Weichwassers und Malzes

Die Abbildung 14 sowie Abbildung 15 zeigen die Zusammenstellungen der ersten und zweiten Nassweiche von den verwendeten Gerstenchargen, die, wie zuvor beschrieben, unbeimpft als auch beimpft vermälzt wurden.

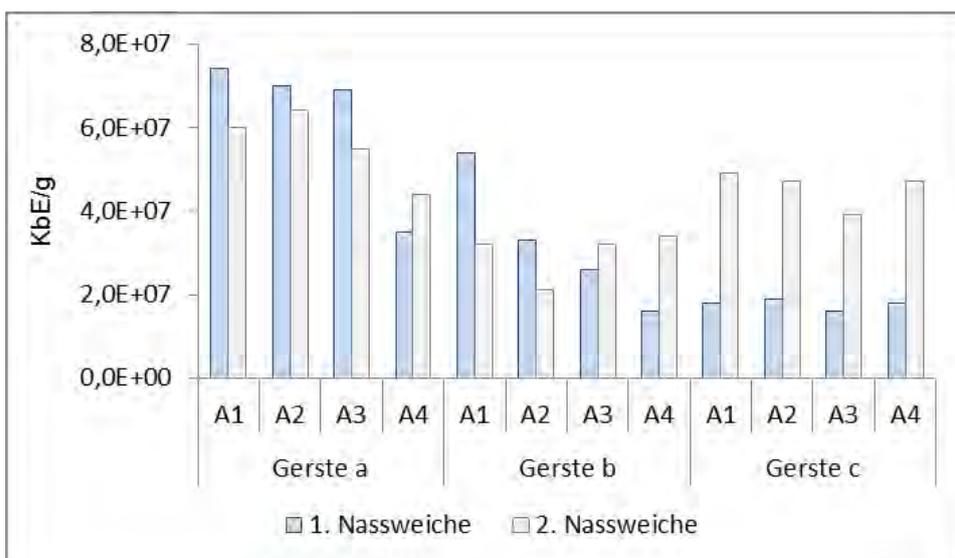


Abbildung 14 Vergleich Nassweichen bei unbeimpfter Gerste (n=12)

Die Untersuchungen des Weichwassers bei Verwendung „normaler“ Gerste zeigte nur tendentiell erwartungsgemäß, dass die mikrobiologische Belastung der zweiten Nassweiche geringer als die der ersten war. Vergleicht man die drei Gerstenchargen miteinander, können nicht eindeutige Aussagen über Auswirkungen der IL auf die Mikroflora gemacht werden. Bei der Vermälzung der Gerste a gab es keine signifikanten Unterschiede in der Weichwasserqualität. Lediglich die Vollbehandlung mit IL (Ansatz 4) zeigte eine abfallende Tendenz. Im Wasser der ersten Nassweiche der Gerste b konnte mit zunehmender Intensität der IL eine Abnahme der Keimbelastung erreicht werden. Die Keimreduktion von A1 zu A4 betrug fast eine log-Stufe.

Erstaunlich ist, dass die Versuchsreihen mit der Gerstencharge b und c starke Ausnahmen bildeten. In den Tests mit der Gerste c war die Keimbelastung der zweiten Nassweiche immer im Mittel um das Doppelte höher als die der ersten. Ähnliches Bild zeigte der Vergleich der Gerste b, wenn verstärkt IL im Mälzungsprozess angewendet wurde (Vergleich Ansatz 3 und 4). Es hatte hier den Anschein, dass die IL-Behandlung eher positive Auswirkungen auf das Wachstum der Mikroflora hatte.

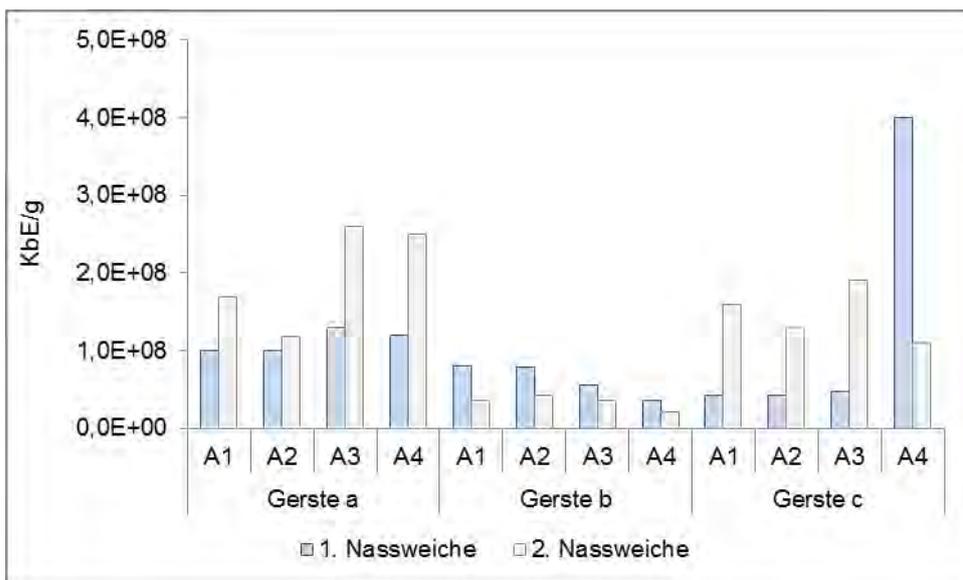


Abbildung 15 Vergleich Nassweiche bei beimpfter Gerste (n=12)

Die zusätzlich gezielte Kontamination der Gersten mit Sporensuspension des Schimmelpilzes *F. culmorum* brachte auch eine höhere Belastung des Weichwassers mit sich. Jedoch bei Betrachtung der Abbildung 15 lassen sich hier keine Rückschlüsse auf die letale Wirkung der IL ziehen. Lediglich bei in den Analysen der Weichwässer der kontaminierten Gerste b lassen sich Tendenzen erkennen. Es ist ein ähnliches Bild wie bei der unbeimpften Gerste b. In den Weichwässern der Gerste a und c wurde kein Abtötungseffekt der IL beobachtet. Im Gegensatz dazu wurde eine erhöhte Keimbelastung

jeweils in dem Wasser der zweiten Nassweiche festgestellt. Dieses Phänomen zu erklären, ist wage. Jedoch kann man auch hier mutmaßen, dass die IL einen positiven Effekt auf die Mikroorganismen hatte.

#### 4.1.2.7.2 Einfluss der ionisierten Luft auf die Malzqualität

Im Folgenden sollen exemplarisch einige Malzanalysen dieser Testreihen gezeigt werden.

##### Gushing

Eine Gerste oder ein Malz gilt als Gushing-auffällig, wenn die im Labor bestimmten Gushing-Potentiale also die Überschäummenge größer 10 g je Flasche beträgt. Mengen größer als 30 g sind bereits sehr kritisch [MEBAK Band II Rohstoffe S. 260-262].

Die meisten Gersten des Erntejahres 2012 zeigten vorweg hohe Gushing-Potentiale mit 100 g je Flasche und sogar mehr [VLB interne Ergebnisse aus dem FIR, nicht veröffentlicht]. Die in diesen Versuchsreihen verwendeten Gersten nahmen sich hier nicht aus. Die Gushing-Potentiale der Gersten war im Mittel 120 bis 170 g je Flasche (nicht dargestellt). Abbildung 16 zeigt die Mittelwerte der Überschäummenge der produzierten Malze. Wie man sieht, hatte der Einsatz der IL in den Prozessen der Mälzung keinen signifikanten Einfluss auf das Gushing-Potential. Es trat keine wesentliche Veränderung auf resp. konnte keine Verringerung mit dem Einsatz der IL erreicht werden. Einzige Erkenntnis ist, dass mit zusätzlicher Beimpfung der Gersten mit Fusarium-Schimmelpilz Gushing induziert werden konnte. Somit scheint es bestätigt, dass tatsächlich *F. culmorum* ein Verursacher des Gushingphänomens ist.

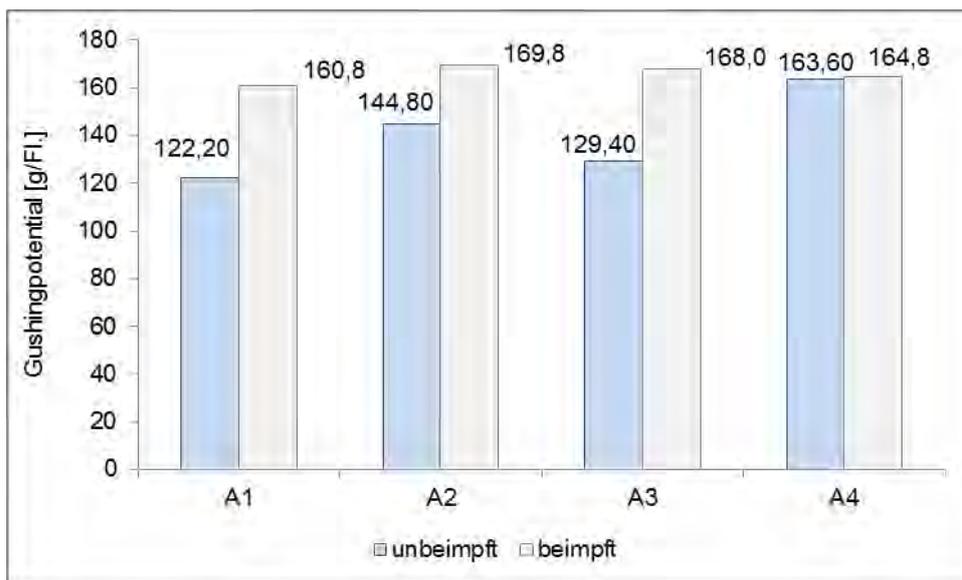


Abbildung 16 Gushing-Potentiale der Malze aus 2012

## PYF

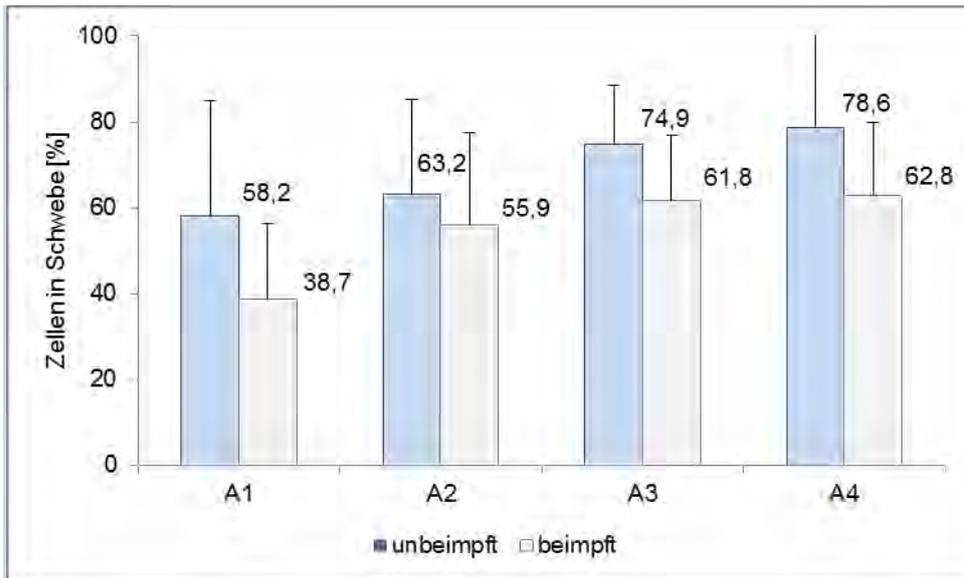


Abbildung 17 PYF-Potential der Malze aus 2012

Anders als im Fall der Gushing-Potentiale kann bzgl. der PYF-Potentiale ein positiver Effekt der IL mit gesteigerter Anwendung im Mälzungsprozess festgestellt werden. Die dargestellten Ergebnisse in Abbildung 17 deuten aber auch eine große Streuung an, die einen signifikanten positiven Einfluss der IL nicht erkennen lässt. Daher kann hier nur von einer Tendenz gesprochen werden. Man muss hier kritisch hinterfragen, inwiefern die schwankenden, höheren Ozonkonzentrationen während der Ionisation in der Keimung Einfluss hatten. Ein weiterer Faktor könnten die schwankenden Weichgrade bzw. stärkeres Austrocknen der Spelzen sein (siehe 4.1.2.7).

## Zytolyse

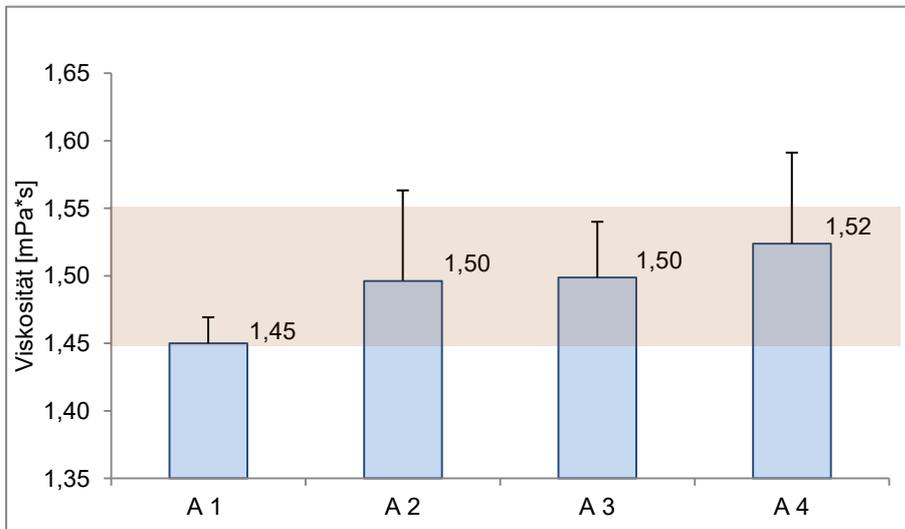


Abbildung 18 Viskosität der Malze 2012

In Bezug auf die Beurteilung der Viskosität der Kongresswürze heller Malze wird für gewöhnlich ein Schwankungsbereich von 1,45 bis 1,55 mPas toleriert. Dieser Optimalbereich wurde in Abbildung 18 rötlich markiert. Die ermittelten Viskositäten der Ansätze 1-4 lagen mit 1,45-1,52 mPas im Bereich des Normalen. Da alle Werte unter 1,53 mPas lagen, galten die Ergebnisse aller vier Ansätze als sehr gut. Anhand der niedrigen Viskositäten war zu erkennen, dass es sich um gut gelöste Malze handelt. Somit ist sowohl eine gute Extrahierbarkeit als auch eine gute Auslaugung gewährleistet. Mit dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, dass IL keinen hemmenden Einfluss auf die zytolytischen Enzyme hatte.

### *Friabilimeter*

Die Friabilimeterwerte sollten laut Literaturangaben zwischen 80 und 90 % liegen (Abb.: 20; rötlicher Bereich). Beim Mittelwertvergleich der Ansätze 1 bis 4 wurde der mögliche Einfluss IL auf die Mürbigkeit untersucht. Ansatz 1 und Ansatz 2 lagen mit 89,8 und 81,8 % im Normalbereich. Die Differenz zu Ansatz 3 und Ansatz 4 betrug ca. 13 %.

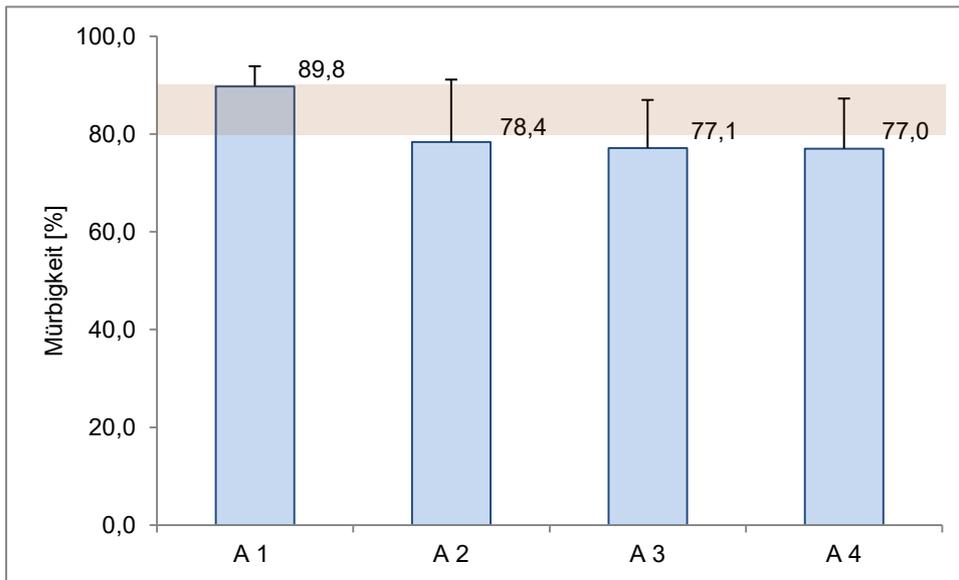


Abbildung 19: Mittelwertvergleich der Friabilimeterwerte der unbeimpften Gerste

Die ermittelten Friabilimeterwerte der Ansätze 3 und 4 lagen somit etwas unter dem gewünschten Normalbereich, was für eine schlechtere Lösbarkeit dieser beiden Malze bzw. eine schlechtere Zellwandauflösung durch  $\beta$ -Glucanase spricht. Dieses Ergebnis deckte sich mit den Analyseergebnissen der Extraktendifferenz. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass dieses Resultat noch nicht statistisch belegt werden konnte. Zudem war die Standardabweichung der Ansätze 2-4 sehr hoch, was auf ein inhomogenes Produkt hindeuten ließ. Im Gegensatz zur Viskositätsbestimmung waren die Ergebnisse der Friabilimeter-Werte nicht zufrieden stellend, wobei die Ergebnisse dieser beiden Parameter gemäß Literaturangaben in engem Zusammenhang stehen. Ob eine Korrelation zwischen Friabilität und der Anwendung IL besteht, konnte bis dato nicht vollständig geklärt werden.

Allein aus den Ergebnissen der Mürbigkeit lassen sich keine Rückschlüsse auf die zytolytische Enzym-Aktivität erzielen. Hierzu muss der Anteil der ganzglasigen Körner bestimmt werden, um eine Aussage über die  $\beta$ -Glucan-Konzentration treffen zu können. In weiteren Untersuchungen wurde somit der Anteil (in Prozent) an ganz- sowie teilglasigen Körnern bestimmt.

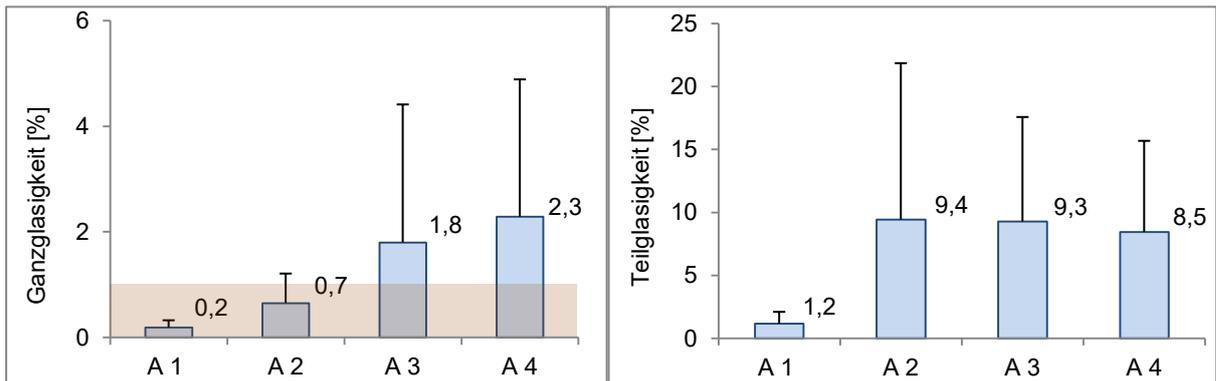


Abbildung 20: Mittelwertvergleich der Ganzglasigkeit (li.) und Teilglasigkeit (re.) der unbeimpften Gersten

Die Quantität der ganzglasigen Körnern soll möglichst unter 1 % (siehe rötlicher Bereich in Abbildung 20) liegen, um eine gute Filtrierbarkeit des Bieres gewährleisten zu können (Sacher, 2013). In Abbildung 20 rechts wurden die Mittelwerte der unbeimpften Gersten der Ansätze 1-4 zusammengefasst. Der Anteil der ganzglasigen Körner stieg von Ansatz 1 zu Ansatz 2 merklich an. Eine überhöhte Ganzglasigkeit kann sich nachteilig auf den Maisch- und Läuterprozess auswirken. Weitere Folgen sind Fehler in der Würzeklärung, Gärung, Reifung und Filtration. Um die Ergebnisse hinsichtlich der Ganz- und Teilglasigkeit statistisch wirksam zu machen, sind weitere Untersuchungen notwendig. Die Abweichung der Ergebnisse vom Optimum (Ansatz 3+4) könnte auf die niedrigen Weichgrade (Abbildung 13) zurückzuführen sein. Zudem deuten die extremen Standardabweichungen der einzelnen Ansätze, besonders in Hinblick auf Ansatz 3 und 4, auf einen Messfehler hin. Fraglich bleibt, ob dieser Ergebnistrend aus der Wirkung der IL herzuleiten ist, oder ob die zytolytischen Enzyme aufgrund der schwankenden Weichgrade negativ beeinflusst wurden.

#### *Homogenität und Modifikation*

Werte zwischen 80 und 90 % entsprechen dem Normalbereich für Modifikation (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, rötlicher Bereich)

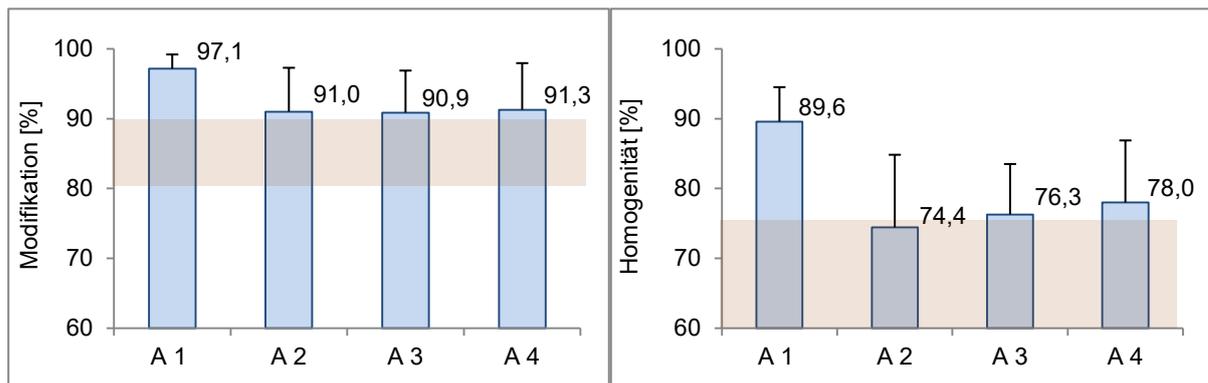


Abbildung 21 Modifikation und Homogenität der Malze 2012 der unbeimpften Gersten

Das Ziel dieser Analyse war, zu beobachten, ob ein Einfluss auf die Modifikation der Gerstenmalze durch die Anwendung IL bestand. Die Mittelwerte der Ansätze 1-4 wurden miteinander verglichen und in Abbildung 21 zusammengefasst. Alle gemessenen Werte entsprachen der Vorgabe aus der Literatur. Zwischen den einzelnen Ansätzen waren keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Das Ergebnis von Ansatz 1 korreliert mit dem Friabilimeter-Wert (Ansatz 1) aus Abbildung 20. Dahingegen fanden die Ergebnisse der Ansätze 2-4 keine Übereinstimmung mit den Friabilimeter-Werten. Um eine statistische Aussage treffen zu können sollten weitere Versuche durchgeführt werden. In direktem Zusammenhang mit der Modifikation steht die Homogenität. Diese Kennzahl zählt zu einem der wichtigsten Qualitätsmerkmale einer Malzcharge. Anhand der Homogenitätsanalyse nach Carlsberg kann die Verarbeitbarkeit eines Malzes sowie dessen Brauverlauf festgemacht werden. Laut Literaturangabe liegt die Homogenität in der Regel zwischen 60 und 75 % (siehe Abb.: 23, li. Rötlicher Bereich). Die Homogenität der Ansätze 1, 3 und 4 entsprach den gewünschten Werten. Auffällig ist die überdurchschnittlich gute Homogenität des Ansatzes 1. Grundsätzlich sind Werte über 75 % nicht üblich, dennoch sind sie nicht ausgeschlossen. Eine Korrelation zwischen den Analyseergebnissen der Modifikation sowie Homogenität mit der Anwendung IL ist unwahrscheinlich.

### Proteolyse

Die Auswertung der proteolytischen Eigenschaften soll im Folgenden anhand der beiden Parameter Kolbach-Index und FAN erläutert werden (Abbildung 22, Abbildung 23). Die Anteile des löslichen Stickstoffs, ausgedrückt als Kolbach-Index, war bei allen Malzen überdurchschnittlich hoch nach dem Standard-Mälzungsverfahren. Trotz großer Streuung in den Ergebnissen, lässt sich die Tendenz erkennen, dass der vermehrte Einsatz der IL zu geringerer Eiweiß-Lösung führt. Die gleiche Tendenz war beim Vergleich der FAN-Gehalte

zu erkennen. Hier muss jedoch erwähnt werden, dass der FAN-Gehalt mit zunehmender IL-Intensität zu unbefriedigenden Konzentrationen führte. Bei Werten ab 160 mg/l und kleiner im Malz ist mit erhöhten Konzentrationen an Diacetyl und Gärungsnebenprodukten im Bier zu erwarten. Somit scheint auch bzgl. der proteolytischen Eigenschaften die IL einen eher negativen Einfluss zu haben.

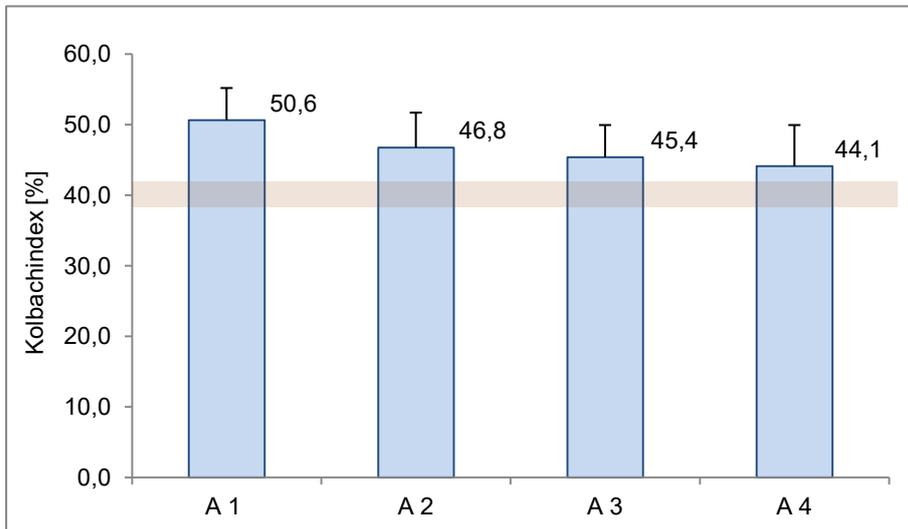


Abbildung 22 Kolbach-Index der Malze 2012

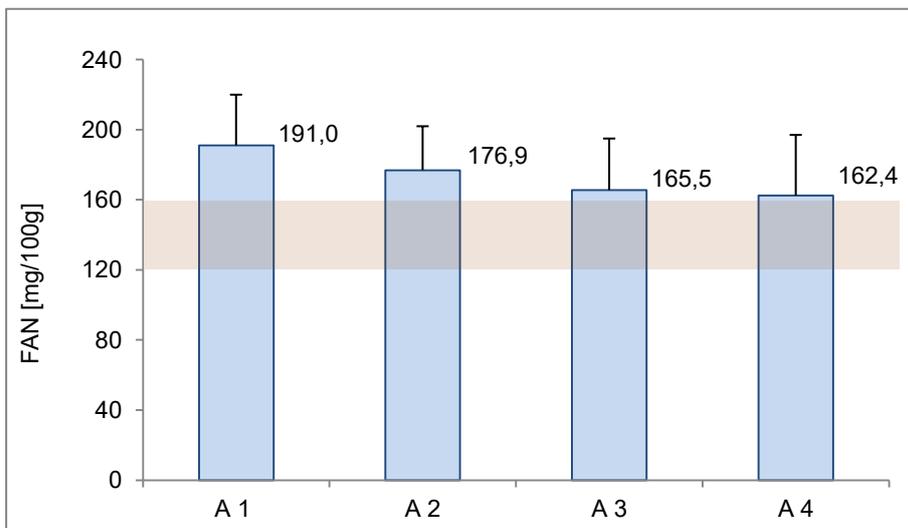


Abbildung 23 FAN-Gehalt der Malze 2012

## Amylolyse

Die Amylosyle wird v.a. mit dem Extrakt-Gehalt des Feinschrotes ausgedrückt (Abbildung 24). Wie in den Abbildungen der vorherigen Malzanalysen, ist eine große Streuung der Ergebnisse zu erkennen. Es zeigte sich eine tendenziell leichte aber nicht signifikante Abnahme des Malzextraktes mit zunehmender IL-Intensität. Der Unterschied von der Referenz (Ansatz 1) zu Ansatz 4 betrug im Mittel nur 0,7 % in Trockensubstanz.

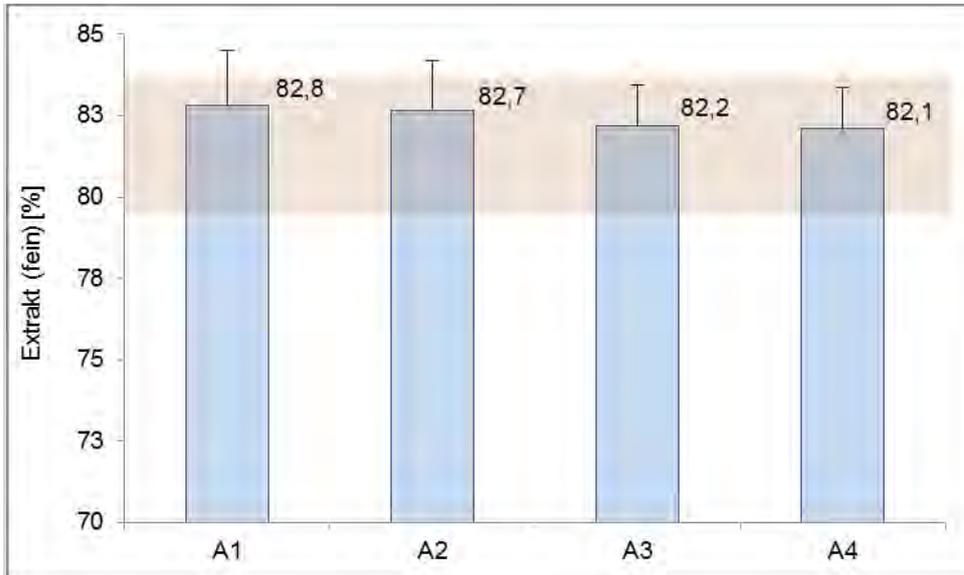


Abbildung 24 Extrakt-Gehalt (Feinschrot) der Malze 2012

Jedoch zeigten sich signifikante Unterschiede in der Extrakt Differenz. Mit zunehmender IL-Intensität stieg auch die Extrakt Differenz (Abbildung 25). Auch die Streubreite der Ergebnisse stieg mit dem IL-Einsatz in der Belüftung. Mit 2,0 %-Punkten für Ansatz 3 und 2,7 %-Punkten für Ansatz 4 waren die Extrakt Differenzen grenzwertig hoch. Diese zu hohen Werte spiegeln auch die schlechte cytolytische Lösung des Malzes wider.

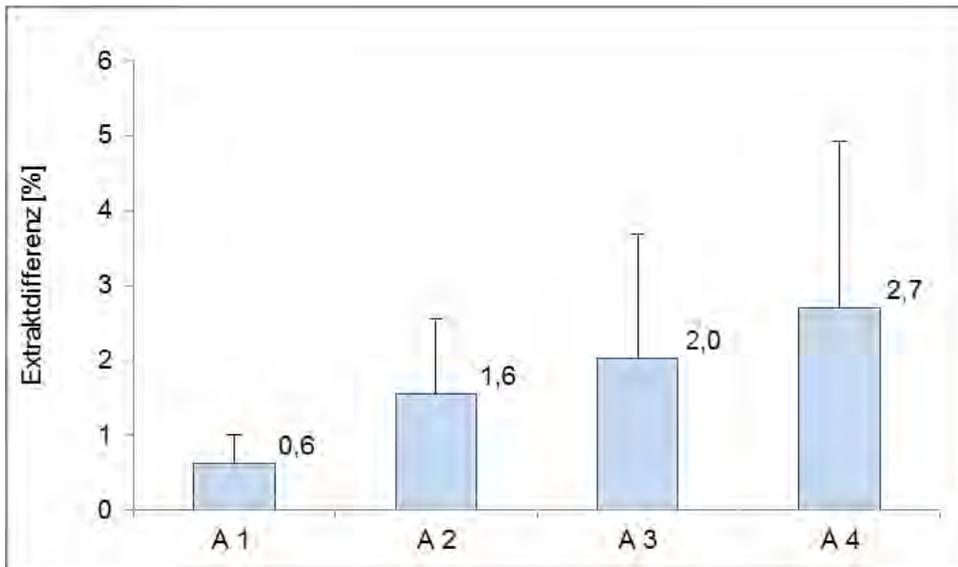


Abbildung 25 Extrakt Differenz der Malze 2012

#### *Zusammenfassung der Malzanalytik*

Als Hauptfehlerquelle der Analyse ist die starke Belüftung der Ansätze während der Trockenweiche sowie der abnehmende Weichgrad der Ansätze 3 und 4 zu nennen. Unbeantwortet bleibt die Frage nach der konkreten Ursache dieser Ergebnisse und inwieweit IL einen Einfluss auf die untersuchten Malzparameter hat. Die hohe Schwankung der Analyseergebnisse erschwert die Interpretation zusätzlich. Um das Lösungsprofil der einzelnen Enzyme darzustellen, werden die Ergebnisse der Malzanalyse abschließend nochmals zusammengefasst:

- Zytolyse: abnehmend je intensiver mit IL behandelt wurde
- Proteolyse: abnehmend je intensiver mit IL behandelt wurde
- Amylolyse: gleiches Niveau (Extrakt und Enzymaktivität)

## **4.2. Projektphase 2 in 2013/14:**

### **4.2.1 Erntejahr 2013/14: Erarbeitung einer SOP für gezielte Kontamination der Gerstencharge mit Schimmelpilzen**

Erschwerend für diese Projektphase war, dass die zur Verfügung gestellten Gerstenchargen der Erntejahre 2013/14 anders als die des Vorjahres „sauber“ waren. Die Grundkontamination der Gersten mit Schimmelpilzen und Hefen lag im Bereich  $10^3$  bis  $10^4$  KBE/g. Alle Gersten bzw. Malze wiesen keine bis nur geringe Gushing- und PYF-Potentiale auf.

Daher mussten die Gerstenchargen gezielt kontaminiert werden. Das geschah wie in der Projektphase 1 mit einer reinen Sporensuspension des Schimmelpilzes *F. culmorum*. Eine zweite Variante der Kontaminierung war, dass die Mikroflora einer älteren Gerstencharge mittels Kornwaschmethode gewonnen wurde. Somit erhielt man eine Mischkultur in Suspension mit dieser dann die Gerstencharge 2-3 Tage vor dem Vermälzen beimpft wurde. Die Herausforderung bestand hierin, dass die Charge zum einen ausreichend und zum anderen nicht zu viel kontaminiert war. Es sollte eine unsachgemäße Lagerung der Gerstencharge simuliert werden, in dem die mit den Mikroorganismen enthaltene Suspension den Wassergehalt der Gerste auf 16 bis maximal 18 % erhöhte (Siehe Kap. 2). Anschließend musste eine Trocknungs- bzw. Inkubationszeit eingehalten werden. Entscheidend waren vor allem das eingesetzte Wasser- bzw. Suspensionsvolumen, „Einweichzeit“ und Inkubationsdauer. Es musste in allen Belangen ein Kompromiss gefunden werden – Nicht zu viel und nicht zu wenig! Der Keimgehalt sollte nach der Lagerung bzw. vor dem Mälzen bei  $10^5$  bis  $10^6$  KBE/g liegen. Testreihen zeigten, dass

- Viel Wasser (2:1) und längere Einweichzeiten >5 min zu erhöhten Wassergehalten der Gerste führte
- eine kurze Inkubationszeit dazu führte, dass die Mikroorganismen und insbesondere die Schimmelpilze nicht anwuchsen und unmittelbar nach der ersten Nassweiche abgewaschen waren.
- Inkubations- und Trocknungszeiten länger als 3 Tage resultierten in übermäßigem Wachstum der Hefen und Pilze. Die kontaminierten Gersten waren somit für die Vermälzung unbrauchbar.

#### 4.2.2 Optimierung des Versuchsaufbaus

Aufgrund der Ergebnisse des ersten Projektjahres wurde mit den Zulieferern der Ionisationsmodule über Optimierungsmöglichkeiten der Apparate selbst sowie über den Versuchsaufbau diskutiert. Die Zielstellungen waren klar:

- Bessere Durchdringung der IL im Haufen
- Die Nassweiche mit IL sollte ebenfalls einer Flachbodenweiche entsprechen
- Die Ozon-Konzentration sollte während der Ionisation kleiner 0,1 ppm betragen

Für die Nassweiche wurde ein speziell für dieses Projekt angefertigtes Ionisationsmodul zur Verfügung gestellt (Abbildung 26). Es sei hier angemerkt, dass es sich um einen Prototypen für die IL-Applikation in der Mälzerei handelte.

Anders als das System 1 wurde diese Konstruktion einer Flachbodenweiche angelehnt. Die Belüftung mit IL erfolgte nicht über einen zentriert aufgestellten, perforierten Schlauch, sondern direkt von unten unter dem Hordenboden. Der Hordenboden war kein mit Löchern versehenes Blech sondern ein Boden aus gesintertem Edelstahl. Damit wurde eine große Oberfläche geschaffen, an der die Entladung für die Ionisation stattfinden konnte.

Die Hochspannung für die Ionisation war stufenlos von 1000 V bis 5400 V einstellbar. Zusätzlich konnte die Frequenz stufenlos zwischen 50 Hz und 300 Hz variiert werden.

Die Luftzufuhr erfolgte mit steriler Druckluft.



Abbildung 26 Ionisationsmodul für Nassweiche System 2

Die Ermittlung der Ionendichte über der Horde bei Variation der Einstellungen für Hochspannung und Frequenz erwies sich als schwierig. Verlässliche Zahlen konnten nicht ermittelt werden. Die Spanne war bei diesen Versuchsreihen mit 1000 bis ca. 500000 positiven wie negativen Ionen je  $\text{cm}^3$  zu groß! Die Ursache konnte auch mit dem Hersteller nicht genau ermittelt bzw. geklärt werden. Diese Streuung spiegelt sich auch in den Ergebnissen der mikrobiologischen Untersuchungen der Sporeinkulturergebnisse bzw. der Weichwasserwider (Kap. 4.2.3).

Für die Anwendung der IL in der Vorbehandlung der Gerste, während Trockenweiche und Keimung wurden vom Hersteller zwei Module zur Verfügung gestellt (Abbildung 27).

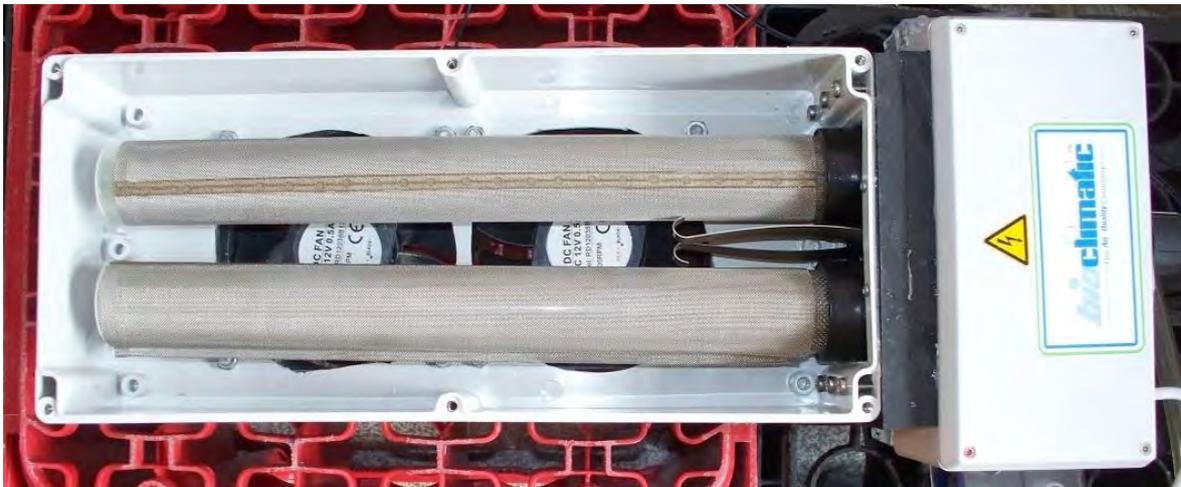


Abbildung 27 Optimiertes Ionisationsmodul für Vorbehandlung, Trockenweiche und Keimung

Mit der Doppelröhre sollte eine gleichmäßigere Verteilung der erzeugten Luftionen unter dem Haufen gewährleistet werden. Die neue, engmaschigere Außenelektrode sollte die Ozonbildung reduzieren. Die Hochspannung des unregulierten Gleichspannungs-Ionisators konnte wie beim Vorgängermodell stufenweise bis auf 3000 V eingestellt werden.

Die maximale Ionendichte der positiven und negativen Luftionen bei einem maximalen Ozonwert von 0,1 ppm lag bei jeweils ca.  $1,5 \cdot 10^6$  je  $\text{cm}^3$  ( $T=20^\circ\text{C}$ ,  $rH=60\%$ ). Das konnte bei 2750 V erreicht werden. Daher wurde diese Einstellung für die kommenden Versuche gewählt.

Eine weitere Veränderung erfuhr der Behälter für die Vorbehandlung der Gerste sowie für den Keimprozess. Um eine größere Behandlungsoberfläche zu schaffen, wurden die VLB-Keim-/Darr-Trommeln gegen einen rechteckigen Korb ersetzt (Abbildung 28). Der Korb hatte exakt die gleichen Abmaße (120 x 360) wie der Kasten, in dem die Ionisationsröhren installiert waren.



Abbildung 28 Versuchsaufbau (mit Korb) für Vorbehandlung, Trockenweiche und Keimung

#### 4.2.3 Ergebnisse der Vorversuche mit Sporensuspension in der Nassweiche

Diese Testreihen wurden analog wie in Projektphase 1 für jeweils zwei Stunden Behandlungsdauer durchgeführt. Trotz, dass mit dem System 2 variable und stufenlose Einstellungen für Hochspannung und Frequenz vorgenommen werden konnten, wurde die Ionisation der Sporensuspension bei 3000 V und 50 Hz ausgeführt. Die Referenz wurde für zwei Stunden mit Druckluft belüftet. Der Titer der Sporensuspension lag jeweils in der Größenordnung um  $1 \cdot 10^6$  KBE/ml. Es wurden sechs Testreihen sowohl mit als auch ohne Ionisation vorgenommen.

Die Ergebnisse waren schwankend. Während bei der Referenz die Keimzahl jeweils dem Titer der Sporensuspension entsprach, waren die Ergebnisse der Ionisation wie folgt:

- 3x 0 KBE/ml also kein Wachstum auf KDA nach ausplattieren
- 2x Keimreduktion um  $10^2$  -  $10^3$ /ml
- 1x keine Keimreduktion

Wie bereits oben angedeutet, konnte in Rücksprache mit dem Hersteller keine genaue Ursache für diese Schwankungen ausfindig gemacht werden. Es wurde vermutet, dass Transformation der Hochspannung unstet gewesen sein könnte.

Dennoch konnte mit dreimal absolute Keimreduktion und zweimal Keimreduktion um 2-3 log-Stufen das Potential dieses Systems gezeigt werden.

#### 4.2.4 Vorbehandlung der Gerste im Keimkorb

Bevor die Versuchsreihen der Gerstenvorbehandlung gemacht wurden, wurden auch bei diesem Aufbau die Ionengradienten bestimmt. Die Ergebnisse deckten sich mit denen aus der Projektphase 1. Ab einer Schütthöhe von 5 mm waren nur noch jeweils weniger als 40 % der Ionen verglichen mit der Ionendichte unter dem Haufen messbar.

Dennoch sollte mit dem neuen Versuchsaufbau (Abbildung 28) gezeigt werden, dass die IL zu einer Keimreduktion führen sollte. Der Korb für die Vorbehandlung wurde so mit Gerste befüllt, dass diese nur eine dünne, flache Schicht bildet. Die beiden Lüfter unter den Ionisationsröhren sollten für eine gleichmäßige Verteilung der IL sorgen. Wichtig für diese Testreihen war, dass die Ozonkonzentration stets unter 0,1 ppm sein sollte. Das konnte nur bis 2750 V gewährleistet werden.

Die Vorbehandlungsdauer der Gerste erfolgte analog Projektphase 1 nämlich für 15 min, 30 min, 60 min, 120 min, 180 min, 240 min, 360 min und zusätzlich für 24 h.

Trotz großer Oberfläche des Gerstenhaufens und Ionisator-Doppelröhren mit optimierter Außenelektrode konnte in keinem Fall eine Keimreduktion festgestellt werden! Somit lassen sich die in der Projektphase 1 erzielten Keimreduktionen auf die Wirkung des Ozons zurückführen.

#### 4.2.5 Mälzungsversuche mit den neuen Ionisationsmodulen

Da in der Projektphase 1 hohe Luftströme und schwankende sowie erhöhte Ozonkonzentrationen toleriert wurden, sollten diese Versuchsreihen wie in Tabelle 2 (S. 33) mit den neuen Ionisationsmodulen für die Nassweiche sowie Keimung wiederholt werden. Für die Behandlung der Charge mit IL in der Nassweiche mit dem System 2 wurden auch die gleichen Einstellungen wie zuvor gewählt (3000 V, 50 Hz). Die Luftströme für Nassweiche und Trockenweiche sowie Keimung wurden praxisnah eingestellt. Das bedeutet, dass der Luftdurchsatz während der Nassweiche ca. 750 m<sup>3</sup>/h\*t und während der Keimung ca. 400 m<sup>3</sup>/h\*t betrug.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse, kann und soll im Folgenden auf eine detaillierte und ausführliche Darstellung in Diagrammen verzichtet werden.

#### *Untersuchung der Mikrobiologie des Weichwassers und Malzes*

Auch mit dem neuen Ionisationsmodul für die Nassweiche konnte keine signifikante Abnahme der mikrobiologischen Belastung des Weichwassers festgestellt werden. Auch hier kann die Ursache die Matrix Gerste selbst sein. Das heißt, dass die Staub- und

Partikelbelastung der Gerste und die abgewaschenen Mikroorganismen in „Konkurrenz“ zu den erzeugten Ionen und diese daher nicht für die Keimreduktion zur Verfügung stehen. Die mikrobiologische Belastung der untersuchten Malze unterschied sich in keiner Weise voneinander.

#### *Malzanalysen*

Trotz der optimierten Luftströme während der Trockenweiche und Keimung konnte ein minimaler aber nicht signifikanter Weichgradverlust während 12 h (über Nacht) von 0,5 – 0,8 %-Punkten festgestellt werden.

Die Parameter für Cytolyse, Proteolyse und Amylolyse waren für alle Malze zwar schwankend, unterschieden sich aber in der Streubreite nicht signifikant. Eine Tendenz zum schlechteren Lösungsverhalten während des Mälzens, wie es in Projektphase 1 festgestellt wurde, konnte hier nicht erkannt werden.

Es konnte wieder einmal gezeigt werden, dass durch gezielte Kontamination der Gerste das PYF-Potential induziert werden konnte. Das Gushing-Potential wurde bei den kontaminierten Gerstenchargen nicht beeinflusst. In beiden Fällen konnte kein potential-reduzierender Effekt der IL festgestellt werden.

Auch die Mycotoxin-Konzentrationen (DON, ZEA, NIV) waren bei Vergleich der Mälzungsansätze in vergleichbar geringen Konzentrationen.

### **4.3. Projektphase 3 in 2014/15: Fokus Nassweiche**

Die Ergebnisse der ersten beiden Projektphasen zeigten, dass die IL keinen signifikanten Einfluss auf eine Reduktion der Gerste hatte. Daher wurde in dieser letzten Projektphase auf den Einsatz der IL für die Vorbehandlung sowie während der Trockenweiche und Keimung verzichtet.

Auch wenn die Applikation der IL in der Nassweiche der Gerste nur bedingt positiven Einfluss auf die Reduktion der Mikroflora hatte, barg die Belüftung mit IL in der Nassweiche noch große Potentiale wie es die Behandlung der Sporensuspension zeigte. Außerdem wurden die Versuche in der Nassweiche nur bei einer Hochspannung (3000 V) und einer Frequenz (50 HZ) durchgeführt. Da aber, wie beschrieben, dass am Nassweichesystem 2 die Hochspannung und Frequenz stufenlos einstellbar waren, sollten hier Einstellungen variiert werden.

Des Weiteren stellte der Hersteller der Ionisationsmodule für die Vorbehandlung und Keimung einen Prototyp eines Ionisationsmoduls für die Nassweiche kurzzeitig für Testzwecke zur Verfügung (Abbildung 29), welches im Folgenden nur System 3 genannt wird.



Abbildung 29 Ionisationsmodul für Nassweiche System 3

Das System 3 war wie die Module für Vorbehandlung und Keimung mit einem unregelmäßigem Hochspannungstransformator ausgestattet. Es konnten ebenso die Hochspannungen bis auf 3000 V stufenweise eingestellt werden. Die Ionisationsröhre war mit der optimierten engmaschigen Außenelektrode versehen. Die Luftzufuhr in die Ionisationseinheit erfolgte über Druckluft. Die ausströmende IL wurde über einen Schlauch in den Weichbehälter, der wie System 2 eine Flachbodenweiche darstellen sollte, eingeleitet. Belüftet wurde von unten unter der Horde (ein Lochblech) in den Haufen.

#### 4.3.1 Vergleich der Ionisationssysteme

Für eine Vergleichbarkeit der Systeme wurden die gleichen Einstellungen für Hochspannung und Frequenz gewählt (3000 V, 50 Hz). Es konnten nur sechs Vergleichstests durchgeführt werden. Für die Nassweichen wurde jeweils Frischwasser verwendet.

Wie auch zuvor konnten bei diesen Versuchen zwar Tendenzen aber keine Signifikanz einer Keimreduktion erkennen lassen. Alle Ergebnisse unterlagen aufgrund des unterschiedlichen Grades der Gerstenkontamination großen Schwankungen und Streuungen. Beide Systeme erbrachten aber vergleichbare Ergebnisse um circa eine Zehnerpotenz ( $10^7 \rightarrow 10^6$ ). Abbildung 30 soll aber exemplarisch ein Ergebnis für eine Keimreduktion um etwas mehr als

zwei log-Stufen zeigen. Hier spiegelt sich das Potential wider, welches die Applikation der IL in der Sporensuspension zeigte.

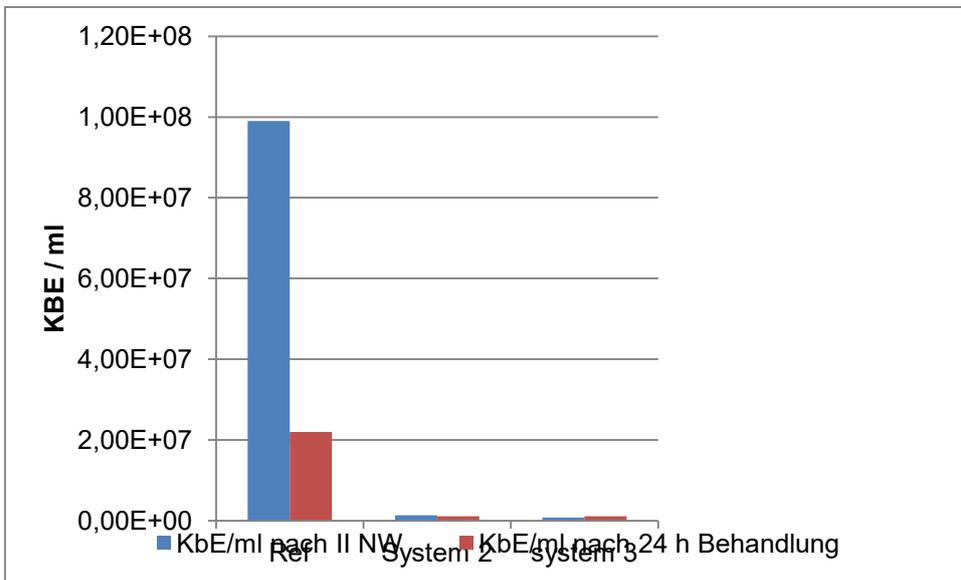


Abbildung 30 Beispiel für Vergleich der Ionisationssysteme

Wie in der Abbildung 30 angedeutet, wurden auch Versuche mit einer 24-stündigen Dauerbelüftung durchgeführt. Bei diesen Tests wurde das Wasser der zweiten Nassweiche verwendet.

Diese Ergebnisse müssen jedoch sehr kritisch betrachtet werden. Der Grund ist, dass während dieser langen Behandlungszeit die sterile, trockene Druckluft zur Verdunstung des Wassers führte. Des Weiteren sickerte ein unbestimmtes Volumen des Wassers unter die Horde. Dieses Wasser konnte nicht für mikrobiologische Untersuchungen zurückgewonnen werden. Somit war auch ungewiss, welche Wassermenge hätte nach dem Versuch zugegeben werden müssen, um das verdunstete Volumen auszugleichen. Um das Wasser unter der Horde zu entfernen, mussten sämtliche Anschlüsse und auch die Horde aus dem Weichbehälter demontiert werden. Das wiederum war sehr mühselig und auch riskant, da die Ionisationseinheit hätte zerstört werden können. Daher wurde größtenteils auf eine Demontage verzichtet und die Module „luftgetrocknet“.

Abbildung 31 sind die durchschnittlichen CSB-Werte nach den Nassweichen und auch nach der 24-Stundenbehandlung dargestellt. Letzteres muss, wie erwähnt, sehr kritisch gesehen



werden. Signifikante Unterschiede sind nicht zu erkennen.

Abbildung 32 zeigt eine Auswahl des visuellen Vergleichs der ersten Nassweiche. Die Beschriftung von links nach rechts bedeutet jeweils: 1 = Referenz; 2 = System 2; 3 = System 3.

Die Farbaufhellung spiegelt die oxidative Wirkungsweise der IL auf organische Substanzen wider, wie es in der Literatur beschrieben wird. Jedoch fand wohl keine vollständige Oxidation der Organik statt, sondern nur ein partieller Abbau. Sonst wären klare Unterschiede in den CSB-Werten zu erkennen gewesen.

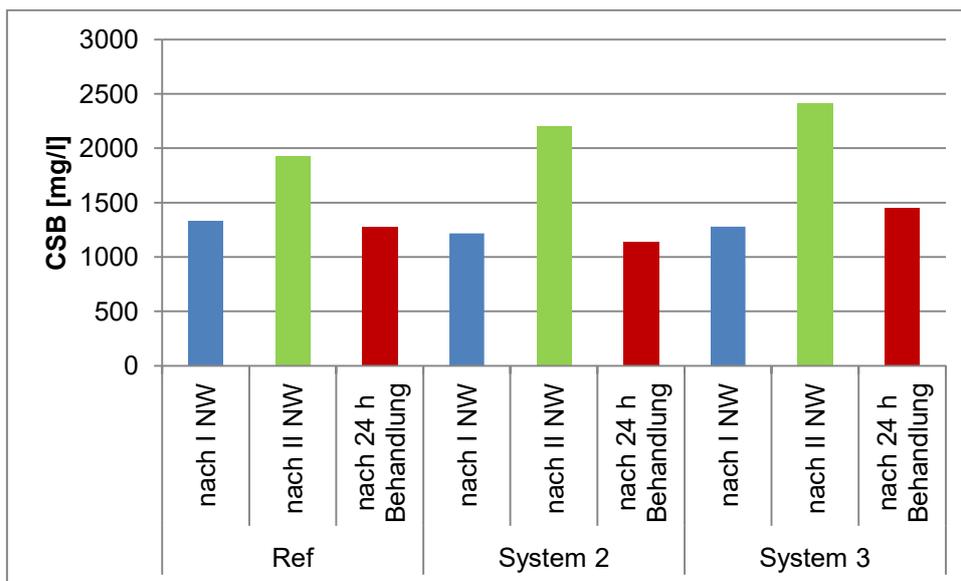


Abbildung 31 Vergleich CSB-Werte



Abbildung 32 Visueller Vergleich der 1. Nassweiche

### *Malzanalyse*

Die in diesen Versuchen hergestellten Malze wurden auch auf ihre Qualität hin untersucht. Bezüglich sämtlicher Parameter der cytolytischen, proteolytischen sowie amylolytischen Eigenschaften wurden absolut keinerlei Unterschiede festgestellt. Somit kann resümiert werden, dass die IL weder einen positiven noch einen negativen Einfluß auf den Mälzungsprozeß als auch auf die Malzqualität hatte. Daher wird an dieser Stelle auf die ausführliche Darstellung der Malzanalysen verzichtet!

### **4.3.2 Variation der Wiederverwendung des Weichwassers mit System 2**

In der letzten Phase des Projektes wurde untersucht, inwiefern das Weichwasser wiederverwendet werden kann. In der Praxis wird vermehrt für die erste Nassweiche das Weichwasser der zweiten Nassweiche der vorherigen Charge genommen. Für die zweite Nassweiche wird Frischwasser verwendet, um noch einmal einen besseren Wascheffekt zu bewirken.

Es konnten in dieser Zeit nur Versuche mit einer Ionisationseinstellung (3000 V; 50 Hz) ausgewertet werden, da hier genügend Testreihen (n=10) gemacht werden konnten. Testreihen mit variierten Einstellungen (4000 V+ 50 Hz/100 Hz; 5000 V + 50 Hz/100 Hz) wurden bis dato nur als Doppelversuch durchgeführt und geben somit keine genügende Sicherheit der Ergebnisse wieder.

#### *4.3.2.1 Wiederverwendung der zweiten Nassweiche für die erste Nassweiche*

Wie auch in den Darstellungen zuvor bzgl. der mikrobiologischen und organischen Belastung der Weichwässer, konnten in diesen Versuchsreihen nur Tendenzen festgestellt werden.

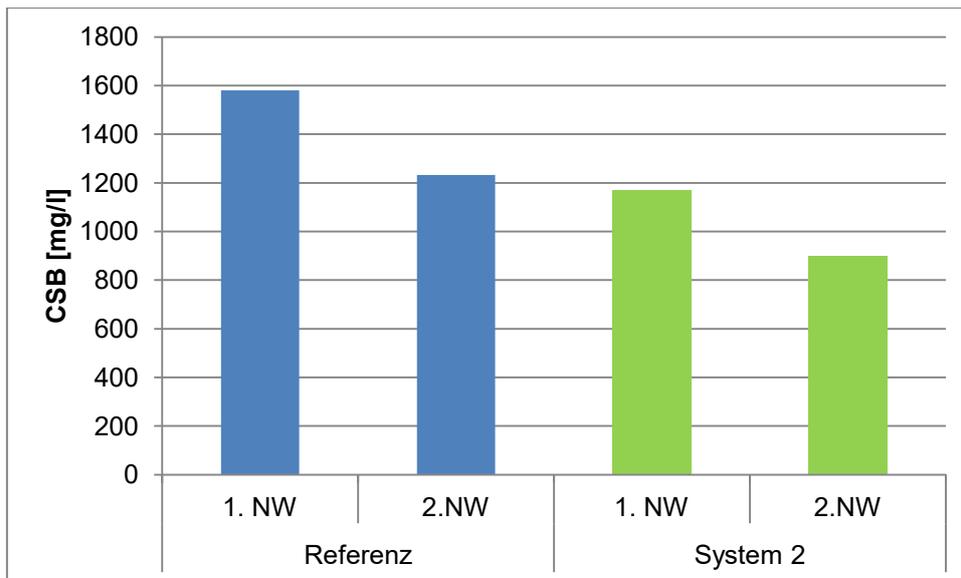


Abbildung 33 Vergleich CSB-Werte: Wiederverwendung der 2. NW für die 1. NW

Erwartungsgemäß waren jeweils die CSB-Werte der zweiten Nassweiche geringer als die der ersten. Mit Ionisation war der CSB der ersten sowie der zweiten Nassweiche um durchschnittlich 400 mg O<sub>2</sub>/l geringer.

Die Keimreduktion durch Anwendung der IL war jeweils nur geringfügig um 10<sup>1</sup> bis 10<sup>2</sup>/ml.

#### 4.3.2.2 Wiederverwendung der ersten Nassweiche für die zweite Nassweiche

Auch in diesem Fall waren die Ergebnisse erwartungsgemäß. Nämlich dass das zweite Weichwasser höher belastet war als da erste. Die Differenzen von Ionisierung zu normaler Druckluft waren ähnlich wie bei der Wiederverwendung der zweiten Nassweiche. Jedoch waren die Level um ca. 600 mg O<sub>2</sub>/ml höher.

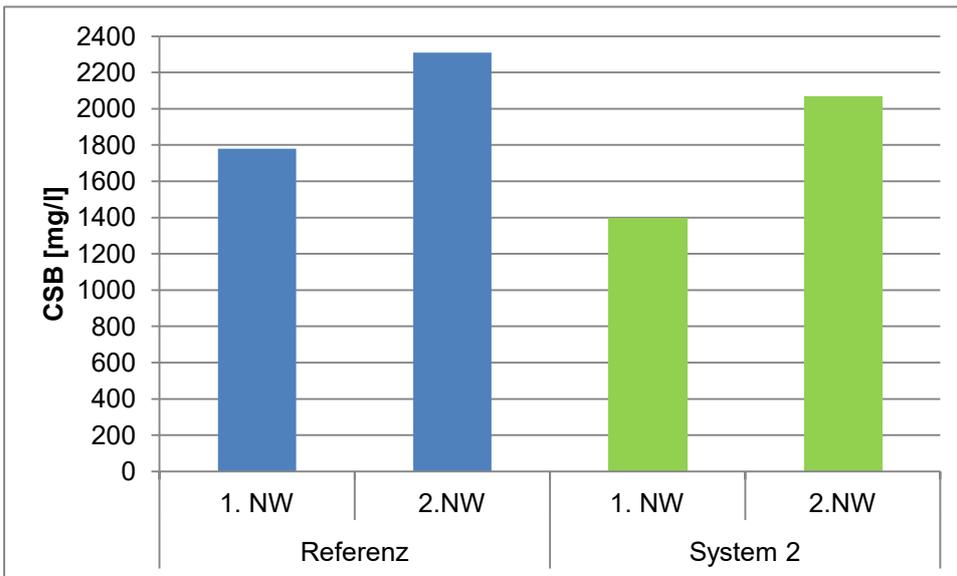


Abbildung 34 Vergleich CSB-Werte: Wiederverwendung der 1. NW für die 2. NW



Abbildung 35 Visueller Vergleich bei Wiederverwendung der ersten Nassweiche

Eine Keimreduktion konnte nicht festgestellt werden.

#### **4.4 Ausblick: Versuche mit variierten Ionisationseinstellungen**

Wie in der Einleitung des Kapitels 4.3 erwähnt, wurden noch Versuche unternommen, in denen sowohl die Hochspannung als auch die Frequenz für die Ionisation erhöht werden. Da

die Daten aufgrund der Doppelversuche nicht abgesichert und absolut aussagekräftig sind, soll an dieser Stelle auf die graphische Darstellung verzichtet werden.

Denn soll erwähnt werden, dass anders als mit der Ionisationseinstellung 3000 V bei 50 Hz die Tendenzen der Verringerung der Keimbelastung der Weichwässer und deren CSB-Werte klarer abzuzeichnen waren. Insbesondere bei 5000 V betrug die Keimreduktion um bis zu  $10^4$ /ml.

Die VLB Berlin bearbeitet zurzeit ein Projekt, in dem ebenfalls ionisierte Luft verwendet wird. Hier erfolgt der Einsatz in der Belüftung der Fermentationsprozesse (EURONORM VF 130040). Vom Hersteller des Systems 2 wurde dafür ein modifiziertes Ionisationsmodul zur Verfügung gestellt. Dieses Modul hat nicht die Form einer Flachbodenweiche sondern einer Kerze, die in ein Rohrsystem eingebaut wird. Ein Vorversuch ergab absolute Keimreduktion bei der Belüftung eines Gemisches aus Brauerei-Würze und Hefe im Umpumpverfahren. Dieses Gemisch ist ähnlich komplex wie das Weichwasser in der Mälzerei, wenn auch nicht zu 100 % vergleichbar. Aber Brauerei-Würze enthält sehr viele und unterschiedlich große Trübungspartikel und -moleküle. Die Hefezellzahl betrug ca.  $10^8$ /ml. Zurückzuführen ist diese drastische Keimreduzierung auf den sehr engen Kontakt zwischen der zu behandelnden Suspension und der IL. Dadurch verringert sich auch der Gradient im Medium.

Auch in der Mälzerei gibt es ein Weichsystem mit einem Zentralrohr zum Umpumpen des Weichgutes in einer Trichterweiche. Hier wäre die Applikation des neuen Systems denkbar mit den nötigen Umbaumaßnahmen.

## **5. Auswertung Gesamt und Gegenüberstellung mit den Zielen des Forschungsvorhabens**

Die IL wurde, wie im Forschungsantrag beschrieben, vergleichend in allen Prozessschritten des Mälzens angewendet (Tabelle 2). Es zeigte sich schnell, dass Doppelversuche oder Dreifachversuche aufgrund großer Streuungen der Ergebnisse nicht aussagekräftig waren. Daher wurden 10 bis 15 Versuchsserien durchgeführt, in denen schlussendlich die Streubreite bestätigt wurde.

Die Anwendung der IL in der Vorbehandlung der Gerste und in der Belüftung während der Keimung zeigte nur mit hohen Ozonkonzentrationen keimreduzierende Wirkung. Aufgrund dessen, dass sich die erzeugten Ionen bereit in der aller untersten Schicht des Haufens ablagern, ist ohnehin die Anwendung der IL dort nicht praktikabel.

Insbesondere konnte tendenziell eine geringere mikrobiologische Belastung der Weichwässer ab einer für die Ionisation notwendigen Hochspannung größer 3000 V erreicht werden. Die Variationsmöglichkeiten für die Ionisationseinstellungen Hochspannung und Frequenz sind groß.

**Es wird postuliert, dass solch ein komplexes Medium wie Weichwasser, in dem Trübungs- und Staubpartikel in Konkurrenz zu den abzutötenden Mikroorganismen steht, ein keimreduzierender Effekt nur mit hohen Ionisationseinstellungen zu bewirken ist.**

Beim derzeitigen Wissensstand ist eine Applikation der IL in einer Flachbodenweiche nicht praktikabel. Denkbar ist der Einbau eines Ionisationsmoduls in einer Trichterweiche mit Zentralrohr. Hierzu müssten weitere Versuche unternommen werden.

Die Forschungsvorhaben angestrebten Arbeitspakete 6 (Behandlung der Umgebungsluft) und 7 (Maßstabsvergrößerung) wurden nicht ausgeführt. Die Begründung liegt darin, dass mit der Messung der Ionendichte unter Versuchsbedingungen in der Keimkammer viel zu gering war. Die Erkenntnis war, dass niedrige Temperaturen und die hohe Luftfeuchte dazu führen, dass die Ionen eher mit den Wassertropfen als mit den auf Anlagenteilen befindlichen Mikroorganismen reagieren.

Mit den bis dato gewonnenen Ergebnissen in ihrer Streubreite schien ein Scale-Up in den Industriemaßstab wenig sinnvoll.

Der Fokus lag daher in der letzten Projektphase, das Potential der Keimreduzierung in der Nassweiche, was sich mehrfach andeutete, auszuschöpfen und die Versuche zu optimieren. Es stellte sich als Herausforderung heraus, die geeignete Ionisationseinstellung zu finden.

Der Projektverlauf war auch durch technische Ausfälle und Umbaumaßnahmen des Versuchsstandes gekennzeichnet.

## **6. Verwendung der Zuwendung**

Die Zuwendung wurde wie folgt verwendet:

### **a. Wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)**

<b>Arbeitsschritt</b>	<b>Eingesetzte Personenmonate</b>
<b>Teilzeil 1</b>	3
<b>Arbeitsschritt 1</b>	4
<b>Arbeitsschritt 2</b>	3,5
<b>Arbeitsschritt 3</b>	3,5
<b>Arbeitsschritt 4</b>	3,5
<b>Arbeitsschritt 5</b>	3,75
<b>Arbeitsschritt 6</b>	0,25
<b>Arbeitsschritt 7</b>	0,25
<b>Dokumentation</b>	0,5

### **b. Übriges Fachpersonal (Einzelansatz A.2 des Finanzierungsplans)**

<b>Arbeitsschritt</b>	<b>Eingesetzte Personenmonate</b>
<b>Teilzeil 1</b>	7
<b>Arbeitsschritt 1</b>	9
<b>Arbeitsschritt 2</b>	5
<b>Arbeitsschritt 3</b>	4
<b>Arbeitsschritt 4</b>	4
<b>Arbeitsschritt 5</b>	4,5
<b>Arbeitsschritt 6</b>	8
<b>Arbeitsschritt 7</b>	7,5
<b>Dokumentation</b>	0

## **7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die Ergebnisse und der dargestellte Aufwand entsprechen dem begutachteten und bewilligten Antrag. Die abgerufenen Mittel sind als angemessen zu betrachten.

## 8. Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft

<b>Maßnahme</b>	<b>Ziel</b>	<b>Zeitpunkt</b>
<b>Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses</b>	Information über das Forschungsvorhaben und dessen Ergebnisse	- Messe BrauBeviale 2014, Nürnberg
		- intern: April, Aug. 14
<b>Veröffentlichung der Ergebnisse der Literaturrecherche in einer deutschsprachigen Fachzeitschrift</b>	Schaffung einer Referenzquelle für alle interessierten Unternehmen	Brauwelt 6/2014, 130-133 Nächste VÖ geplant IV/2015
<b>Vortrag über das Forschungsprojekt auf einer Fachtagung der VLB, vorzugsweise auf der seit über 100 Jahren jährlichen stattfindenden Oktobertagung</b>	Information eines großen Fachpublikums: 200-300 Zuhörer	Innerhalb eines Jahres nach Ende des Projektes
<b>Veröffentlichung des Abschlussberichtes auf der Internetseite der VLB</b>	Bereitstellung tiefer gehender Information im Internet	Innerhalb eines halben Jahres nach Ende des Projektes
<b>Veröffentlichung der Ergebnisse des Forschungsprojektes in einer deutschsprachigen Fachzeitschrift, vorzugweise Brauwelt, Brauereindustrie oder Brauerei Forum</b>	Information eines größeren Fachpublikums  Schaffung einer der Allgemeinheit zugänglichen wissenschaftlichen Referenzquelle	Innerhalb eines Jahres nach Ende des Projektes
<b>Übernahme der Ergebnisse in die Lehre</b>	Weitergabe präsentationsfähiger Forschungsergebnisse zur Einbindung in die Ausbildung von Brautechnologen an der Technischen Universität Berlin und an der VLB	Nach Veröffentlichung der Ergebnisse

<b>Beratung von Unternehmen</b>	Einbindung der Forschungsergebnisse in die Beratung von Unternehmen durch die VLB	Ab dem Zeitpunkt zu dem umsetzbare Forschungsergebnisse erzielt wurden.
---------------------------------	---	---

## **9 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten**

Die erzielten Ergebnisse des Forschungsprojektes zeigen lediglich Tendenzen, dass der Einsatz der ionisierten Luft in den Prozessschritten der Malzherstellung einen keimreduzierenden Effekt auf die mikrobiologische Gersten- und Malzflora haben kann. Eineindeutige Aussagen konnten nicht gemacht werden. Die Keimreduzierung hing v.a. von zwei Faktoren ab:

- Schmutz- und Keimfracht der Gerste
- Ozonkonzentration in der ionisierten Luft

Die Direktbelüftung des Grünmalzhaufens während der 6-tägigen Keimung, um einen keimreduzierenden Effekt zu erreichen, brachte keine Erfolge. Lediglich höhere Ozonkonzentrationen (>0,5 ppm) führten zu verringerten Schimmelpilz- Hefewachstum. Die Bestimmung des Ionengradienten im Haufen zeigte, dass bereits nach nur 10 mm Schütthöhe keine Ionen mehr detektiert werden konnten. Aufgrund der Tatsache, dass der Schütthaufen im Industriemaßstab ca. 1,5 m beträgt, ganz gleich welches Mälzereisystem vorhanden ist, ist die Anwendung der ionisierten Luft während des Keimungsprozesses des Grünmalzes nicht geeignet. Ein Einbau bzw. Umbau bestehender Mälzereianlagen wird für diese Zwecke als nicht wirtschaftlich beurteilt.

Im Gegensatz dazu war die Anwendung im Weichprozess am vielversprechendsten, auch wenn hier Schwankungen in den Ergebnissen erreicht wurden. Die Keimreduzierung im Weichwasser war je geringer, je höher die Schmutz- und Keimfracht der Gerste war. Der CSB-Gehalt konnte nur geringfügig, nicht signifikant reduziert werden. Jedoch ein visueller, empirischer Vergleich der Weichwässer zeigte eine hellere Farbgebung der mit ionisierter Luft behandelten Weichwässer. Das gab einen Hinweis darauf, dass aufgrund der hohen Ionenkonzentration organische Moleküle partiell abgebaut wurden. In der Literatur wird der Abbau von Organik durch ionisierte Luft als „Kaltoxidation“ bezeichnet. Weiterführende

Untersuchungen der Zusammensetzung des Weichwassers würden in diesem Zusammenhang mehr Aufschlüsse geben.

Die Nassweiche für die Gerste wurde als Flachbodenweiche ausgelegt. Die Belüftung erfolgte somit von unten. Es stellte sich zunehmend heraus, dass Kontaktfläche für die Einbringung der ionisierten Luft mit dieser Konstruktion zu gering war, wenn insbesondere hoch belastete Gerstenchargen vermälzt werden sollten. Eine Weiterentwicklung der Ionisationsmodule für den Einbau in Trichterweichen mit Zentralrohr wird als aussichtsreich gesehen. Eine solche Weiterentwicklung im Pilotmaßstab findet bereits Anwendung im Forschungsprojekt „Anwendung ionisierter Luft in der Hefebelüftung (Innokom Ost VF 130040)“. In eigenen Versuchen konnte eine Hefekultur im wässrigem medium nahezu absolut abgetötet werden.

Somit könnte ein bestehendes System genutzt werden. Der Vorteil läge in einer größeren Kontakt- / Reaktionsfläche mit geringem Ionengradienten und somit besserer Ausbeute bei der Nutzung generierter Ionen.

Das Forschungsprojekt wurde ausschließlich im Labormaßstab durchgeführt. Zum Einsatz kamen Ionisationsmodule, die eigens für dieses Projekt konstruiert wurden. Es gab bis dato noch keine Erfahrung bzgl. der Direktbelüftung mit ionisierter Luft auf Lebensmittelprodukte bzw. in den Produktionsschritten der Lebensmittelherstellung seitens der Projektpartner. Insbesondere die Direktbelüftung in wässrige Medien stellte eine Herausforderung für die Lieferanten dar. Für das Projekt konnten zwei deutsche Unternehmen, welche Ionisationsmodule und -einheiten herstellen, gewonnen werden.

Neben den Energiekosten hat die Reduzierung der Frisch- und Abwasserkosten in der Mälzerei-Industrie, ohne Einbußen der Malzqualität zu erleiden, große Priorität. Eine Weiterentwicklung der Ionisationsmodule für Trichterweichen mit Zentralrohr hat den Vorteil, dass bestehende Systeme verwendet werden könnten. Die signifikante Reduzierung der mikrobiologischen und organischen Belastung der Weichwässer hat zur Folge, dass diese Wässer mehrmals wiederverwendet werden können, was somit ökonomisch wäre. Voraussetzung ist immer, dass die Malzqualität dadurch nicht verschlechtert wird. Es konnte im Forschungsprojekt ansatzweise gezeigt werden, dass die Malze, welche mit ionisierter Luft in der Nassweiche behandelt wurden, eine geringeres PYF-Potential („Frühzeitige Hefeflokkulierung“) aufwiesen. Des Weiteren wäre durch eine Weiterentwicklung der

Ionisationstechnologie für Nassmedien der Einfluss auf Mycotoxin-Gehalt und Gushing-Potential des produzierten Malzes.

Die Hersteller für Ionisatoren erweitern ihr Portfolio, wenn Anlagen für wässrige Medien entwickelt werden. Ein besonderer Schwerpunkt läge sowohl in der Frischwasserbehandlung zur Entkeimung (ohne Ozon) als auch in der Abwasserbehandlung, um die organische Fracht zu reduzieren durch Kaltoxidation. Hier sollte auch der Energiebedarf für Druckluft und Ionenerzeugung betrachtet werden.

## **10 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts**

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind während der Projektlaufzeit durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse sind im Anschluss an das Projekt vorgesehen. Über den Austausch zwischen Forschungsstelle und Unternehmen im Rahmen des projektbegleitenden Ausschusses sowie weiteren interessierten Unternehmen hat bereits ein Wissenstransfer stattgefunden.

Die Ansprache potenziell interessierter Unternehmen erscheint sinnvoll und realisierbar. Ziel ist es vor allem, die Forschungsergebnisse den besonders mittelständisch geprägten Unternehmen der Mälzerei-Industrie zugänglich zu machen. Dazu wurden bereits Vertreter aus verschiedenen mittleren Unternehmen im Projektbegleitenden Ausschuss während des Projektes eingebunden und die Durchführung der Versuche in den Brauereien begünstigte ebenfalls deren Einbindung. Darüber hinaus waren Anlagenhersteller bei der Durchführung der Versuche involviert.

Die weitere Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse ist, bzw. wird durch die vielfältigen Organe und Aktivitäten der Forschungsstelle erfolgen. Die VLB in Berlin wird durch ca. 400 Mitgliedsbrauereien und -mälzereien sowie durch weitere Förderer aus Industrie und Handel getragen. Der überwiegende Teil dieser Mitgliedsbetriebe ist mittelständischer Natur. Für diese Unternehmen verlegt die VLB eine eigene Fachzeitschrift (Brauerei Forum) und veranstaltet regelmäßig Kongresse, in denen über Forschungsergebnisse berichtet wird. Zusätzlich werden Arbeitsergebnisse auf der eigenen Homepage und durch einen monatlichen „Newsletter“ veröffentlicht. Die VLB unterhält für ihre Mitglieder verschiedene Fachgremien, in denen regelmäßig die Arbeitsergebnisse mit Experten der Industrie und des Handels diskutiert werden, um weitere Anregungen für die eigenen Forschungsarbeiten zu erhalten.

*Konkrete Transfermaßnahmen:*

*Bereits erfolgt:*

- Darstellung der Ergebnisse im technisch-wissenschaftlichen Ausschuss der VLB Berlin während der Oktobertagung 2015 in Berlin.
- Darstellung der Ergebnisse in einem Vortrag während der 102. VLB-Oktobertagung 2015 in Berlin.
- Darstellung der Ergebnisse in einem Vortrag während des 6. MicroBrew-Seminar in Moskau (Russland)

- Veröffentlichung der Ergebnisse im Frühjahr 2016 (VÖ-Datum und –journal noch nicht bekannt) mit Verweisauf den Abschlussbericht
- Verfügbarmachen des Abschlussberichtes über Kontakt an der VLB Berlin

Die Übernahme der Ergebnisse in die Lehre ist erfolgt. Die Ergebnisse werden in den laufenden Seminaren und Ausbildungsgängen der VLB e.V. als Lerninhalt vermittelt.

Die Ergebnisse des Projekts werden bei der Beratung von Unternehmen, die durch die VLB e.V. weltweit durchgeführt werden, einbezogen und tragen dazu bei, die wissenschaftlich-technische Qualität der Beratungen auf einem anerkannt hohen Level zu halten.

Insgesamt erscheint das Konzept zum Transfer der Projektergebnisse als realisierbar und wird von der Forschungsstelle wie geplant verfolgt.

## **11 Angaben über gewerbliche Schutzrechte**

Im Rahmen des Projekts wurden durch die VLB e.V. keine gewerblichen Schutzrechte angemeldet.

## **12 Förderhinweis**

Das IGF-Vorhaben 16711N der Forschungsvereinigung „Brauerei“ wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

# Literaturverzeichnis

---

- 1 Varga, A.  
Grundzüge der Elektrobioklimatologie mit besonderer Berücksichtigung der  
Umwelthygiene - Elektrobioklimatologie;  
Heidelberg, Verlag für Medizin Fischer 1981
- 2 Varga, A.  
Biologische Wirkungen von Luftionen;  
Fischer Verlag, 1986
- 3 Eckert, J., Amstutz, S., Külpmann, R., Hildebrand, K., Schwehr, P.  
Hochschule Luzern (Autorenkollektiv)  
Ionisierte Luft im Innenraum – Review zur Anwendung von ionisierter Luft im Innenraum  
ISBN 978-3-033-03859-2, 2013
- 4 Krueger, A.P., Smith, R.F., Ing Gan Go  
The Action of air ions on bacteria - I. Protective and lethal effects on suspensions on  
Staphylococci in droplets,  
J. Gen. Physiol., 41: pp. 359-381, 1957
- 5 A.P.Krueger, A.P., Hicks, W.W., Beckett, J.C.  
Protective and lethal effects of unipolar air ions on microorganisms  
International Society of Bioclimatology and Biometeorology;  
First Bioclimatological Congress Vienna, 23-27 September 1957
- 6 A.P.Krueger, A.P., Hicks, W.W., Beckett, J.C.  
Protective and lethal effects of unipolar air ions on microorganisms and evaporation  
J. Franklin Institute, 266: pp. 9-19, 1958
- 7 Arnold, J.W., Mitchell, B.W.  
Use of negative air ionization for reducing microbial contamination on stainless steel  
surfaces  
J. Appl. Poult. Res. 11: 179-186, 2002
- 8 Mitchell, B.W., Buhr, R.J., Berrang, M.E., Bailey, J.S., Cox, N.A.  
Reducing Airborne Pathogens, Dust and *Salmonella* Transmission in Experimental  
Hatching Cabinets Using an Electrostatic Air Space System (ESCS)  
Poultry Science 81, 2002, 49-55,

- 
- 9 Shepherd, S.J., Beggs, C.B., Smith, C.F., Kerr, K.G., Noakes, C.J., Sleigh, P.A.  
Effect of negative air ions on the potential for bacterial contamination of plastic medical equipment  
BMC Infectious Diseases, 2010; 10:92; doi:10.1186/1471-2334-10-92
- 10 Fan, L., Song, J., Hildebrand, P.D., Forney, C.F.  
Interaction of ozone and negative air ions to control microorganisms  
Journal of Applied Microbiology 2002, 93, 144-148
- 11 Fan, X., Fett, W., Mitchell, B.W.  
Effect of negative air ions on Escherichia coli ATCC25922 inoculated onto mung bean seed and apple fruit  
Journal of Food Protection, No 1, 2007, 204-208
- 12 Filatova, I., Azharonok, V., Gorodetskaya, E., Melnikova, L., Shedikova, O., Shik, A.  
Plasma-radiowave stimulation of plant seeds germination and inactivation of pathogenic microorganisms  
International Symposium on Plasma Chemistry 2009
- 13 Azharonok, V., Filatova, I., Shedikova, O., Shik, A.  
Fungicidal and bacterial effect of plasma and radiowave treatment on biological and medical materials  
NATO Advanced Research Workshop: Plasma for bio-decontamination, medicine and food security  
15-18.03.2011, Demänovska dolina, Slovakia
- 14 Filatova, I., Azharonok, V., Kadyrov, M., Beljavsky, V., Gvozdo, A., Shik, A., Antonuk, A.  
The effect of plasma treatment of seeds of some Grain and legumes on their sowing quality and productivity  
Rom. Journ. Phys., 2011, Vol. 56, 139-143
- 15 Krüger, A.P., Kotaka, S., Andriese, P.C.  
Studies on the effect of gaseous ions on plant growth: Part I The influence of positive and negative air ions on the growth of Avena sativa  
The Journal of General Physiology ,45, 1962, 879-895

- 
- 16 Krüger, A.P., Kotaka, S., Andriese, P.C.  
A study of the mechanism of fair-ion-induced growth stimulation in *Hordeum vulgare*  
Int. J. Biometeor., 1963, Vol. 7, 17-25
- 17 Krüger, A.P., Kotaka, S., Andriese, P.C.  
Effect of fair ions on IAA content of barley seedlings  
Plant and Cell Physiology, 1965, Vol. 6, 711-719
- 18 Tipples, K.H., Norris, F.W.  
Some effects of gamma-irradiation on barley and its malting properties  
Journal of the Science of Food and Agriculture, 1963, Vol. 14, Issue 9, 646-654
- 
- 19 Ress, P., Kiss, I., Miltenyi, G., Strahl, A., Petro, I., Farkas, J., Biacs, P., Kozma, I.,  
Debreczeny, I.  
Process for controlling the germination of malting barley  
United States Patent, Patent number 4,670,274, publ. June 2, 1987
- 20 Kottapalli, B., Wolf-Hall, C.E., Schwarz, P.  
Evaluation of gaseous ozone and hydrogen peroxide treatments for reducing *Fusarium*  
survival in malting barley  
J. Food Prot. 2005, Vol. 68, 1236-1240
- 21 Dodd, J.G., Vegi, A., Vashisht, A., Ashwini, T., Tobias, D., Schwarz, P., Wolf-Hall, C.E.  
Effect of ozone treatment on the safety and quality of malting barley  
J. Food Prot. 2011, Vol. 74, 2134-2141
- 22 Kottapalli, B., Wolf-Hall, C.E., Schwarz, P.  
Effect of electron-beam irradiation on the safety and quality of *Fusarium*-infected malting  
barley  
Int. J. Food. Microbiol., 2006, Vol. 110, 224-231
- 23 Liebl, K., Eisenblätter, F., Fischer, K.  
Das Ionisationsverfahren in der Getränkeindustrie  
Brauwelt, 2008, Nr.28/29, 804-807

Hofmann, A.

Verminderung von Geruchsmissionen – Behandlung von Sudhausbrüden mit ionisierter  
Luft

Brauindustrie, 2009, Nr. 11, 10-13